

Premisser for geometrisk utforming av veger

Håndbøker i Statens vegvesen

Dette er en håndbok i Statens vegvesens håndbokserie. Vegdirektoratet har ansvaret for utarbeidelse og ajourføring av håndbøkene.

Denne håndboka finnes kun digitalt (PDF) på Statens vegvesens nettsider, www.vegvesen.no.

Statens vegvesens håndbøker utgis på to nivåer:

Nivå 1: ● **Oransje** eller ● **grønn** fargekode på omslaget – omfatter *normal* (oransje farge) og *retningslinje* (grønn farge) godkjent av overordnet myndighet eller av Vegdirektoratet etter fullmakt.

Nivå 2: ● **Blå** fargekode på omslaget – omfatter *veiledning* godkjent av den avdeling som har fått fullmakt til dette i Vegdirektoratet.

Premisser for geometrisk utforming av veger
Nr. V120 i Statens vegvesens håndbokserie

Forsidefoto: Siv.ark. Knut Selberg

ISBN: 978-82-7207-666-4

Forord

Denne veiledningen er grunnlagsmateriale for sikt- og linjeføringskrav i håndbok N100 Veg- og gateutforming. Den forklarer og redegjør for de parametere som brukes ved konstruksjon av en veglinje, og det formølvket som disse parametere inngår i. Forutsetninger og verdier som er lagt til grunn for linjeføringskravene er dokumentert. Videre forklarer den hvordan prosjekteringstabellene for veger i håndbok N100 Veg- og gateutforming er bygd opp. Den beskriver også overgangen mellom tunnel/bru og veg, tilpasning til terrenget og forbi kjøring.

Vegdirektoratet

dd.mm.åå

Innhold

1	INNLEDNING	6
2	GRUNNPARAMETERE	7
2.1	Inndeling av parameterne	7
2.2	Sammenheng mellom parameterne og formelgrunnlag.....	9
2.3	Øyehøyde, a_1	9
2.4	Objekthøyde og beregningsmessig objekthøyde, a_2	10
2.5	Kjøretøyhøyde og beregningsmessig kjøretøyhøyde, a_3	11
2.6	Kjøretøybredde, b_k	11
2.7	Hjulavstand, b	12
2.8	Overhøyde, e	12
2.9	Vertikalakselerasjon, a_v	13
2.10	Relativ vertikalfart, v_{vf}	13
2.11	Akselerasjon, a	13
2.12	Retardasjon, r	14
2.13	Stigningsgrad, s	14
2.14	Reaksjonstid, t_r	14
2.15	Fartsgrense, V	15
2.16	Friksjon.....	15
2.16.1	Totalfriksjon, f_t	15
2.16.2	Sidefriksjon, f_k	17
2.16.3	Bremsefriksjon, f_b	17
2.17	Sporingsøkning, b_s	17
2.18	Overheng, b_o	18
2.19	Dimensjonerende kjøretøytyper.....	18
3	LINJEFØRING.....	20
3.1	Horisontalkurvatur.....	20
3.1.1	Elementer i horisontalkurvaturen.....	20
3.1.2	Minste horisontalkurveradius.....	21
3.1.3	Minste klotoidparameter.....	22
3.1.4	Kurvekombinasjoner.....	22
3.1.5	Nabokurver.....	25
3.2	Vertikalkurvatur.....	27
3.2.1	Elementer i vertikalkurvaturen.....	27
3.2.2	Vertikalkurveradius.....	29
3.2.3	Krav til stigningsgrad.....	30
3.3	Romkurven – estetikk og optisk føring.....	31
3.3.1	Romkurvatur.....	31
3.3.2	Overhøyde.....	32
3.3.3	Optisk føring.....	33
4	TVERRPROFIL	34
4.1	Tverrfall.....	34
4.1.1	Rettstrekning.....	34
4.1.2	Sirkelkurve.....	34
4.1.3	Overhøydeoppbygging i kurvekombinasjoner.....	34
4.2	Resulterende fall.....	37
4.3	Breddeutvidelse i kurver.....	38
5	SIKT	41
5.1	Definisjoner.....	41

5.1.1	Fri sikt.....	41
5.1.2	Stoppsikt.....	41
5.1.3	Møtesikt.....	41
5.1.4	Forbikjøringssikt.....	41
5.2	Krav til sikt.....	41
5.3	Beregning av ulike siktlengder.....	42
5.3.1	Stoppsikt, L_s	42
5.3.2	Møtesikt, L_m	42
5.3.3	Forbikjøringssikt, L_f	42
5.4	Siktkontroll.....	43
6	DIMENSJONERINGSKLASSER.....	47
6.1	Prosjekteringstabellen.....	47
6.1.1	Generelt om risiko.....	48
6.1.2	Fartstillegg og sikkerhetsfaktor for friksjon.....	48
6.1.3	Fordeling av fartsprofiltillegg.....	49
6.1.4	Horisontalkurveradius.....	49
6.1.5	Klotoide.....	50
6.1.6	Siktlengde.....	52
6.1.7	Vertikalkurveradius.....	53
6.1.8	Overhøyde.....	55
6.1.9	Stigning.....	55
6.1.10	Linjeføring i kryss – supplerende krav.....	55
7	FORBIKJØRING.....	56
7.1	Forbikjøringsmuligheter.....	57
7.2	Forbikjøringsfelt i stigning.....	59
7.3	Geometrisk utforming av forbikjøringsfelt.....	62
8	SLYNG.....	62
8.1	Slyngklasser.....	63
8.2	Horisontalkurvatur.....	63
8.3	Bredden.....	65
8.4	Overhøyde.....	65
8.5	Stigninger og vertikalkurvatur.....	65
8.6	Klotoider i slyng.....	67
9	VEGTUNNELER OG BRUER.....	69
9.1	Vegtunneler.....	69
9.1.1	Overgang mellom tunnel og veg i dagen.....	69
9.2	Bruer.....	71
9.2.1	Plassering, grunnforhold og spennvidder sett i forhold til vegen.....	72
9.2.2	Linjeføring på bruer.....	72
	VEDLEGG – OVERSIKT OVER GRUNNPARAMETERE.....	74

1 Innledning

Denne håndboka behandler premissene for kravene til geometrisk utforming av veger slik de er presentert i håndbok N100 Veg- og gateutforming. Premissene kan, som normalen, deles i to prinsipielt ulike deler:

- premisser for geometriske minimum- og maksimumskrav (eksempelvis horisontalkurveradier) basert på fysiske formler og grunnparametere
- premisser av mer generell karakter (eksempelvis lokalt vegnett) basert på planmessige vurderinger

Det vesentligste av håndboka omhandler geometriske krav ut fra anerkjente fysiske lover. Differensieringen av standardkravene framkommer ved at inngangsdataene i formlene er vurdert ut fra vegenes funksjon og trafikale forhold.

De geometriske minstekravene er knyttet til følgende forutsetninger for kjøre- og trafikforhold:

- våt, men ren og isfri kjørebane (ikke vinterforhold)
- kjøring i dagslys
- frie kjøreforhold (ikke kø)
- grunnparametre knyttet til personbiler, unntatt for stigninger som dimensjoneres ut fra tungtrafikkens egenskaper

Inngangen til detaljbestemmelsene i normalen styres av:

- vegens funksjon
- dimensjonerende trafikkmengde
- fartsgrense

Grunnparametrene som brukes i formelverket varierer med de tre faktorene over og gir således varierende krav til geometrisk utforming.

2 Grunnparametere

2.1 Inndeling av parameterne

Betegnelsen grunnparametere brukes om alle parametere som inngår i beregninger av geometriske minimums- eller maksimumsverdier.

Grunnparametrene kan deles inn i fire grupper:

1. Statistiske variabler:

a_1	øyehøyde
a_2	beregningsmessig objekthøyde
a_3	beregningsmessig kjøretøyhøyde
b_k	kjøretøybredde (varierer med dimensjonerende kjøretøy)
b	hjulavstand
b_o	overheng
b_s	sporingsøkning

2. Variabler knyttet til påvirkning på kjøretøy/bilfører:

V	fartsgrense
a	akselerasjon
r	retardasjon
a_v	vertikalakselerasjon
v_{vf}	relativ vertikalfart

3. Variabler knyttet til omgivelsene (vegen):

f_t	totalfriksjon
f_b	bremsefriksjonskoeffisient
f_k	sidefriksjonskoeffisient
e	overhøyde
s	stigningsgrad

4. Variabler knyttet til bilføreren:

t_r	reaksjonstid
-------	--------------

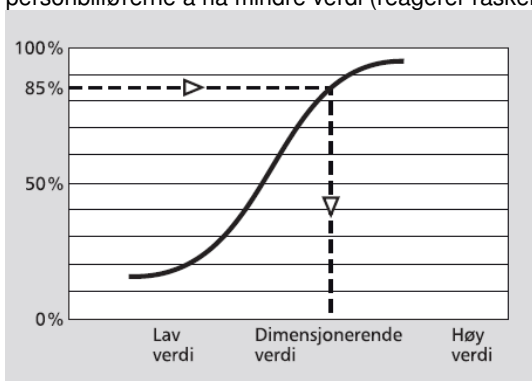
Noen grunnparametere har konstant verdi, andre varierer med dimensjoneringsklasse eller kjøretøytype. Dimensjoneringsklasser for veger er gitt i håndbok N100 Veg- og gateutforming. Parametre knyttet til kjøretøyene er basert på dagens bilpark.

Tabell 2.1: Grunnparametere – konstante eller variable

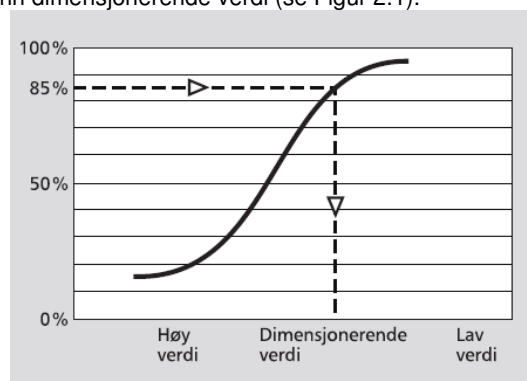
Grunnparametere	Konstant	Variabel - dimensjoneringsklasse	Variabel - kjøretøy
a_1	x		
a_3	x		
b	x		
t_r	x		
a_2		x	
V		x	
V_b		x	
a_v		x	
v_{vf}		x	
e		x	
f_t		x	

f_k		X	
f_b		X	
s		X	
b_k			X
a			X
r			X
b_s			X
b_o			X

De enkelte grunnparametrene angir representative verdier for de forhold de beskriver. Normalt vil dimensjonerende verdi dekke 85 % av alle aktuelle tilfeller. Det betyr at dimensjonerende verdi forutsettes bestemt ut fra en statistisk fordeling. Eksempelvis for parameteren reaksjonstid (t_r) forutsettes 85 % av personbilførerne å ha mindre verdi (reagerer raskere) enn dimensjonerende verdi (se Figur 2.1).



Figur 2.1: Prinsippfigur for fastsettelse av dimensjonerende verdi for reaksjonstid

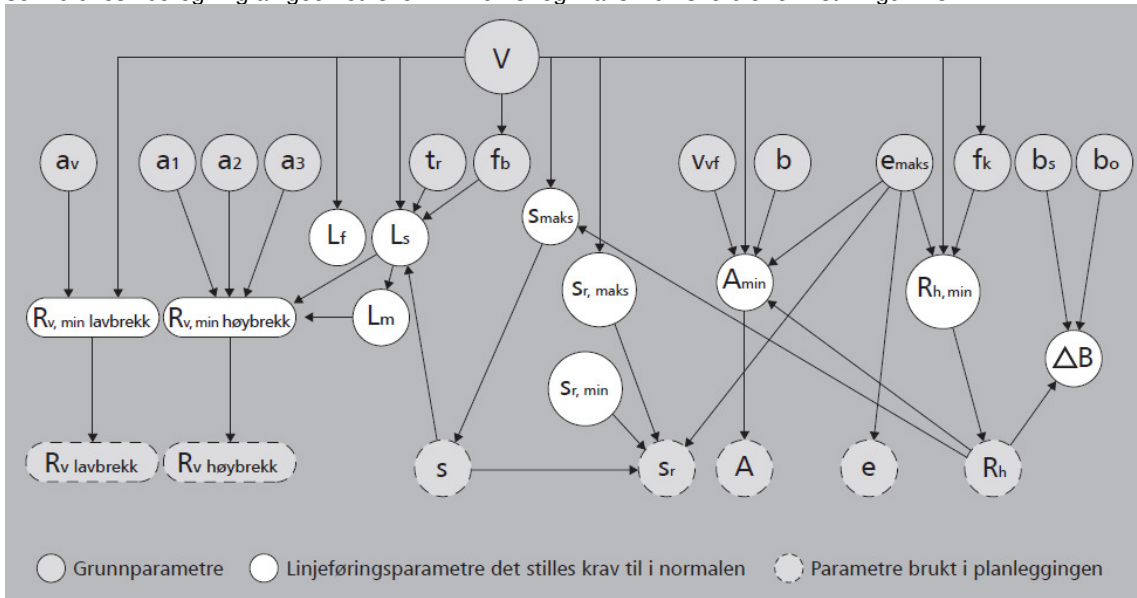


Figur 2.2: Prinsippfigur for fastsettelse av dimensjonerende verdi for øyehøyde

For øyehøyde (a_1) forutsettes 85 % av personbilførerne å ha en større verdi enn dimensjonerende verdi (se Figur 2.2).

2.2 Sammenheng mellom parametere og formelgrunnlag

I prosjekteringstabellene i håndbok N100 Veg og gateutforming settes det krav til kurvaturen på vegene. Krav til kurvatur beregnes ut fra en rekke fysiske parametere. Sammenheng mellom parametrene i formelgrunnlaget som brukes i beregning av geometriske minimums- og maksimumsverdier er vist i Figur 2.3.



Figur 2.3: Oversikt over sammenhenger over hvilke grunnparametre som inngår i formelgrunnlaget for beregning av linjeføringsparametere i håndbok N100 Veg- og gateutforming

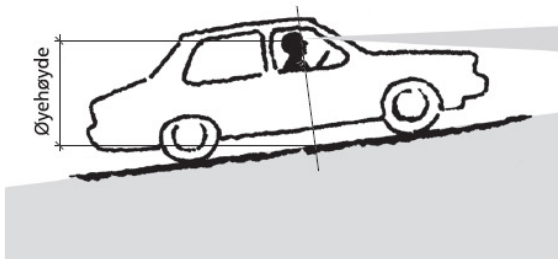
V = fartsgrense (med eventuelle fartstillegg)
 a_v = vertikalakselerasjon
 a_1 = øyehøyde
 a_2 = beregningsmessig objekthøyde
 a_3 = beregningsmessig kjøretøyhøyde
 t_r = reaksjonstid
 f_b = bremsefriksjon
 f_k = sidefriksjon
 v_{vf} = relativ vertikalfart
 b = hjulavstand
 b_s = sporingsøkning
 b_o = overheng
 R_v = vertikalkurveradius

L_f = forbikjøringssikt lengde
 L_s = stoppsikt lengde
 L_m = møtesikt lengde
 s = stigning
 s_{maks} = største tillatte stigning
 s_r = resulterende fall
 $s_{r, maks}$ = største tillatte resulterende fall
 $s_{r, min}$ = minste tillatte resulterende fall
 A = klotoidparameter
 A_{min} = minste klotoidparameter
 e = overhøyde
 e_{maks} = største tillatte overhøyde
 R_h = horisontalkurveradius
 $R_{h, min}$ = minste horisontalkurveradius
 ΔB = breddeutvidelse

Som figuren viser er farten den mest sentrale parameteren. Farten V kan beskrive fartsgrense med eller uten fartstillegg, se kapittel 6.1.2.

2.3 Øyehøyde, a_1

Øyehøyden, a_1 , er definert som øyehøyde over vegbanen for en bilfører i en personbil. Parameteren inngår ved sikt kontroll og i beregningen av minste vertikalkurveradius i høybrekk, se kapittel 5.4 og kapittel 3.2.2.



Figur 2.4: Øyehøyde, a_1

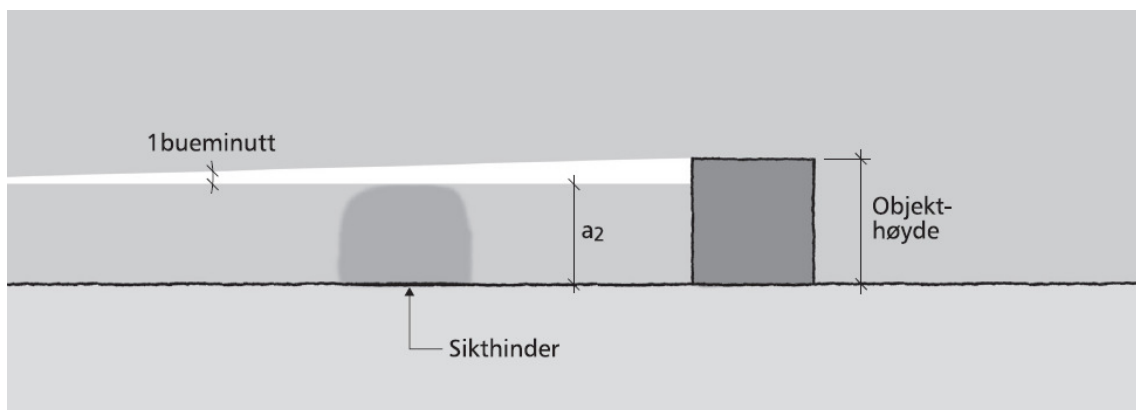
Verdien for øyehøyden er satt ut fra en forutsetning om at 85 % av personbilparken med en gjennomsnittsfører og en passasjer med en øyehøyde som er større enn den valgte verdien. Dette er beregnet ut fra statistiske opplysninger om førerhøyde og personbilparkens sammensetning.

Verdien for dimensjonerende øyehøyde (a_1) er satt til 1,1 m.

2.4 Objekthøyde og beregningsmessig objekthøyde, a_2

Objekthøyden er definert som høyden på en gjenstand det forutsettes at en bilfører skal kunne bremse ned og stoppe for. Beregningsmessig objekthøyde er objekthøyden redusert med en høyde tilsvarende ett bueminutt. Parameteren beregningsmessig objekthøyde inngår i beregning av minste vertikalkurveradius i høybrekk dimensjonert for stoppsikt, og ved siktkontroll.

For å oppfatte en gjenstand må en se en sektor av gjenstanden som dekkes av en vinkel på ett bueminutt. Dette tilsvarer 2,9 cm på en avstand av 100 m. På en avstand av 160-170 m tilsvarer dette ca 5 cm. Det er valgt å regne med en konstant beregningsmessig objekthøyde (a_2) lik objekthøyde minus 5 cm. Det er den beregningsmessige objekthøyde (a_2) som regnes som grunnparameter.



Figur 2.5: Objekthøyde

Gjeldende verdier for objekthøyde og beregningsmessig objekthøyde for fri vegstrekning og i kryss er vist i Tabell 2.2.

Tabell 2.2: Objekthøyde og beregningsmessig objekthøyde, a_2 (mål i m)

Objekthøyde	Beregningsmessig objekthøyde, a_2	Gyldighetsområde	Høyden representerer
0,3	0,25	Fri vegstrekning	Objekt i vegbanen
0	0	Kryssområder (plankryss)	Vegoverflaten

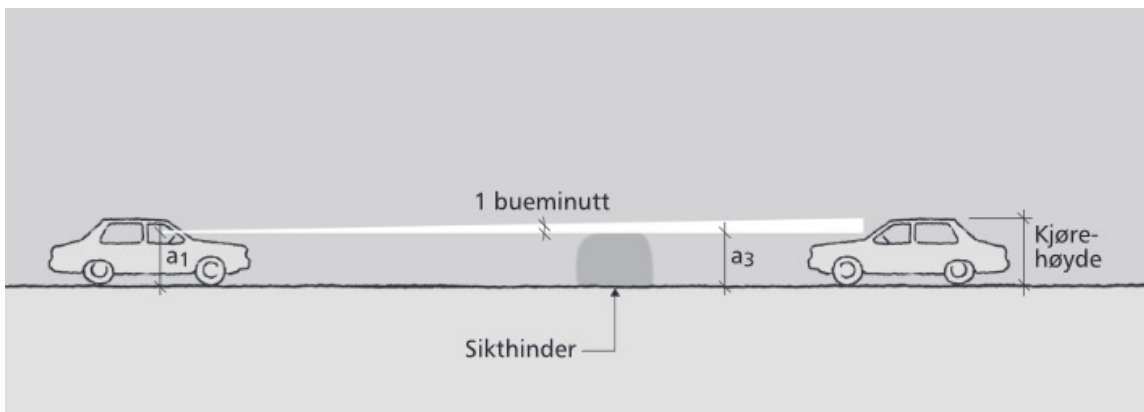
Objekthøyden i kryss er 0 m. Det vil si at kjørebanelen er synlig i en avstand tilsvarende siktkravet i krysset.

2.5 Kjøretøyhøyde og beregningsmessig kjøretøyhøyde, a_3

Dimensjonerende kjøretøyhøyde er satt til 1,35 m. Verdien er fastsatt ut fra en statistisk vurdering av personbilparken. 85 % av personbilene forutsettes å være høyere.

Parameteren inngår i beregning av minste vertikalkurve i høybrekk dimensjonert for møtesikt og beregning av forbikjøringssikt. Kjøretøyhøyde er også en aktuell parameter ved noen former for sikt kontroll.

For å oppfatte en gjenstand må en se en sektor av gjenstanden som dekkes av en vinkel på ett bueminutt. Dette tilsvarer 2,9 cm på en avstand av 100 m. På en avstand på 330 m tilsvarer dette ca 10 cm. Det er valgt å bruke en konstant beregningsmessig kjøretøyhøyde (a_3) lik kjøretøyhøyde minus 10 cm, det vil si 1,25 m.



Figur 2.6: Kjøretøyhøyde, a_3

2.6 Kjøretøybredde, b_k

Kjøretøybredde varierer med dimensjonerende kjøretøy. Håndbok N100 Veg- og gateutforming har fire dimensjonerende kjøretøytyper. Dimensjonerende bredde for de ulike kjøretøytypene er vist i Tabell 2.3. Det forutsettes at 85 % av personbilene har bredde mindre enn angitt verdi.

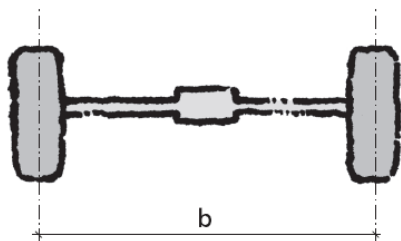
Tabell 2.3: Kjøretøybredder for dimensjonerende kjøretøytyper

Dimensjonerende kjøretøytyper	Bredde [m]
Modulvogntog (MVT)	2,6
Vogntog (VT)	2,6
Lastebil (L)	2,55
Liten lastebil (LL)	2,55
Buss (B)	2,55
Personbil (P)	1,8

Bredde er angitt uten sidespeil.

2.7 Hjulavstand, b

Hjulavstanden er definert som avstand senter - senter for et hjulpar på samme aksling for en dimensjonerende personbil.



Figur 2.7: Hjulavstand personbil, b

Hjulavstanden inngår i formelen for beregning av minste lengde for oppbygging av overhøyde. Denne lengden sammen med horisontalkurveradius bestemmer minste klotodeparameter A_{\min} (se kapittel 3.1.3).

Dimensjonerende hjulavstand er satt til 1,65 m. Dette er en konstant verdi uavhengig av andre forhold enn sammensetningen av personbilparken. 85 % av personbilene forutsettes å ha en hjulavstand som er mindre.

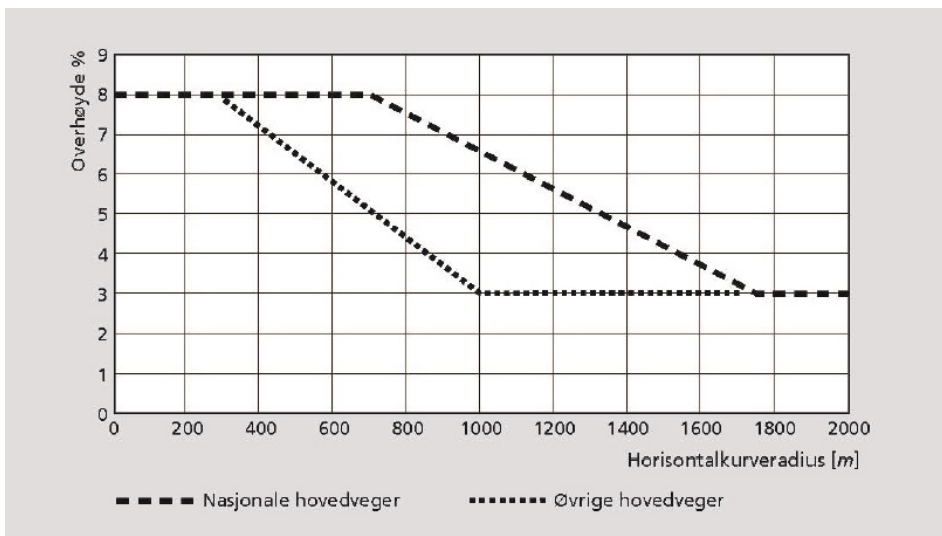
2.8 Overhøyde, e

Med overhøyde menes kjørebanelens tverrfall i horisontalkurver. Overhøyden tar sammen med sidefriksjonen opp sidekrefter ved kjøring i kurver. Stor overhøyde kan medføre risiko for at saktegående eller stillestående kjøretøy glir sidevegs på glatt føre.

Maksimal overhøyde inngår i beregning av minste horisontalkurveradius, minste lengde for oppbygging av overhøyde og minste klotodeparameter.

Maksimal overhøyde er satt til 8 %. Overhøyde for kurveradier større enn minste horisontalkurveradius er avhengig av vegens funksjon og er angitt i Figur 2.8.

I plankryss er maksimal tillatt overhøyde satt til 6 %. Dette fører til at minste horisontalkurveradius for gjennomgående hovedveg i plankryss er større enn for fri vegstrekning.



Figur 2.8: Overhøyde for nasjonale hovedveger og øvrige hovedveger

Overhøyde 3 % brukes fra og med den kurveradien som kan hentes ut fra Figur 2.8. I prosjekteringstabellene er det valgt å bruke maksimum overhøyde e_{maks} for horisontalkurver som er noe større enn minstekurven. For mellomstore kurver bygges det da inn større sikkerhet mot utforkjøring ved at sidekraften som opptas av overhøyde utover minstekurven beholdes.

I prosjekteringstabellene er det angitt ved hvilken radius man går over fra ensidig tverrfall til takfall.

2.9 Vertikalakselerasjon, a_v

Vertikalakselerasjon inngår i formelverket for beregning av minste vertikalkurveradius i lavbrekk. Lavbrekkskurver dimensjoneres ut fra et ønsket nivå for kjørek komfort.

Dimensjonerende verdi for vertikalakselerasjon er satt til $0,3 \text{ m/s}^2$.

Vertikalakselerasjonen (a_v) påvirker ikke sikkerheten slik den brukes i prosjekteringstabellene, men er en parameter som påvirker kjørek komfort.

2.10 Relativ vertikalfart, v_{vf}

Relativ vertikalfart er definert som forskjellen i vertikalfart for hjul på samme aksling, og skyldes at kjørefeltet dreies om senterlinja på vegen når overhøyden bygges opp eller ned. Parameteren inngår i beregning av minste klotoidparameter og brukes for å beregne lengden som overhøyden bygges opp over.

Relativ vertikalfart dimensjoneres ut fra et ønsket nivå for kjørek komfort. Dimensjonerende verdi er satt til $0,05 \text{ m/s}$ for hovedveger. Det er brukt samme verdier for gjennomgående utbedring som for ny veg.

Relativ vertikalfart (v_{vf}) påvirker ikke sikkerheten slik den brukes i prosjekteringstabellene, men er en parameter som påvirker kjørek komfort.

2.11 Akselerasjon, a

Akselerasjon inngår i beregning av akselerasjonsfelt i planskilte kryss, og beregning av forbikjøringsfelt i stigning.

Verdien er ikke konstant, men varierer med kjøretøyegenskaper og andre fysiske parametere, se kapittel 2.19. Parameteren er lik for ny veg og ved gjennomgående utbedring.

2.12 Retardasjon, r

Ved dimensjonering av veger inngår parameteren i beregningsgrunnlaget for tilfeller der hensikten er å redusere farten. Tap av fart i stigninger defineres derfor i denne håndboken ikke som retardasjon.

I realiteten vil verdien for retardasjon variere over tid. Både førerens bruk av bremsepedalen og forsinkelser i bremsesystem gjør at retardasjon typisk starter med liten retardasjon for deretter å øke mot sin maksimale verdi, inntil fører letter på pedalen og retardasjonen avtar. Parameteren r er derfor en gjennomsnittsverdi:

$$r = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Parameteren inngår i beregningen av lengden til retardasjonsfelt og venstresvingefelt. Dimensjonerende verdi for gjennomsnittlig retardasjon r er satt til $3,0 \text{ m/s}^2$.

Ved beregning av bremselengde benyttes indirekte en retardasjon $r = g \cdot f_b$, hvor bremsefriksjon f_b avhenger av fartsgrensen V og sikkerhetsfaktor knyttet til friksjon, se kapittel 2.16.3.

2.13 Stigningsgrad, s

Stigningsgraden inngår i formelverket for beregning av siktlegder og resulterende fall. Verdien måles langs vegens senterlinje, og maksimalverdien bestemmes ut fra dimensjoneringsklasse og hensynet til tunge kjøretøys framkommelighet.

På strekninger med vanskelig framkommelighet på vinterføre vurderes stigninger spesielt.

Maksimal stigningsgrad s_{maks} for ulike dimensjoneringsklasser varierer fra 5 til 8 %.

2.14 Reaksjonstid, t_r

Reaksjonstiden inngår i formelverket for beregning av stoppsikt, møtesikt og forbikjøringsikt. Denne verdien defineres som den tiden en bilfører trenger for å oppfatte en situasjon, vurdere den, fatte beslutning om å bremse/akselerere og starte bremsingen/ akselerasjonen. Det forutsettes at 85 % av personbilførerne vil reagere raskere enn dimensjonerende verdi.

Det er valgt en fast dimensjonerende verdi på 2 sekunder, uavhengig av vegfunksjon, fartsgrense og trafikkmengde.

2.15 Fartsgrense, V

Fartsgrense ligger til grunn for krav til linjeføring. Fartsgrensen varierer fra 60 til 110 km/t for de ulike dimensjoneringsklassene. Enkeltelementer i linjeføringen og utformingen dimensjoneres for en fart som i mange tilfeller er større enn fartsgrensen ved at man legger til et fartstillegg og/eller et fartsprofiltillegg.

Fartstillegg, Δv_t

Ulike dimensjoneringsklasser gis ulike fartstillegg ut fra vurderinger omkring risiko og konsekvens, se kapittel 6.1.2. Følgende fartstillegg er benyttet: 0, 5, og 10 km/t. Fartstillegget påvirker minsteverdiene i dimensjoneringstabellene.

Hvilke verdier som benyttes for hver enkelt dimensjoneringsklasse er vist i Tabell 6.2.

Fartsprofiltillegg, Δv_{pt}

Erfaringsmessig tar bilistene ut mer fart ved bedre vegstandard. Derfor er det i dimensjoneringsklassene i håndbok N100 Veg- og gateutforming lagt inn et fartsprofiltillegg for å kompensere for økt fart ved økende horisontalkurveradius.

Fartsprofiltillegget varierer mellom 0 og 5 km/t. Fartsprofiltillegget er 0 km/t for første linje i prosjekteringstabellen og økes til 5 km/t for nederste linje. Fartsprofiltillegg er nærmere omtalt i kapittel 6.1.3.

Fartsprofiltillegget øker omvendt proporsjonalt med krumningen ($1/R_h$). For mellomliggende verdier beregnes derfor fartsprofiltillegget med formelen.

$$\Delta v_{pt} = \Delta v_{pt,maks} \cdot \left[\frac{\frac{1}{R_h} - \frac{1}{R_{h,min}}}{\frac{1}{R_{h,maks}} - \frac{1}{R_{h,min}}} \right]$$

Hvordan fartsprofiltillegget varierer med horisontalkurveradien for de enkelte dimensjoneringsklasser framgår av Figur 6.2.

2.16 Friksjon

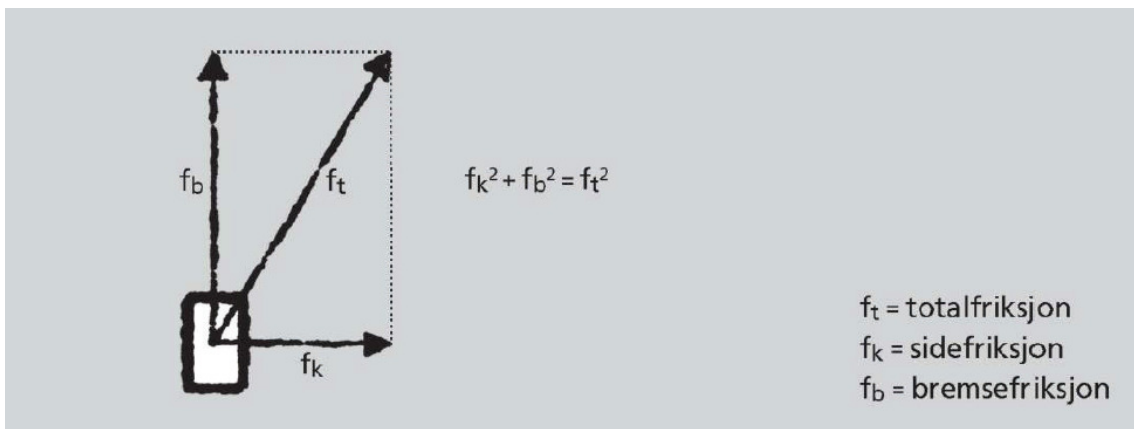
Dimensjonerende friksjonsverdier (totalfriksjon) er basert på friksjonsmålinger på eksisterende vegger. Vegdekkets friksjonsegenskaper beskrives i utgangspunktet som en konstant som forutsettes å dekke 95 % av vegoverflata ved våt, men ren og isfri overflate og målt ved 60 km/t. Denne verdien korrigeres for andre fartsgrenser enn 60 km/t, dekomponeres til bremse- og sidefriksjon, og underlegges sikkerhetsvurdering for de ulike dimensjoneringsklasser. Hvordan sikkerhetsfaktoren varierer for de ulike dimensjoneringsklassene framgår av Tabell 6.2.

2.16.1 Totalfriksjon, f_t

Totalfriksjonen sikrer tilstrekkelig friksjon:

- for nedbremsing
- for å holde kjøretøyet på vegen ved kjøring i kurver

Totalfriksjon inngår ikke direkte i beregningene av minimums- eller maksimumsverdier for linjeføringen, men danner grunnlaget for fastsetting av bremse- og sidefriksjon. Prinsippet for fordelingen mellom bremse- og sidefriksjon er vist i Figur 2.9.



Figur 2.9: Bremse- og sidefriksjon

Verdiene i Tabell 2.4 er framkommet gjennom friksjonsmålinger med ulike fart, og gir et bilde av vegdekkets friksjonsegenskaper.

Tabell 2.4: Totalfriksjon ved ulike fartsgrenser

Fartsgrense [km/t]							
40	50	60	70	80	90	100	110
0,64	0,58	0,53	0,49	0,46	0,44	0,42	0,40

Dimensjonerende friksjon er knyttet opp til fartsgrense. Det tas ikke hensyn til fartstillegg og fartsprofiltillegg.

I formelverket fordeles totalfriksjonen på side- og bremsefriksjon. Sidefriksjonens andel av totalfriksjonen er gitt i Tabell 2.5.

Tabell 2.5: Sidefriksjonens andel av totalfriksjonen ved ulike fartsgrenser

Fartsgrense [km/t]							
40	50	60	70	80	90	100	110
39 %	39 %	37 %	37 %	34 %	30 %	26 %	20 %

Verdien for sidefriksjon regnes ut på grunnlag av totalfriksjonen i Tabell 2.4 og prosentverdiene i Tabell 2.5. Verdien for bremsefriksjonen regnes så ut på grunnlag av formelen oppgitt i Figur 2.9. Dette gir verdier for friksjon (uten sikkerhetsfaktor) som vist i Tabell 2.6.

Tabell 2.6: Totalfriksjon fordelt på side- og bremsefriksjon ved ulike fartsgrenser

Fartsgrense [km/t]								
	40	50	60	70	80	90	100	110
f_t	0,638	0,575	0,528	0,491	0,461	0,437	0,416	0,397
f_k	0,249	0,224	0,195	0,182	0,157	0,131	0,108	0,079
f_b	0,588	0,529	0,490	0,456	0,434	0,416	0,401	0,389

For di friksjon ikke er en entydig størrelse, og målingene ofte gir stor spredning, brukes det sikkerhetsfaktorer. Følgende sikkerhetsfaktorer er benyttet: 1,0 eller 1,1. Disse varierer for de ulike dimensjoneringsklassene og fremgår av Tabell 6.2.

2.16.2 Sidefriksjon, f_k

Sidefriksjonen er den delen av totalfriksjonen som sammen med overhøyden tar opp sidekreftene ved kjøring i kurve. Ved dimensjonering brukes ulike sidefriksjonsverdier for ulike fartsgrenser.

Sidefriksjon inngår i formelen for beregning av minste horisontalkurveradius.

Tabell 2.7 viser sidefriksjon for ulike fartsgrenser og sikkerhetsfaktorer.

Tabell 2.7: Sidefriksjon for ulike fartsgrenser og sikkerhetsfaktorer

Sikkerhetsfaktor	Fartsgrense [km/t]							
	40	50	60	70	80	90	100	110
1,00	0,249	0,224	0,195	0,182	0,157	0,131	0,108	0,079
1,10	0,226	0,204	0,178	0,165	0,143	0,119	0,098	0,072

2.16.3 Bremsfriksjon, f_b

Bremsfriksjonen er den delen av totalfriksjonen som bremser ned kjøretøyet fra en viss fart til stopp. Ved dimensjonering brukes ulike bremsfriksjonsverdier for ulike fartsgrenser, se Tabell 2.6.

Bremsfriksjon inngår i formelverket for beregning av siktlengder (stoppsikt og møtesikt). Det betyr at beregningen av minste vertikalkurveradius i høybrekk er avhengig av bremsfriksjonen.

Tabell 2.8 viser bremsfriksjonsverdier for ulike fartsgrenser og sikkerhetsfaktorer.

Tabell 2.8: Bremsfriksjon for ulike fartsgrenser og sikkerhetsfaktorer

Sikkerhetsfaktor	Fartsgrense [km/t]							
	40	50	60	70	80	90	100	110
1,00	0,588	0,529	0,490	0,456	0,434	0,416	0,401	0,389
1,10	0,534	0,481	0,446	0,415	0,394	0,379	0,365	0,354

2.17 Sporningsøkning, b_s

Ved kjøring i kurver vil et kjøretøy trenge mer plass enn på en rettlinjet veg. Sporningsøkningen er definert som breddeøkningen mellom ytre forhjul på fremre aksling, og indre bakhjul på bakaksel ved kjøring i kurve.

Grunnparameteren sporningsøkning inngår i beregningen av nødvendig breddeutvidelse i kurver, og tar vare på den delen av breddeøkningen som skyldes økt avstand mellom hjulsporene.

Sporningsøkningen er avhengig av kjøretøytype og horisontalkurveradius. Tabell 2.9 viser sporningsøkning for de ulike dimensjonerende kjøretøyene.

Tabell 2.9: Sporningsøkning ved kjøring i kurve [m]

Kjøretøytype	Radius [m]												
	20	30	40	50	70	100	125	150	200	250	300	400	500
Modulvogntog (MVT)	3,82	2,46	1,8	1,41	0,97	0,65	0,50	0,40	0,27	0,20	0,15	0,09	0,05
Vogntog (VT)	2,49	1,63	1,19	0,96	0,68	0,47	0,37	0,31	0,23	0,18	0,15	0,11	0,09
Buss (B)	1,40	0,92	0,69	0,56	0,39	0,28	0,22	0,19	0,14	0,11	0,09	0,07	0,04
Lastebil (L)	1,15	0,77	0,57	0,46	0,33	0,24	0,20	0,16	0,12	0,09	0,08	0,06	0,05

Liten lastebil (LL)	0,48	0,33	0,25	0,19	0,14	0,10	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
Personbil (P)	0,17	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01

2.18 Overheng, b_o

Grunnparameteren overheng inngår også i beregningen av nødvendig breddeutvidelse i kurver. Den tar vare på breddeøkningen som skyldes at deler av kjøretøyet vil kreve plass utenfor linja som beskrives av ytre forhjul.

Tabell 2.10 viser hvordan overhengen vil gi ekstra breddebehov avhengig av horisontalkurveradius og kjøretøytype.

Tabell 2.10: Breddeøkning på grunn av overheng i kurver [m]

Kjøretøytype	Radius [m]												
	20	30	40	50	70	100	125	150	200	250	300	400	500
Modulvogntog (MVT)	0,40	0,30	0,25	0,22	0,19	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11
Vogntog (VT)	0,42	0,29	0,22	0,19	0,13	0,10	0,08	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
Buss (B)	1,08	0,75	0,58	0,46	0,29	0,23	0,18	0,15	0,13	0,09	0,03	0,05	0,04
Lastebil (L)	0,52	0,35	0,27	0,22	0,16	0,10	0,08	0,07	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02
Liten lastebil (LL)	0,34	0,23	0,18	0,14	0,10	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
Personbil (P)	0,13	0,10	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00

Breddeutvidelse ved kjøring i kurver er nærmere omtalt i kapittel 4.3 og Tabell 4.1 viser total breddeutvidelse i meter for 2-feltsveger avhengig av kurveradius og kjøretøytype.

2.19 Dimensjonerende kjøretøytyper

Ytre mål for dimensjonerende kjøretøy er beskrevet i håndbok N100 Veg- og gateutforming. For kjøretøytypene personbil og vogntog er det i tillegg satt verdier for fysiske parametere som har påvirkning på kjøretøyenes akselerasjon. Verdiene for vekt og motoreffekt for dimensjonerende kjøretøy representerer en statistisk 15-persentil. Det vil si at 85 % av kjøretøyene har større forholdstall mellom motoreffekt og vekt enn dimensjonerende kjøretøy.

Personbil er dimensjonerende kjøretøy ved bestemmelse av akselerasjonsfeltets lengde. Parametere som inngår i beregning av akselerasjon for personbil er gitt i Tabell 2.11.

Tabell 2.11: Parametere som inngår i beregning av akselerasjon for personbil (P)

Parameter	Enhet	Verdi
Rullemotstand	-	0.015
Luftmotstand	-	0.4
Areal, front	m ²	2.0
Masse	kg	1500
Motoreffekt	kW	60

Vogntog er dimensjonerende kjøretøy ved dimensjonering av forbikjøringsfelt i stigning.

Parametere som inngår i beregning av akselerasjon for vogntog er gitt i Tabell 2.12.

Tabell 2.12: Parametere som inngår i beregning av akselerasjon for vogntog (VT)

Parameter	Enhet	Verdi
-----------	-------	-------

Rullemotstand	-	0.015
Luftmotstand	-	0.6
Areal, front	m ²	8.0
Masse	kg	40000
Motoreffekt	kW	360

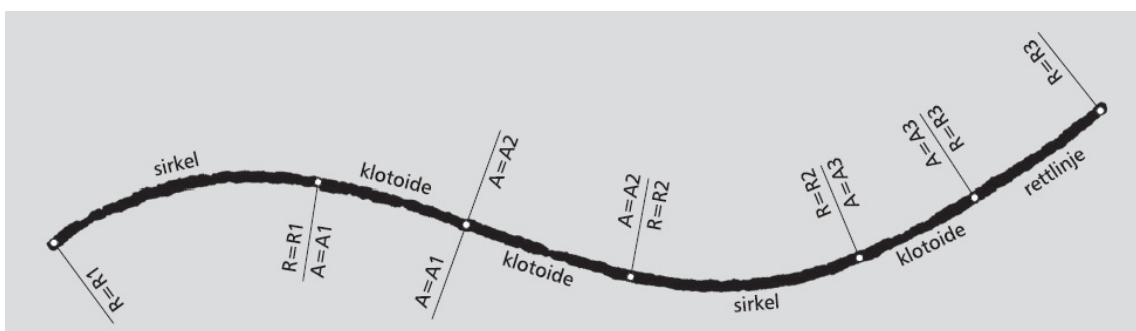
3 Linjeføring

3.1 Horisontalkurvatur

I dette kapitlet beskrives de ulike elementene i horisontalkurvaturen, og hvordan minsteverdier for disse elementene beregnes.

3.1.1 Elementer i horisontalkurvaturen

Ved konstruksjon av vegens horisontalkurvatur brukes elementene rettlinje, sirkel og klotoider, og disse elementene kan kombineres fritt. Figur 3.1: Eksempel på sammensetning av ulike elementer i horisontalkurvaturen. Figur 3.1 viser et eksempel på hvordan disse elementene kan kombineres.



Figur 3.1: Eksempel på sammensetning av ulike elementer i horisontalkurvaturen

Rettlinje

Rettlinjer gir god sikt. Lange rettlinjer kan gi gode muligheter for forbikjøring, men det er vanskeligere å vurdere fart og avstand til møtende kjøretøy enn ved kjøring i slake kurver.

For å gi god trafikkavvikling, er det ønskelig at en viss andel av vegstrekningen har forbikjøringssikt. Her egner slake kurver seg bedre enn rettlinjer, forutsatt at en har tilfredsstillende siktforhold.

Ved kjøring i mørke vil en på rettlinjer få økt fare for blanding av motgående kjøretøy, og bilføreren tvinges derfor til å bruke nærløys over lengre strekninger, noe som reduserer sikten.

Det anbefales at svakt krummede kurver benyttes i stedet for lange rettlinjer.

Sirkelkurve

Sirkelen er en geometrisk kurve med konstant krumning. Sirkelkurven gir konstant sidekraft på kjøretøyet ved jevn fart.

Jevn krumning gir også god optisk ledning. En veg som består av kurver med liten variasjon i kurveradius og kurvelengde, innbyr til sikker kjøring og gir en estetisk god veglinje dersom den for øvrig passer inn i landskapet.

Klotoider

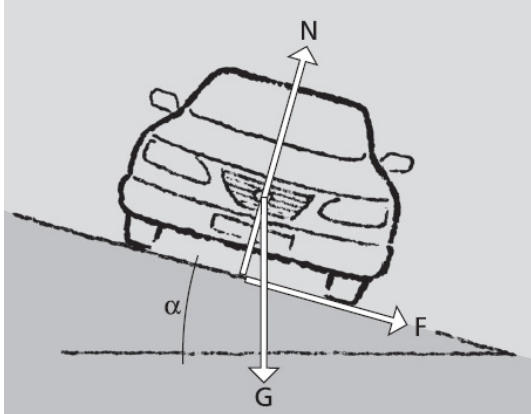
Klotoider brukes for å få en jevn overgang fra én krumning til en annen. De blir brukt som overgang mellom rettlinjer og sirkler, mellom sirkler med ulik radius og ensrettet krumning (eggkurver), og mellom sirkelkurver med motsatt krumning (vendeklotoider). Klotoidens gode egenskaper som overgangskurve skyldes at dens geometri gir konstant vinkelhastighet ved kjøring med konstant fart.

Fra bilførerens perspektiv dreier man på rattet i klotoiden, mens man holder konstant rattutslag i sirkelkurven.

3.1.2 Minste horisontalkurveradius

Minste horisontalkurveradius på fri vegstrekning

Minste horisontalkurve bestemmes ut fra ønsket om likevekt mellom kreftene som virker på kjøretøyet.



Figur 3.2: Krefter som virker på kjøretøy ved kjøring i kurve

Følgende parametere inngår i beregning av minste horisontalkurveradius:

V	=	fartsgrense (med eventuelle fartstillegg) [km/t]
e_{maks}	=	maksimal overhøyde [m/m]
f_k	=	dimensjonerende sidefriksjonsfaktor

Minste horisontalkurveradius ($R_{n,min}$) beregnes ut fra følgende formel:

$$R_{n,min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{maks} + f_k)} \quad [m]$$

Minste horisontalkurveradius beregnes etter samme formel for fri vegstrekning og i kryss, men med ulike krav til overhøyde (se kapittel 2.8).

Ved prosjektering kontrolleres det at valgt horisontalkurveradius sammen med vertikalkurvaturen og utforming av sideterenget gir tilfredsstillende sikt (se kapittel 5.4).

Minste horisontalkurveradius i tunnel

I utgangspunktet gjelder de samme krav til horisontalkurveradius i tunnel som for veg i dagen. I tunneler vil normalt krav til sikt bli dimensjonerende for minste horisontalkurveradius.

Følgende parametere inngår i beregning av minste horisontalkurveradius i tunnel (eller store fjellskjæringer) basert på krav til sikt:

L_s = stoppsikt [m], (kapittel 5.1.2 og 5.3.1)

B = avstand fra midt i kjørefeltet til tunnelveggen [m], (Figur 5.1).

Følgende formel brukes:

$$R_{min} = \frac{L_s^2}{8 \cdot B} \quad [m]$$

Verdien for B vil avhenge av bl.a. vegbredde, skulderbredde og høyre- eller venstrekurve.

Ved lange siktlengder i forhold til radien benyttes følgende formel ved kontroll av sikt:

$$B = R \cdot \left[1 - \cos \left(L_k \cdot \frac{\rho}{2 \cdot R} \right) \right] \quad [m], \text{ hvor } L_k \text{ er siktlengdekravet}$$

ρ er en omregningsfaktor fra vinkel i radianer til vinkel i grader eller gon. Verdier for ρ er vist i Tabell 3.1.

Tabell 3.1: Omregningsfaktor ρ

Vinkelenhet	ρ
Radianer (2π)	1
Grader (360°)	57,30
Gon (400^g)	63,66

Ellers vises det til kapittel 5.4 om siktkontroll.

3.1.3 Minste klotoideparameter

Minste klotoideparameter beregnes ut fra krav til lengde for overhøydeoppbygging. I beregningen inngår følgende parametere:

$R_{h,min}$ = minste horisontalkurveradius [m]

b = hjulavstand [m]

e_{maks} = maksimal overhøyde [m/m]

V = fartsgrense (med eventuelle farts- og fartsprofiltillegg) [km/t]

v_{vf} = relativ vertikalfart [m/s]

$L_{o,min}$ = nødvendig lengde for å bygge opp overhøyde fra 0 til E_{maks} [m]

Minste klotoideparameter beregnes ut fra formelen:

$$A_{min} = \sqrt{R_{h,min} \cdot L_{o,min}} \quad \text{hvor} \quad L_{o,min} = \frac{b \cdot V \cdot e_{maks}}{3,6 \cdot v_{vf}}$$

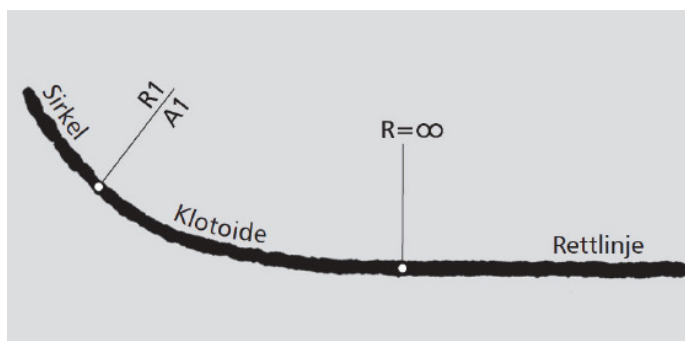
I håndbok N100 Veg- og gateutforming er det satt en absolutt minsteverdi for A_{min} , knyttet til minste horisontalkurveradius i de ulike dimensjoneringsklassene. Ved kurveradier større enn $R_{h,min}$ vil kravet til klotoideparameteren A øke.

Tidligere var krav til kjøredynamikk, kurvelengde og estetikk brukt ved fastsetting av A_{min} .

3.1.4 Kurvekombinasjoner

Klotoide

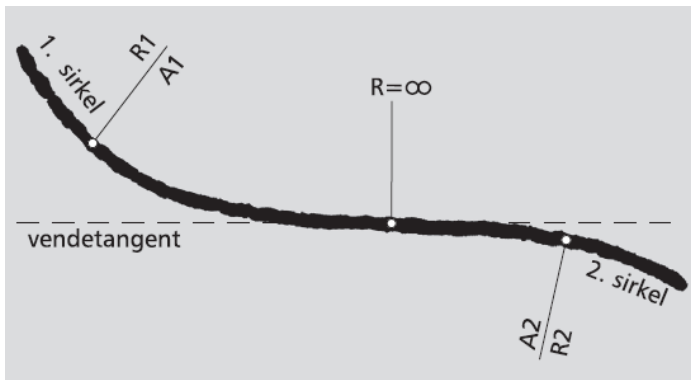
Den vanligste kurvekombinasjonen er rettlinje, klotoide og sirkel.



Figur 3.3: Klotoide

Vendeklotoide

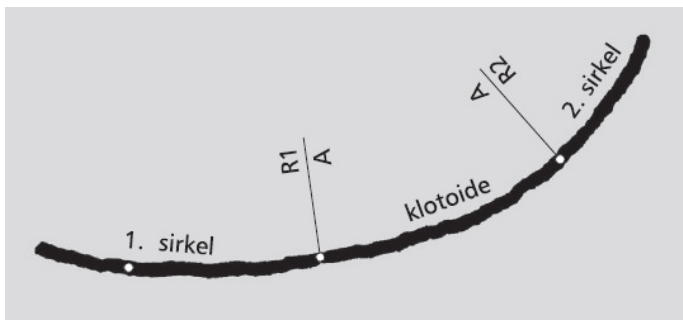
En vendeklotoide er to enkeltklotoider (uten rettlinje mellom) som danner en overgangskurve mellom sirkelkurver med motsatt krumning (S-kurver).



Figur 3.4: Vendekлотоide

Eggkurver

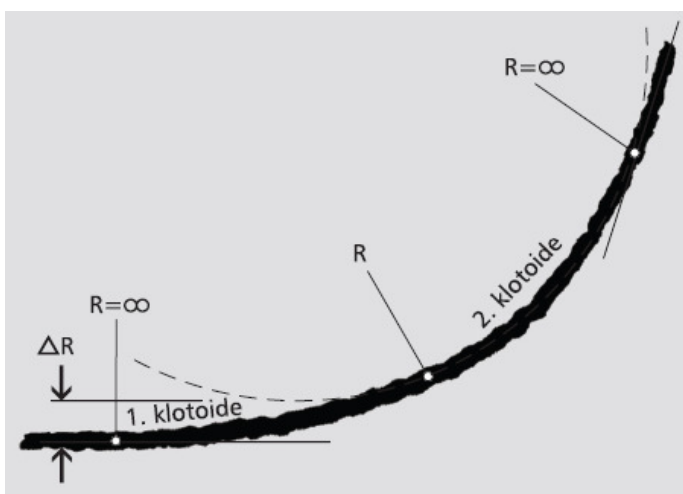
En eggkurve er en klotoid mellom to sirkler hvor den ene sirkelen i sin helhet ligger innenfor den andre, og hvor sentrene ikke er sammenfallende; for eksempel en overgang fra en slak venstresving til en krappere venstresving. De to sirkelkurvene skal tilfredsstille krav til eventuelle nabokurver.



Figur 3.5: Eggkurve

Sammenstøtende klotoider

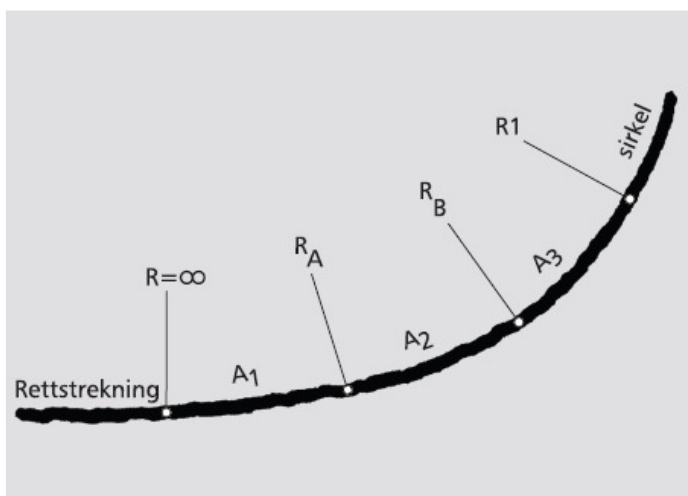
Sammenstøtende klotoider er to klotoider, med like eller ulike parametere, hvor krumningen går samme vei. I sammenknytningspunktet har begge klotoidene samme radius. Sammenstøtende klotoider er aktuelt å bruke ved utbedringsarbeider og i kryssområder for å kunne få til linjekombinasjoner som er best mulig tilpasset eksisterende forhold.



Figur 3.6: Sammenstøtende klotoider

Sammensatte klotoider

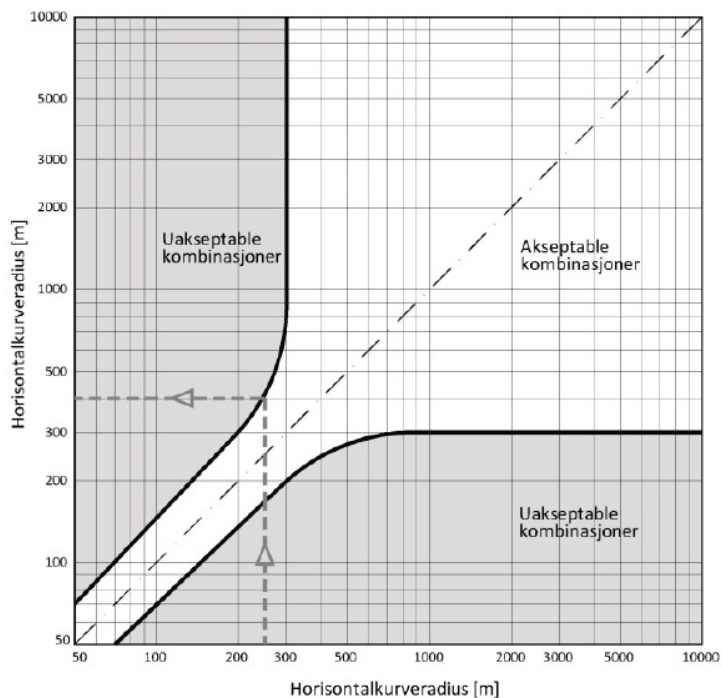
Sammensatte klotoider består av klotoider med forskjellige parametere. Sammensatte klotoider anbefales bare brukt i slyngpartier. Forholdet mellom klotoideparametere anbefales å være mindre enn 1,3 ($A_1 > A_2 > A_3$).



Figur 3.7: Sammensatte klotoider

3.1.5 Nabokurver

For å sikre jevn geometri stilles det krav til nabokurver i horisontaltraseen. Disse kravene er basert på sammenhenger vist i Figur 3.8. For sirkler med radius ≤ 300 m settes krav til nabokurver. Nabokurven til $R_h = 300$ m ligger i intervallet $R_h = 200$ m til $R_h = 1000$ m. For alle kurver med radius > 300 m er det ingen øvre grense for nabokurvens radius.



Figur 3.8: Krav til nabokurver

Dersom fellestangenten mellom de to sirkelkurvene i en S-kurve er kortere enn 2 ganger fartsgrenseverdien regnes ikke den korte rettlinsen som nabokurve. Sirkelkurvene blir da nabokurver.

Eksempel – nabokurvevurderinger

Når fellestangenten for sirkelkurvene i en S-kurvekombinasjon er relativt kort, regnes ikke mellomiggende rettlinje som en nabokurve til sirkelkurvene. For at disse rettlinjene skal regnes som nabokurver, må lengdene på disse fellestangentene være lengre enn 120, 160, 180 og 220 m for fartsgrenser på hhv 60, 80, 90 og 110 km/t.

Et utsnitt av prosjekteringstabellen for en H1-veg er vist nedenfor.

Tabell 3.2: Prosjekteringstabell for H1-veg

R_h^1	Horisontalkurvatur					Vertikalkurvatur			
	Nabokurve		Klotoide	Siktlengde		$R_{v,høy}$	$R_{v,lav}$	Overhøyde	Stigning ²
	Min	Maks	Min	Stopp	Forbi	Min	Min	e	Maks
250	250	400	125	115	600	2800	1900	8.0	6.0
275	250	550	135	115	600	2800	1900	8.0	6.0
300	250		140	115	600	2800	1900	8.0	6.0
350	250		150	120	600	3000	1900	8.0	6.0
400	250		160	120	600	3000	2000	8.0	6.0
450	270		175	120	600	3000	2000	8.0	6.0
500	270		180	120	600	3000	2000	8.0	6.0
550	275		190	120	600	3000	2000	8.0	6.0
600	280		200	120	600	3000	2000	8.0	6.0
700	290		215	125	600	3300	2000	8.0	6.0
800	290		225	125	600	3300	2000	7.5	6.0
900	290		230	125	600	3300	2000	7.0	6.0
1000	300		235	125	600	3300	2100	6.5	6.0
1200	300		235	125	600	3300	2100	5.6	6.0
1400	300		235	125	600	3300	2100	4.7	6.0
1600	300		235	125	600	3300	2100	3.7	6.0
≥ 1750	300		235	125	600	3300	2100	3.0	6.0

I kolonnene «nabokurve min. og maks.», er det gitt minste og største tillatte horisontalkurveradius for nabokurver som kan knyttes sammen med den valgte horisontalkurven vist til venstre i tabellen. Hvis det ikke er oppført noen nabokurveverdi, kan man bruke horisontalkurve med radius større enn 1000 m eller en rettlinje. Dette betyr at en ikke kan ha en direkte overgang mellom f.eks. en horisontalkurve med $R_h = 250$ og en rettlinje.

Dersom en benytter en horisontalkurve på $R_h=250$ m, så skal tilstøtende nabokurver ha en radius på maksimalt 400 m. Kurvene med $R_h=400$ m kan etterfølges av en rettlinje.

3.2 Vertikalkurvatur

I dette kapitlet beskrives aktuelle elementer i vertikalkurvaturen, og hvordan minsteverdier for vertikalkurver beregnes.

3.2.1 Elementer i vertikalkurvaturen

Vertikalkurvaturen består av stigninger og vertikalkurver. Aktuelle vertikalkurver er sirkler, parabler eller klotoider.

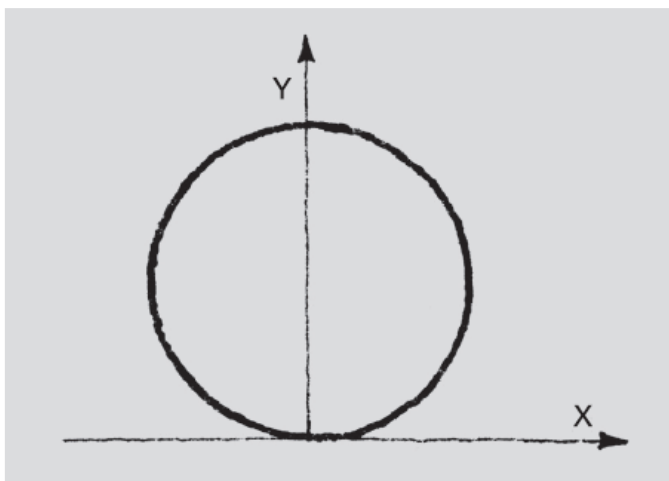
Sirkel

Med et koordinatsystem som vist i Figur 3.9, vil sirkelens geometri være gitt ved ligningen:

$$x^2 + (y - R)^2 = R^2$$

I de fleste tilfeller brukes bare en liten del av sirkelbuen; sjelden mer enn 1/50 av periferien. x-verdiene vil vanligvis være mindre enn 0,06R. Høyden av sirkelkurven er gitt ved ligningen:

$$y = R \pm \sqrt{R^2 - x^2}$$

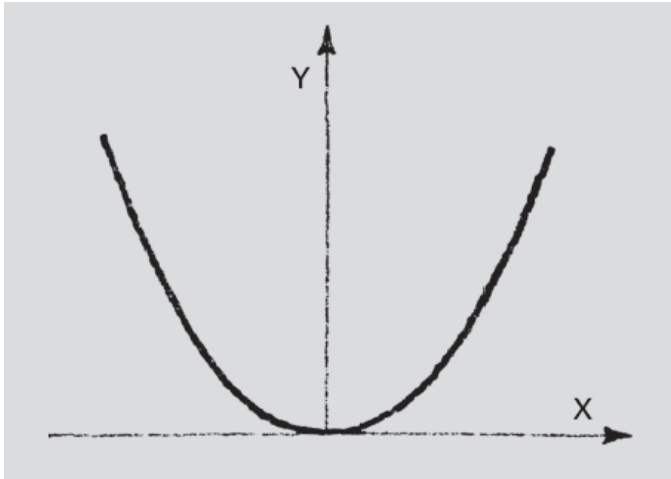


Figur 3.9: Sirkel (vertikalkurvatur)

Sirkel er det mest brukte kurveelementet i vertikalkurvaturen.

Parabel

Parabelens form er vist i Figur 3.10.



Figur 3.10: Parabel (vertikalkurvatur)

Parabelens form er gitt ved ligningen:

$$y = 2px^2$$

Parabelligningen for et koordinatsystem som vist i Figur 3.10 blir:

$$y = \frac{1}{2R} \cdot x^2$$

Kurveforløpet avviker lite fra en sirkel for den delen som er aktuell å bruke for en vertikalkurve, og vertikalkurven angis normalt som radien i parabelens toppunkt.

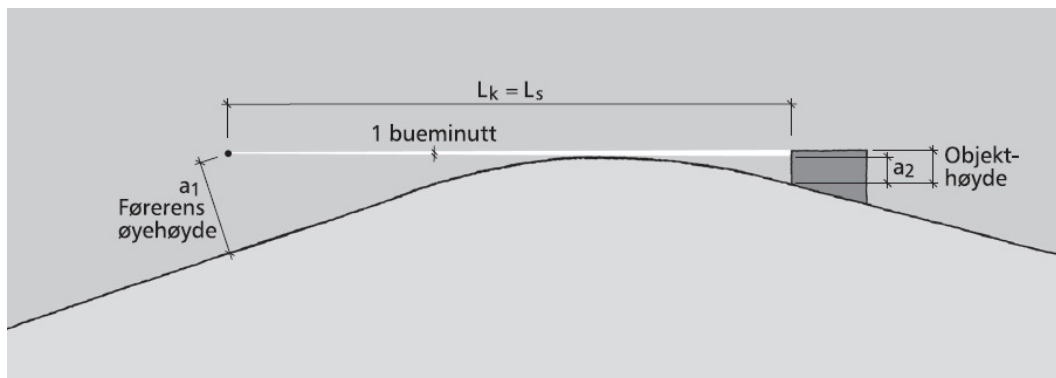
Klotoide

Klotoiden er et nyttig element i vertikalkurvaturen, først og fremst for å gi mer estetiske lavbrekkskurver. Ved bruk av klotoider sammen med sirkelkurver får en et vesentlig lengre kurveforløp, uten at selve sirkelkurven blir forskyvet noe særlig i høyderetning. Sirkelkurven forskyves dermed noe i forhold til rettlinja, men denne forskyvningen er svært beskjeden. I de fleste tilfeller vil en parallellforskyvning mindre enn 0,3 m være tilstrekkelig. Dette gjør at veglinja ikke får et knekket forløp, noe som særlig forekommer hvis kurvene i vertikalkurvaturen er korte.

3.2.2 Vertikalkurveradius

Minste vertikalkurveradius i høybrekk

Høybrekkskurver er dimensjonert ut fra sikt krav ved kjøring i dagslys. Figur 3.11 viser et høybrekk dimensjonert for stoppsikt. Verdiene for høybrekkskurver i dimensjoneringstabellene er beregnet ut fra L_s for horisontal veg ($s = 0$). Dette er en tilnærming som ikke medfører store feil dersom de tilstøtende rettlinjler har motsatt stigning, som vist i Figur 3.11.



Figur 3.11: Prinsippkisse for stoppsikt i høybrekk

1-feltsveger er dimensjonert ut fra krav til møtesikt, 2- og flerfeltsveger ut fra krav til stoppsikt. For 1-feltsveger kontrolleres det at vertikalkurvaturen også tilfredsstillers stoppsikt.

Det forutsettes at lengden av vertikalkurven er lengre enn krav til sikt (L_k). For utregning av høybrekk brukes da følgende parametere:

L_k = sikt krav (L_s eller L_m), se kapittel 5.3

a_1 = øyehøyde

a_2 = beregningsmessig objekthøyde = objekthøyden minus 5 cm

a_3 = beregningsmessig kjøretøyhøyde = kjøretøyhøyden minus 10 cm

Vertikalkurveradien i høybrekk bestemmes ut fra formelen:

$$R_{v,min} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{L_k}{\sqrt{a_1} + \sqrt{a_2(3)}} \right)^2 \quad [m]$$

Ved prosjektering av korte vertikalkurver (mindre enn L_k) vil det være mulig å redusere vertikalkurveradien. Minste vertikalkurveradius kan da beregnes ut fra formelen:

$$R_{v,min} = \frac{2 \cdot L_k}{s_d} - 2 \cdot \left(\frac{\sqrt{a_1} + \sqrt{a_2(3)}}{s_d} \right)^2 \quad [m]$$

s_d er stigningsendring i m/m.

Minste vertikalkurveradius i lavbrekk

Lavbrekkskurver er dimensjonert ut fra krav til kjørekofort.

Følgende parametere brukes for beregning av minste kurveradius i lavbrekk:

V = fartsgrense (med eventuelle fartstillegg) [km/t]

a_v = vertikalakselerasjon [m/s^2]

Minste vertikalkurveradius i lavbrekk bestemmes ut fra formelen:

$$R_{v,min} = \frac{V^2}{12,96 \cdot a_v} \text{ [m]}$$

3.2.3 Krav til stigningsgrad

Stigningsgrad er definert som høydeforskjell dividert med horisontal avstand i vegens lengderetning. Stigningsgraden uttrykkes vanligvis i %. Den er positiv i stigning og negativ i fall sett i profileringsretningen. Største tillatte stigningsgrad er bestemt av krav til framkommelighet, kjørekomfort, kapasitet og sikkerhet. Krav til maksimal tillatt stigningsgrad i håndbok N100 Veg- og gateutforming varierer fra 5 % til 8 % avhengig av dimensjoneringsklassen.

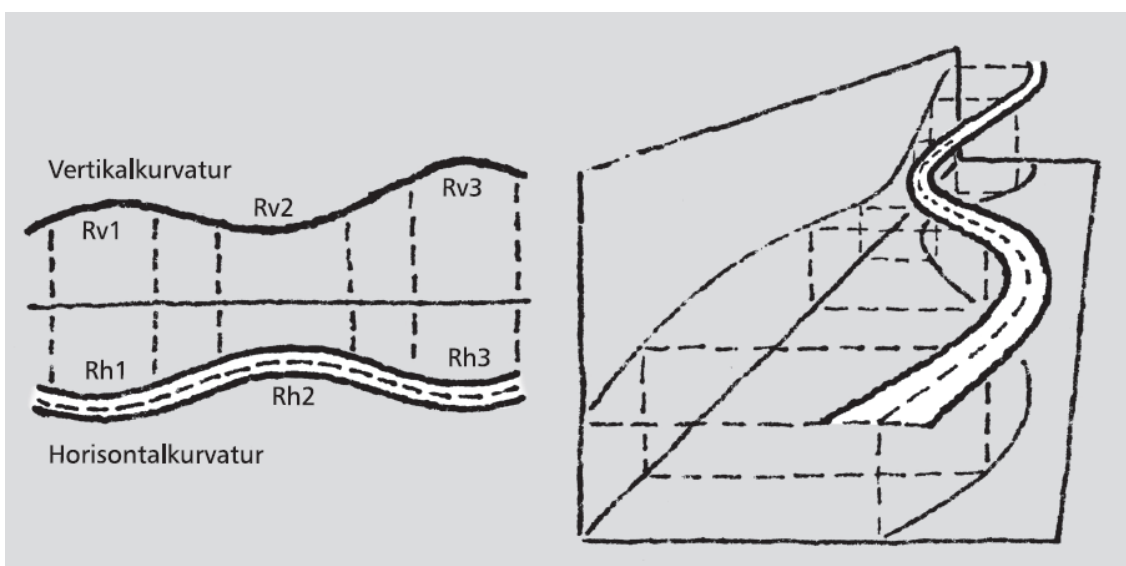
3.3 Romkurven – estetikk og optisk føring

Vegen formes med en jevn og rytmisk form, slik at den gir trafikantene god optisk informasjon om vegens geometri og videre forløp. Slake kurver er ofte ønskelig av hensyn til trafiksikkerhet og framkommelighet.

Vegen er en romkurve som beskrives ved hjelp av projeksjonene i horisontal- og vertikalplanet samt tverrprofil. Estetisk sett er det utformingen av den tredimensjonale romkurven som er av interesse. Horisontal- og vertikalkurvaturen planlegges slik at de i kombinasjon danner en romkurve som har en jevn og rytmisk form. Romkurven kontrolleres ved hjelp av perspektivtegninger eller 3D-modeller.

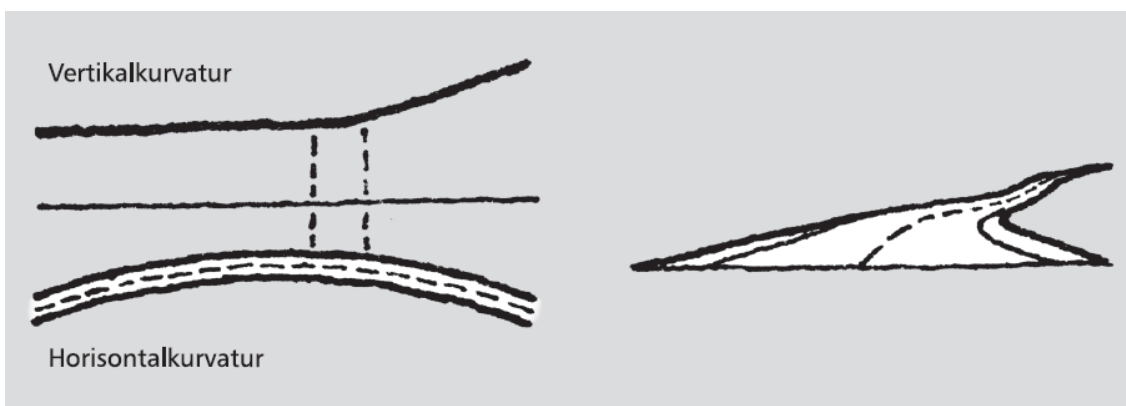
3.3.1 Romkurvatur

Når kurvepunktene i horisontal- og vertikalplanet faller sammen, oppnås en ideell linjeføring både ut fra hensynet til trafiksikkerhet, optisk føring, vannavrenning og estetikk.



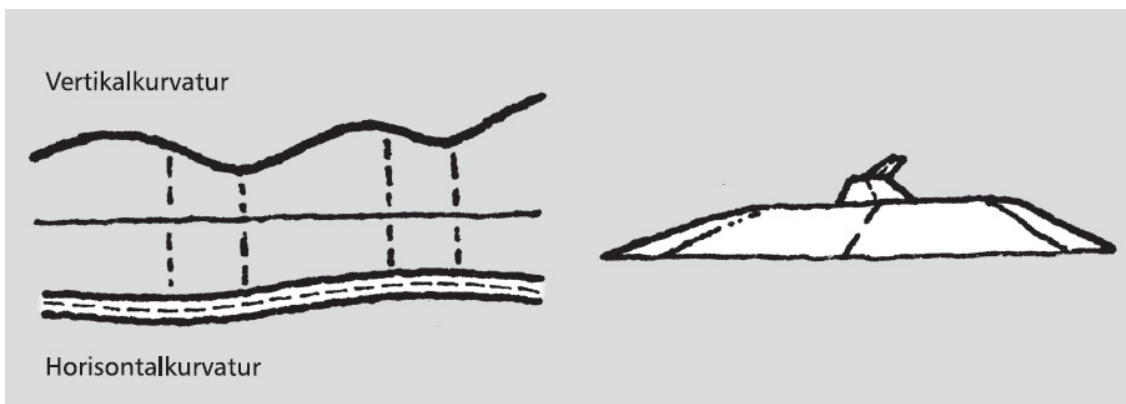
Figur 3.12: Når horisontal- og vertikalkurvepunktene faller sammen oppnås en jevn romkurvatur

Figur 3.13, Figur 3.14 og Figur 3.15 er eksempler på uheldige kurvekombinasjoner.



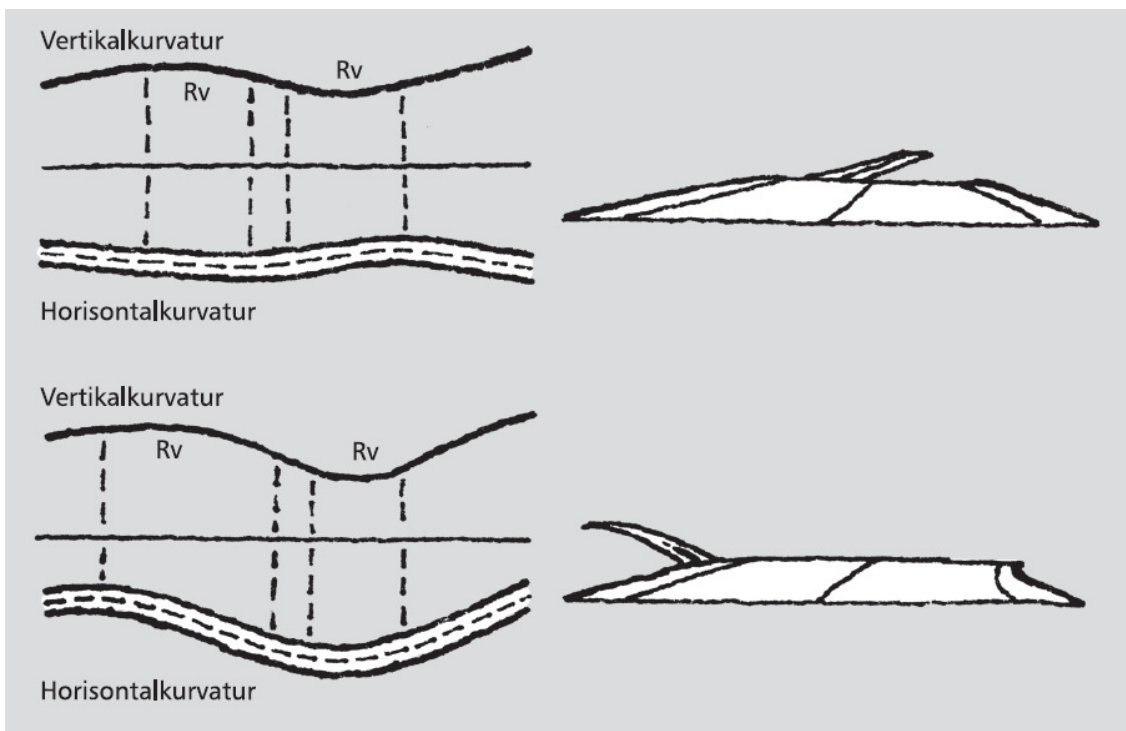
Figur 3.13: Kurvekombinasjon som bør unngås, eksempel 1

Figur 3.13 viser at en kort vertikalkurve i en lang horisontalkurve gir en skjæmmende uregelmessighet i linjeføringen. Horisontalkurven framtrer ikke som sammenhengende.



Figur 3.14: Kurvekombinasjon som bør unngås, eksempel 2

Figur 3.14 viser krapp vertikalkurvatur i kombinasjon med slak horisontalkurvatur. Hvis endringene i vertikalplanet er store, vil trafikantene se vegen stykkevis. Dette kan gi trafikkfarlige situasjoner.



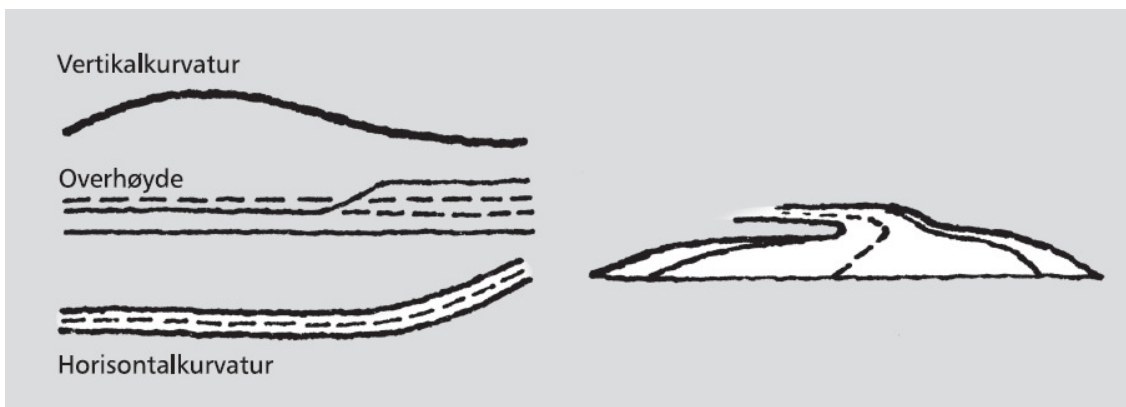
Figur 3.15: Kurvekombinasjoner som bør unngås, eksempel 3

Figur 3.15 viser kurvekombinasjoner som gir sprang i perspektivet.

3.3.2 Overhøyde

Vegens geometriske form beskrives først og fremst av vegkantene som er markert med kantlinjer eller rekkverk. Vegkantene er normalt symmetriske om vegens senterlinje, men ved bruk av overhøyde får høyre og venstre vegkant forskjellig vertikalgeometri. Overhøydeoppbyggingen kan derfor gi et skjæmmende inntrykk, og den kan komme til å forsterke en ellers uheldig linjeføring. Slike feil kan være spesielt uheldige på bruer eller andre faste byggverk.

Det tas hensyn til overhøyden når vegens vertikaltrasé bestemmes. Dette gjelder spesielt for kurver med korte klotoider hvor overhøydeoppbyggingen skjer over en relativt kort lengde. Dette vil ofte kunne gi knekkvirkning i perspektivbildet.

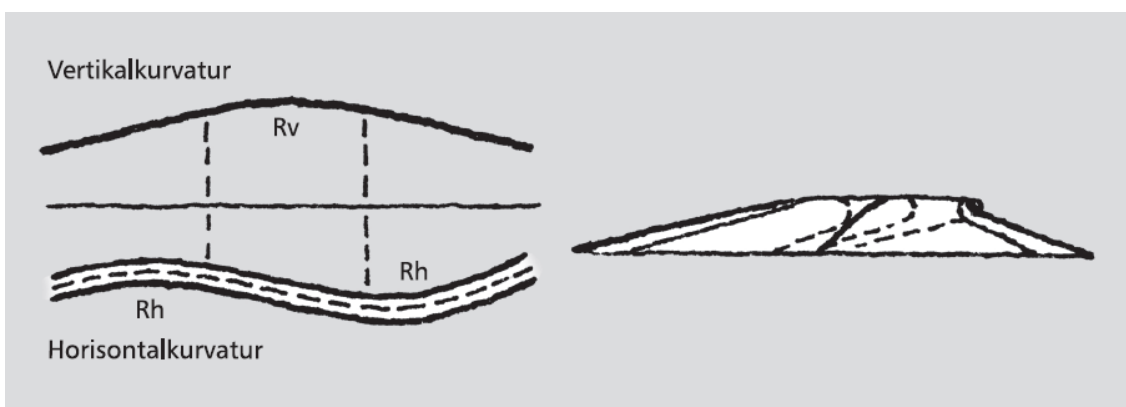


Figur 3.16: Overhøydeoppbygging som vil kunne gi et skjæmmende inntrykk

3.3.3 Optisk føring

En riktig utformet veg har en god optisk føring. Minstekravene til horisontal- og vertikalkurvatur er gitt i håndbok N100 Veg- og gateutforming. God optisk føring oppnås når samspillet mellom elementene er som vist i Figur 3.12.

Figur 3.17 viser en spesielt uheldig optisk føring. Her er overgangen mellom motsatt rettede horisontalkurver lagt i et høybrykk.



Figur 3.17: Høybrykk i overgangen mellom motsatt rettede horisontalkurver bør unngås

En slik romkurve gir trafikantene feil informasjon om vegens videre forløp.

Skilt, oppmerking, belysning og tilgrensende byggverk har også betydning for den totale optiske føringen.

4 Tverrprofil

4.1 Tverrfall

Tverrfallet er kjørebanens helning på tvers av vegens lengdeakse (i tverrprofilet). I kurver defineres tverrfallet som overhøyde.

Tverrfall brukes av hensyn til vannavrenning, for å motvirke sidekrefter i kurver og for å oppnå bedre kjørekomfort.

4.1.1 Rettstrekning

På rettstrekninger på 2-feltsveger brukes takfall (q), som vist på Figur 4.1. Takfall på asfalterte veger er 3 %.



Figur 4.1: Tverrprofil, takfall på rettlinje

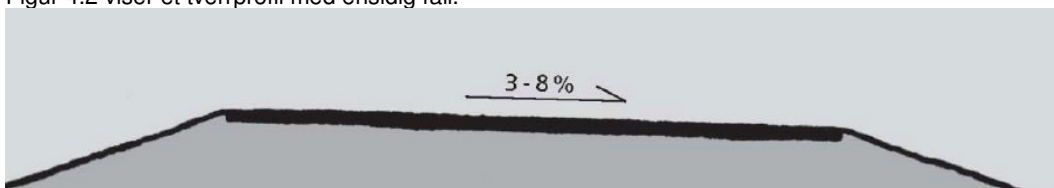
1-feltsveger har vanligvis ensidig fall (e). For flerfeltsveger brukes ensidig fall på hver av kjøreretningene.

4.1.2 Sirkelkurve

I sirkelkurver brukes normalt ensidig fall (overhøyde). Overhøyden motvirker sidekrefter på kjøretøyet i tillegg til å ivareta avrenning. Sidekreftene tas delvis opp ved at kurven får helning på tvers av lengderetningen (overhøyde). Resten av kreftene som virker på kjøretøyet, tas opp ved sidefriksjon (se kapittel 2.16.2).

Maksimal overhøyde framgår av prosjekteringstabellene for hver dimensjoneringsklasse i håndbok N100 Veg- og gateutforming, og omtales i kapittel 2.8.

Figur 4.2 viser et tverrprofil med ensidig fall.



Figur 4.2: Tverrprofil, ensidig fall

4.1.3 Overhøydeoppbygging i kurvekombinasjoner

Ved bruk av klotoider bygges overhøyden normalt opp i klotoiden, og full overhøyde etableres i det sirkelen begynner. Oppbyggingen av overhøyden fordeles i utgangspunktet jevnt over hele klotoidelengden. Ved lange klotoider kan det være en fordel med raskere oppbygging.

I en klotoide med parameter $A = A_{\min}$ forutsettes det at overhøyden på ytre kjørefelt bygges opp fra takfallsverdi (for eksempel 3 %) til overhøyde 0 % før klotoiden starter. Se Figur 4.3.

Hvis klotoiden er vesentlig lengre enn nødvendig ($L > 1,4 \cdot L_{o,min}$) for å bygge opp hele overhøyden, dreies ytre kjørefelt raskest mulig fra takfall til ensidig fall med samme helningsverdi som på rettlinje (takfallsverdi). L_o er lengden som trengs for oppbygging av nødvendig overhøyde. Indre kjørefelt holdes i ro over denne strekningen. Resten av overhøydeoppbyggingen fordeles jevnt over den resterende del av klotoiden som vist i Figur 4.5. Dette gjøres for å redusere den delen av strekningen som har lite tverrfall, og dermed sikre bedre vannavrenning av kjørebanelen.

I S-kurver med vendeklotoide bygges overhøyden opp som for to enkeltklotoider. Men en bygger ikke ned til takfall der enkeltklotoidene møtes (punktet der $R=\infty$). I dette punktet brukes 0 % overhøyde for begge kjørefelt, som vist i Figur 4.6.

For 1- og 2-feltsveger skjer oppbyggingen ved dreining om senterlinja. Flerfeltsveger behandles i prinsippet på samme måte som 2-feltsveger. Hver kjørebane dreies samlet om kjørebanelokant mot midtdeleren/midtrekkverket (som tilsvarer senterlinja for 2-feltsveger).

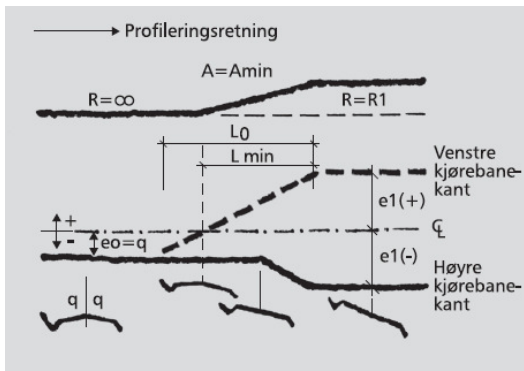
De følgende figurene viser eksempler på overhøydeoppbygging i noen valgte kurvekombinasjoner.

Her er brukt at

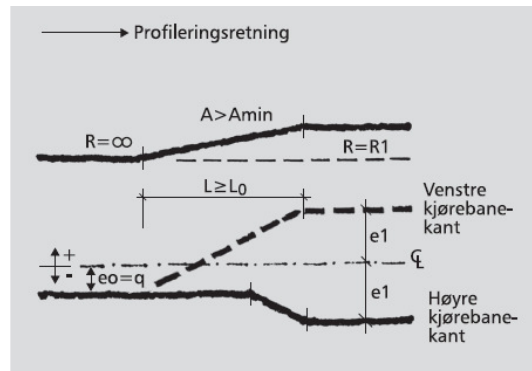
$$L_{o,min} = \frac{b \cdot V \cdot e_d}{3,6 \cdot v_{vf}}, \text{ der } e_d \text{ er endring i overhøyde}$$

$L_{o,min}$ er den minste lengden av overhøydeoppbyggingen der oppbyggingen skjer kun i klotoiden (der A er tilnærmet lik A_{min}). L_o er lengden av hele overhøydeoppbyggingen. L_o kan beregningsmessig være både større og mindre enn $L_{o,min}$.

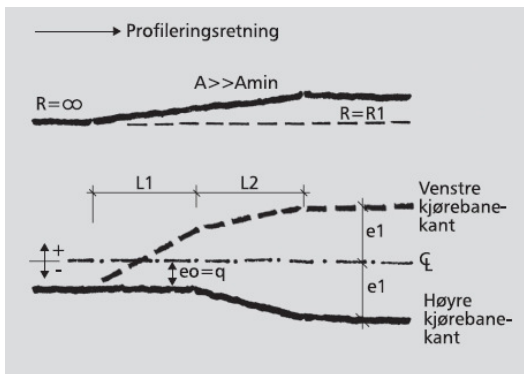
I figurene nedenfor er q definert som takfall på rettlinje og e definert som overhøyde. e_o er minste tverrfall på rettlinje.



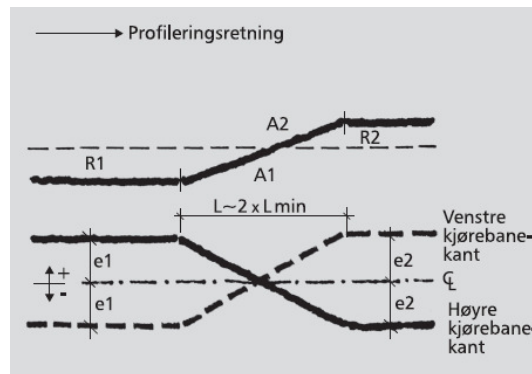
Figur 4.3: Overhøydeoppbygging med overgang fra rettlinje til sirkel, der parameter A er tilnærmet lik A_{min}



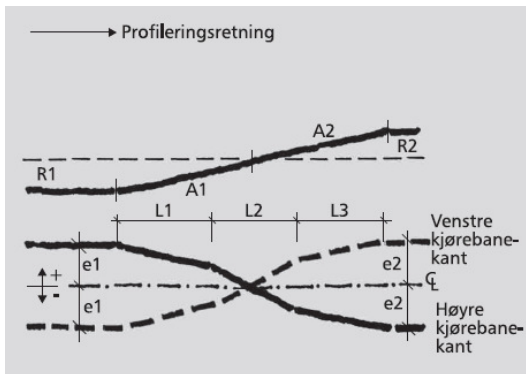
Figur 4.4: Overhøydeoppbygging ved overgang fra rettlinje til sirkel, der klotoiden er lang nok til å bygge opp hele overhøyden i klotoiden



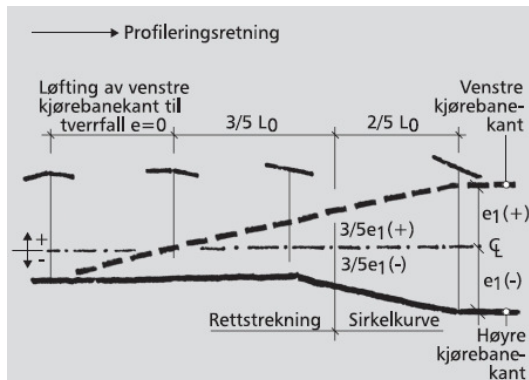
Figur 4.5: Overhøydeoppbygging ved overgang fra rettlinje til sirkel, med klotoidelengde som er vesentlig lengre enn nødvendig for å bygge opp hele overhøyden i klotoiden ($L > 1,4 \times L_0$)



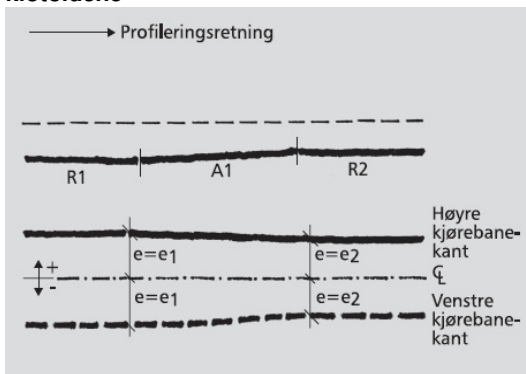
Figur 4.6: Overhøydeoppbygging i vendekurve med parameter A tilnærmet lik A_{min}



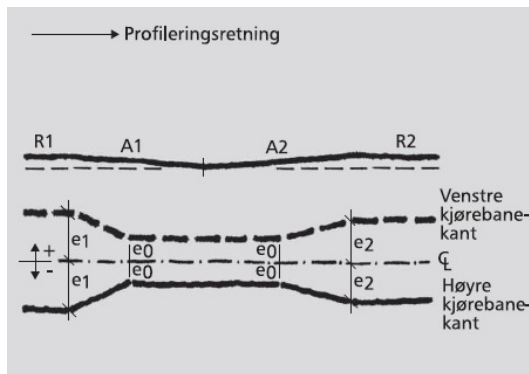
Figur 4.7: Overhøydeoppbygging i vendekurve hvor klotoidelengdene er vesentlig lengre enn nødvendig for å bygge opp overhøyden i klotoidene



Figur 4.8: Overhøydeoppbygging ved direkte overgang mellom rettlinje og sirkel



Figur 4.9: Overhøydeoppbygging i en eggkurve

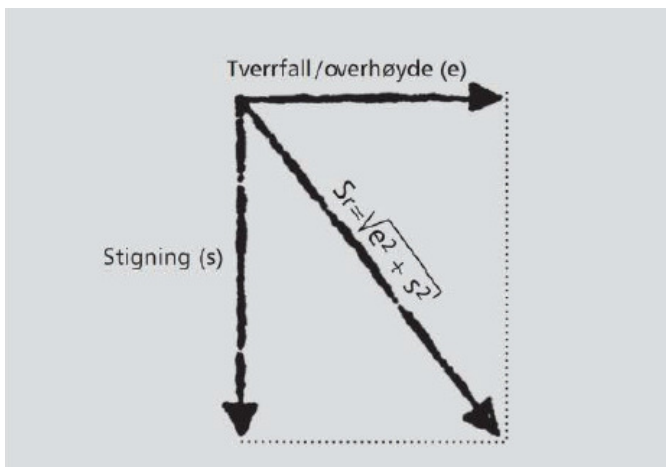


Figur 4.10: Overhøydeoppbygging i sammenstøtende klotoider. e_0 har samme verdi som takfall på rettlinje

Der stigning i lengderetningen er mindre enn 2 %, vil resulterende fall kunne bli mindre enn 2 % over korte strekninger ved dreining av kjørebanen via 0 %. Slike tilfeller vil kreve spesiell oppmerksomhet for å sikre tilfredsstillende avrenning. Strekninger der det ikke er mulig å oppnå minst 2% resulterende fall, bør gjøres så korte som mulig.

4.2 Resulterende fall

Resulterende fall er et resultat av vegens lengdefall og tverrfall.



Figur 4.11: Resulterende fall (s_r)

To parametere inngår i beregningen av resulterende fall:

e = overhøyde

s = stigning

Verdi for resulterende fall er beregnet ut fra følgende formel:

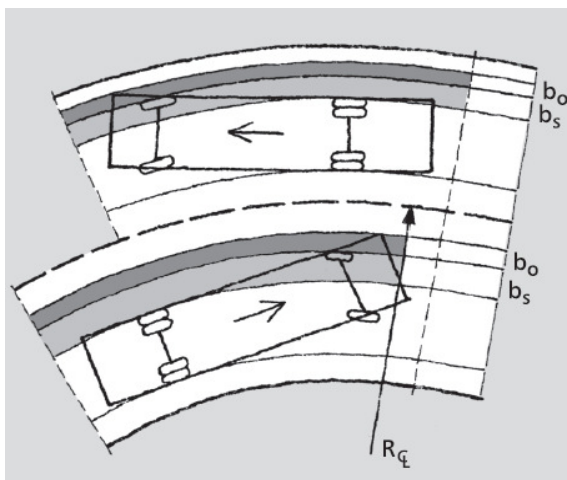
$$s_r = \sqrt{e^2 + s^2} \text{ [m/m]}$$

Krav til maksimalt resulterende fall beregnes ut fra maksimal stigning og overhøyde. Minste resulterende fall er satt til 2 %. Minimumsgrensen sikrer vannavrenning,

4.3 Breddeutvidelse i kurver

Ved kjøring i kurver vil et kjøretøy trenge mer plass enn på rettlinjet veg. Det økte plassbehovet skyldes at kjøretøyet tar mer plass på grunn av sporing, samtidig som deler av kjøretøyet vil henge utover hjulene. Derfor økes kjørefeltbredden noe i kurver. Utvidelse er spesielt viktig i krappe kurver og i kryss.

Breddeøkningen for en 2-feltsveg er vist i Figur 4.12.



Figur 4.12: Prinsippkisse for breddeutvidelse for en 2-feltsveg

Kjørefeltene betraktes hver for seg.

Sporingsøkningen er ulik for de to feltene, fordi feltene har ulik radius. Dette betyr lite ved store kurveradier, men har betydning i krappe kurver (spesielt i kryssområder) og i slyng.

Hvordan sporingsøkningen (b_s) varierer med horisontalkurveradius og dimensjonerende kjøretøy er vist i Tabell 2.9. Tabell 2.10 viser økt breddebehov på grunn av overheng (b_o) ved kjøring i ulike horisontalkurver.

I kryssområder og i spesielt krappe kurver (f.eks. slyng) kan det være aktuelt å angi utvidelsen for hvert enkelt kjørefelt for seg. Men på frie vegstrekninger vil en som oftest se på total breddeutvidelse for hele kjørebanelen.

For en 2-feltsveg vil total breddeutvidelse bli summen av:

- sporingsøkning i ytre kjørefelt
- sporingsøkning i indre kjørefelt
- overhengen i indre kjørefelt
- overhengen i ytre kjørefelt

Breddeutvidelsen er avhengig av dimensjonerende kjøretøy og horisontalkurveradius. Nødvendig breddeutvidelse for fri vegstrekning på 2-felts veg er gitt i Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Breddeutvidelse ΔB for 2-felts veger avhengig av kurveradius [m]

Kjøretøytype	Horisontalkurveradius [m]												
	20	30	40	50	70	100	125	150	200	250	300	400	500
Modulvogntog (MVT)	8,6	5,7	4,3	3,4	2,5	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7	0,5	0,5
Vogntog (VT)	6,0	4,0	3,0	2,5	1,8	1,3	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4
Buss (B)	5,4	3,6	2,7	2,1	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
Lastebil (L)	3,6	2,4	1,8	1,5	1,1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
Liten lastebil (LL)	1,8	1,3	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Personbil (P)	1,1	0,7	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Verdiene i Tabell 4.1 er basert på formelen:

$$\Delta B = 2 \cdot b_s + 2 \cdot b_o + 0,15 \quad [\text{m}]$$

der

- b_s = sporingsøkning
- b_o = overheng
- 0,15 = fast styringstillegg

I formelen er kjøremåte A (kjøretøyet holder seg innenfor eget kjørefelt) lagt til grunn, samt de teoretiske mål for dimensjonerende kjøretøy.

Regler for breddeutvidelse:

- Breddeutvidelse på fri vegstrekning brukes når horisontalkurveradius er ≤ 500 m.
- Breddeutvidelse for andre horisontalkurver enn de som er gitt i Tabell 4.1 finnes ved lineær interpolasjon.
- Ved kjørefeltbredde $> 3,25$ m reduseres kravene i Tabell 4.1 med økningen i kjørefeltbredde utover 3,25 m. (Eksempel: kjørefeltbredde 2 x 3,5 m gir reduksjon på 0,5 m av avlest verdi for total kjørefeltsøkning).
- Avlest eller interpolert verdi for breddeutvidelse i Tabell 4.1 rundes av til nærmeste 0,1 m.
- For 2-feltsveger fordeles breddeutvidelsen med en halvpart på hver side av vegen.
- 4-feltsveger behandles som to 2-feltsveger.
- 1-felts veger gis halv breddeutvidelse i forhold til 2-felts veger.

- Breddeutvidelsen bygges normalt opp lineært over overgangskurvens lengde. Ved lange overgangskurver kan breddeutvidelsen utføres over en kortere strekning.
- I vendekurver hvor begge sirkelkurvene har breddeutvidelse, kan det være aktuelt å ikke bygge ned breddeutvidelsen helt til 0 i vendepunktet. I stedet kan man bygge ned til halv breddeutvidelse i hver klotoide, og så fordele forskjellen lineært på den mellomliggende strekningen forbi vendepunktet.
- Ved sammenstøtende klotoider, eller hvis en har korte sirkelkurver, utføres breddeutvidelsen over en lengde tilsvarende en 1/3 av fartsgrensen.

Tabell 4.1 angir nødvendig breddeutvidelse i kurver på fri vegstrekning med kurveradius over 40 m. I kryss og i slyng hvor kurveradiene er under 40 m, beregnes breddebehovet på annen måte. Ved krappe kurver i kryssområder og i slyng vil det også være forskjell i behovet for økt bredde i indre og ytre felt. Dette går fram av Figur 8.1 og Tabell 8.2 som viser breddebehovet i slyng ved ulike kurveradier.

Nødvendig areal for å sikre framkommelighet i kryss er nærmere behandlet i håndbok V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss.

5 Sikt

Dette kapitlet gir bakgrunnsmateriale for de siktkrav som inngår i håndbok N100 Veg- og gateutforming, og hvordan en manuell siktkontroll utføres.

Siktforholdene er viktig for vegens kvalitet og sikkerhetsnivå. Ulike siktkrav inngår derfor som viktige faktorer for å fastlegge vegens geometriske minsteverdier. Siktkravene skal tilfredsstilles i alle kurvekombinasjoner.

Siktkravene kan påvirke:

- minste horisontalkurveradius som kan benyttes (spesielt i tunneler, på bruer med sikthindrende rekkverk, i trange fjellskjæringer)
- minste vertikalkurveradius i høybrekk
- lengden på forbikjøringsstrekninger
- siktforhold i kryss og avkjørsler
- utforming av vegens sideterreng

5.1 Definisjoner

5.1.1 Fri sikt

Fri sikt er sammenhengende, synlig veglengde for en bilfører som befinner seg midt i kjørefeltet, og har øyehøyde a_1 over kjørebanelen.

5.1.2 Stoppsikt

Stoppsikt er nødvendig siktlengde fram til et objekt for at bilføreren oppdager objektet, reagerer, vurderer om han skal bremse og bremser kjøretøyet til stopp.

Stoppsikt brukes blant annet ved dimensjonering av vertikalkurvatur i høybrekk. Ulike verdier for beregningsmessig objekthøyde brukes i ulike situasjoner; se kapittel 2.4.

5.1.3 Møtesikt

Møtesikt er sikt fram til et kjøretøy med nærmere angitt høyde som kjører i motsatt retning i samme kjørefelt. Sikten skal være lang nok til at begge kjøretøyene rekker å stanse.

5.1.4 Forbikjøringsikt

Forbikjøringsikt er minste siktlengde en bilfører har framover mot møtende trafikk i det øyeblikket han ønsker å begynne en forsvarlig og trygg forbikjøring.

5.2 Krav til sikt

Stoppsikt skal tilfredsstilles langs hele vegstrekningen. For 2-feltsveger uten midtrekkverk er det i tillegg stilt krav om et tilstrekkelig antall strekninger med forbikjøringsikt.

For 1-feltsveger er ikke stoppsikt alene tilstrekkelig, fordi to motgående kjøretøy vil befinne seg i samme kjørefelt. På slike veger skal en også sikre møtesikt. Sammenlignet med 2-feltsveger vil 1-feltsveger med samme fartsgrense derfor få en stivere linjeføring.

5.3 Beregning av ulike sikt lengder

5.3.1 Stoppsikt, L_s

Følgende grunnparametere inngår i beregning av stoppsikt:

t_r = reaksjonstid [s]

V = fartsgrense (med eventuelle fartstillegg) [km/t]

f_b = bremsefriksjon

s = stigningsgrad [m/m]

Stoppsikt (L_s) består av to deler: reaksjonslengde (L_r) og bremselengde (L_b). Reaksjonslengden er den strekningen som tilbakelegges i løpet av reaksjonstiden – det vil si den tiden det tar bilføreren å oppfatte situasjonen, vurdere den og ta en beslutning om å bremse ned. Reaksjonstid på 2 sekunder brukes som fast verdi for alle forhold.

Reaksjonslengden (L_r) er uttrykt ved formelen:

$$L_r = t_r \cdot \frac{V}{3,6} = 0,278 \cdot t_r \cdot V \quad [\text{m}]$$

Bremselengden (L_b) er den lengden som trengs for å bremse et kjøretøy til full stopp. Lengden er en funksjon av fart, friksjon mellom hjul og vegoverflate og stigningsgrad, og er uttrykt ved formelen:

$$L_b = \frac{1}{2} \cdot \frac{\left(\frac{V}{3,6}\right)^2}{9,81 \cdot (f_b + s)} = \frac{V^2}{254,3 \cdot (f_b + s)} \quad [\text{m}]$$

Når disse slås sammen, får en stoppsiktlengden:

$$L_s = L_r + L_b = 0,278 \cdot t_r \cdot V + \frac{V^2}{254,3 \cdot (f_b + s)} \quad [\text{m}]$$

5.3.2 Møtesikt, L_m

Møtesiktlengde beregnes på samme måte som stoppsiktlengde, men nå er det et møtende kjøretøy som føreren har sikt til.

Møtesikt er satt til to ganger stoppsikt for horisontal veg. I tillegg er det lagt til en sikkerhetsavstand på 10 m.

$$L_m = 2L_s + 10 \quad [\text{m}]$$

5.3.3 Forbikjøringssikt, L_f

Forbikjøringssikt beregnes ut fra en beregningsmodell. Modellen forutsetter 2-feltsveg uten midtrekkverk og er beskrevet i kapittel 7.1.

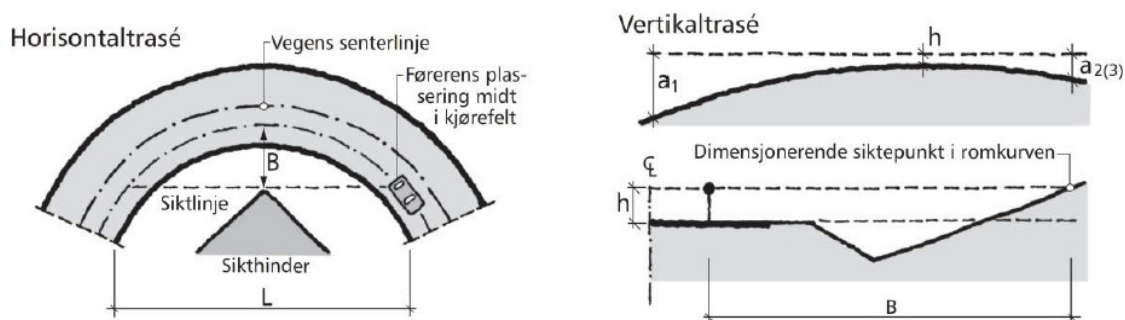
5.4 Siktkontroll

Siktkontroll er nødvendig fordi ikke alle elementene i vegens linjeføring er dimensjonert ut fra krav til sikt. En siktkontroll kan påvirke den endelige utformingen av tverrprofil, sideterreng og linjeføring. For sikt i kryss og avkjørsler vises det til håndbok V121 Geometrisk utforming av veg- og gatekryss.

Størst problem med å tilfredsstille siktkravene vil man ha ved en kombinasjon av krappe kurver, høy fart, smalt tverrprofil (tunneler, bruer med sikthindrende rekkverk, trange fjellskjæringer, støttemurer) og stor stigningsgrad. I slike tilfeller vil det som oftest være behov for å øke bredden ved å utvide grøfta, eller å gjøre skjæringene slakere. Det kan også være aktuelt å benytte slakere kurver. Bruk av minstekurve på fri vegstrekning i tunnel vil føre til at stoppsiktkravet ikke er sikret uten at tverrprofilen utvides vesentlig.

På veger med midtrekkverk kan det være vanskelig å oppnå stoppsikt i venstre kurve. Skulle man oppfylt siktkravene fullt ut, ville minste tillatte horisontalkurveradius bli 3-4 ganger høyere enn normalverdien, og linjeføringen for stiv. I håndbok N100 Veg- og gateutforming er det valgt å se bort fra midtrekkverket som sikthinder i venstre kurve. Mer om dette i kapittel 0. Siktkontrollen kan utføres ved bruk av standard prosjekteringsverktøy (DAK).

Det er her beskrevet en enkel metode som viser hvordan siktkontrollen kan utføres på partier hvor aktuell siktlengde i sin helhet ligger innenfor ett element i både horisontal- og vertikalkurvaturen. Figur 5.1 skisserer prinsippet.



Figur 5.1: Prinsippskisse for siktkontroll

Tabell 5.1 viser nødvendige verdier for B for ulike horisontalkurveradier og siktkrav.

Tabell 5.1: Verdier for B (gitt i figur 5.2) for ulike horisontalkurveradier og sikt lengder

Horisontalkurve- radius	Sikt lengde L_s, L_m, L_f [m] målt midt i aktuelt kjørefelt																													
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	170	190	200	220	240	250	275	300	320	350	375	400	450	500	550	600	650		
70	4,4	6,3	8,6	11,1	14,0	17,1	20,5	24,2	28,1	32,2	36,5	45,6	55,2	60,1																
80	3,9	5,6	7,5	9,8	12,3	15,1	18,2	21,5	25,0	28,7	32,7	41,1	50,1	54,8																
90	3,4	5,0	6,7	8,7	11,0	13,5	16,3	19,3	22,5	25,9	29,5	37,2	45,7	50,1																
100	3,1	4,5	6,1	7,9	10,0	12,2	14,7	17,5	20,4	23,5	26,8	34,0	41,8	46,0																
125	2,5	3,6	4,9	6,3	8,0	9,9	11,9	14,1	16,5	19,1	21,8	27,8	34,4	37,9	45,4	53,3	5,75													
150	2,1	3,0	4,1	5,3	6,7	8,3	10,0	11,8	13,9	16,0	18,4	23,4	29,1	32,1	38,6	45,5	49,1													
175	1,8	2,6	3,5	4,6	5,8	7,1	8,6	10,2	11,9	13,8	15,8	20,2	25,2	27,8	33,4	39,6	42,8	51,3	60,4											
200		2,2	3,1	4,0	5,0	6,2	7,5	8,9	10,5	12,1	13,9	17,8	22,1	24,5	29,5	34,9	37,8	45,4	53,7											
225		2,0	2,7	3,5	4,5	5,5	6,7	8,0	9,3	10,8	12,4	15,9	19,8	21,9	26,4	31,2	33,8	40,7	48,2											
250		1,8	2,4	3,2	4,0	5,0	6,0	7,2	8,4	9,7	11,2	14,3	17,8	19,7	23,8	28,3	30,6	36,9	43,7	49,5	58,8									
300			2,0	2,7	3,4	4,2	5,0	6,0	7,0	8,1	9,3	12,0	14,9	16,5	19,9	23,7	25,7	31,0	36,7	41,7	49,6									
350				2,3	2,9	3,6	4,3	5,1	6,0	7,0	8,0	10,3	12,8	14,2	17,1	20,4	22,1	26,7	31,7	35,9	42,8	49,0	55,6							
400				2,0	2,5	3,1	3,8	4,5	5,3	6,1	7,0	9,0	11,2	12,4	15,0	17,9	19,4	23,4	27,8	31,6	37,7	43,1	49,0							
450				1,8	2,2	2,8	3,4	4,0	4,7	5,4	6,2	8,0	10,0	11,1	13,4	15,9	17,2	20,8	24,8	28,1	33,6	38,5	43,7	55,1						
500					2,0	2,5	3,0	3,6	4,2	4,9	5,6	7,2	9,0	10,0	12,1	14,3	15,5	18,8	22,3	25,4	30,3	34,7	39,5	49,8						
600						2,1	2,5	3,0	3,5	4,1	4,7	6,0	7,5	8,3	10,1	12,0	13,0	15,7	18,7	21,2	25,3	29,1	33,0	41,7	51,3	61,9				
700						1,8	2,2	2,6	3,0	3,5	4,0	5,2	6,4	7,1	8,6	10,3	11,1	13,5	16,0	18,2	21,8	25,0	28,4	35,9	44,2	53,3				
800							1,9	2,2	2,6	3,1	3,5	4,5	5,6	6,2	7,6	9,0	9,7	11,8	14,0	15,9	19,1	21,9	24,9	31,4	38,7	46,8	55,6	65,1		
900								2,0	2,3	2,7	3,1	4,0	5,0	5,5	6,7	8,0	8,7	10,5	12,5	14,2	17,0	19,5	22,1	28,0	34,5	41,7	49,5	58,0		
1000									1,8	2,1	2,4	2,8	3,6	4,5	5,0	6,0	7,2	7,8	9,4	11,2	12,8	15,3	17,5	19,9	25,2	31,1	37,6	44,7	52,3	
1250											2,0	2,2	2,9	3,6	4,0	4,8	5,8	6,2	7,6	9,0	10,2	12,2	14,0	16,0	20,2	24,9	30,1	35,8	42,0	
1500												1,9	2,4	3,0	3,3	4,0	4,8	5,2	6,3	7,5	8,5	10,2	11,7	13,3	16,8	20,8	25,1	29,9	35,1	
1750													2,1	2,6	2,9	3,5	4,1	4,5	5,4	6,4	7,3	8,7	10,0	11,4	14,4	17,8	21,6	25,7	30,1	
2000														1,8	2,3	2,5	3,0	3,6	3,9	4,7	5,6	6,4	7,7	8,8	10,0	12,6	15,6	18,9	22,5	26,3
2500															1,8	2,0	2,4	2,9	3,1	3,8	4,5	5,1	6,1	7,0	8,0	10,1	12,5	15,1	18,0	21,1

Verdien for h i Figur 5.1 vil variere. Tabell 5.2 og Tabell 5.3 viser verdier for h for ulike vertikal kurveradier og sikt krav. Tabell 5.2 gjelder stoppsikt og Tabell 5.3 gjelder møte- og forbikjøringsikt.

Tabell 5.2: Verdier for h (gitt i Figur 5.2) for ulike vertikalkurveradier og stoppsikt lengder

R _v [m]	Sikt lengde L _s [m]									
	30	50	75	100	125	150	200	250	300	
300	0,30									
500	0,45	0,05								
600	0,49	0,15								
700	0,51	0,23								
800	0,53	0,28								
1000	0,56	0,36								
1250	0,59	0,43	0,11							
1500	0,60	0,47	0,21							
2000	0,62	0,52	0,32	0,05						
2500	0,63	0,55	0,39	0,18						
3000	0,64	0,57	0,44	0,26	0,02					
4000	0,65	0,60	0,50	0,36	0,19					
5000	0,65	0,61	0,53	0,43	0,28	0,11				
6000	0,66	0,62	0,56	0,47	0,35	0,21				
7000	0,66	0,63	0,57	0,50	0,40	0,27				
8000	0,66	0,64	0,59	0,52	0,43	0,32	0,05			
10000	0,66	0,64	0,60	0,55	0,48	0,39	0,18			
15000	0,67	0,65	0,63	0,59	0,54	0,49	0,34	0,15		
20000	0,67	0,66	0,64	0,61	0,58	0,53	0,43	0,28	0,11	
30000	0,67	0,66	0,65	0,63	0,61	0,58	0,51	0,41	0,30	
40000	0,67	0,67	0,66	0,64	0,63	0,60	0,55	0,48	0,39	
50000	0,67	0,67	0,66	0,65	0,64	0,62	0,58	0,52	0,45	

Tabell 5.3: Verdier for h (gitt i Figur 5.2) for ulike vertikalkurveradier og møte- og forbikjøringsikt lengder

R _v [m]	Sikt lengde L _m (L _i) [m]													
	75	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
600	0,00													
700	0,17													
800	0,30													
1000	0,47													
1250	0,61	0,18												
1500	0,71	0,34												
2000	0,82	0,55	0,20											
2500	0,89	0,68	0,39	0,05										
3000	0,94	0,76	0,52	0,24										
4000	1,00	0,86	0,69	0,47										
5000	1,03	0,93	0,78	0,61	0,18									
6000	1,06	0,97	0,85	0,71	0,34									
7000	1,07	1,00	0,90	0,77	0,46	0,06								
8000	1,09	1,02	0,93	0,82	0,55	0,20								
10000	1,10	1,05	0,98	0,88	0,39	0,05								
15000	1,13	1,09	1,04	0,99	0,84	0,65	0,43	0,15						
20000	1,14	1,11	1,08	1,03	0,93	0,78	0,61	0,41	0,18					
30000	1,15	1,13	1,11	1,08	1,01	0,91	0,80	0,66	0,51	0,33	0,13			
40000	1,16	1,14	1,13	1,10	1,05	0,98	0,89	0,79	0,68	0,54	0,39	0,23	0,05	
50000	1,16	1,15	1,14	1,12	1,08	1,02	0,95	0,87	0,78	0,67	0,55	0,42	0,27	0,11

Det er viktig å sikre sikt kravene også ved møblering av vegen (skilting, murer, vegetasjon). Etter at vegen er tatt i bruk, forutsettes det at omgivelsene regelmessig vedlikeholdes og ryddes slik at forutsetningene i planleggingen blir tilfredsstillt.

Eksempel – sikt kontroll langs hovedveg

Stoppsikt langs en H2-veg skal kontrolleres. I et punkt går vegen i høyrekurve med radius R_h = 500 m og i høybrekk med radius R_v = 10 000 m. Stigningen på stedet er cirka 4 %.

Fra prosjekteringstabellen for H2 finner en L_s = 150 m og Δst1 = -14 m. En må dermed tilfredsstillte sikt lengde L_s = 150 m + (4/6) • (-14 m) = 141 m.

Finner verdier for B og h:

- Slår opp i Tabell 5.1 for R_h = 500 m og L_s = 141 m. Gir B = 4,9 m.
- Slår opp i Tabell 5.2 for R_v = 10 000 m og L_s = 141 m. Gir h = 0,42.

Braker disse verdiene og kontrollerer tverrprofilen for sikt i avstand B og høyde h i forhold til midt i kjørefeltet, som vist på Figur 5.1. Hvis punktet (B, h) ikke skjærer terrenget i tverrprofilene på strekningen så er sikt kravet

tilfredsstilt.

6 Dimensjoneringsklasser

Dette kapitlet forklarer hvordan man har kommet fram til de ulike dimensjonerende linjeføringsparametere for de ulike dimensjoneringsklassene i håndbok N100 Veg- og gateutforming del C. I vedlegg er det gitt en oversikt over grunnparametere for utbedringsstandard sammenlignet med ny veg.

6.1 Prosjekteringstabellen

For hver dimensjoneringsklasse er det gitt en prosjekteringstabell med geometrikrav i håndbok N100 Veg- og gateutforming.

Tabell 6.1 viser et eksempel på en prosjekteringstabell.

Tabell 6.1: Eksempel på prosjekteringstabell

R _h ¹	Horisontalkurvatur					Vertikalkurvatur			
	Nabokurve		Klotoide	Siktlengde		R _{v,høy}	R _{v,lav}	Overhøyde	Stigning ²
	Min	Maks	Min	Stopp	Forbi	Min	Min	e	Maks
250	250	400	125	115	600	2800	1900	8.0	6.0
275	250	550	135	115	600	2800	1900	8.0	6.0
300	250		140	115	600	2800	1900	8.0	6.0
350	250		150	120	600	3000	1900	8.0	6.0
400	250		160	120	600	3000	2000	8.0	6.0
450	270		175	120	600	3000	2000	8.0	6.0
500	270		180	120	600	3000	2000	8.0	6.0
550	275		190	120	600	3000	2000	8.0	6.0
600	280		200	120	600	3000	2000	8.0	6.0
700	290		215	125	600	3300	2000	8.0	6.0
800	290		225	125	600	3300	2000	7.5	6.0
900	290		230	125	600	3300	2000	7.0	6.0
1000	300		235	125	600	3300	2100	6.5	6.0
1200	300		235	125	600	3300	2100	5.6	6.0
1400	300		235	125	600	3300	2100	4.7	6.0
1600	300		235	125	600	3300	2100	3.7	6.0
≥ 1750	300		235	125	600	3300	2100	3.0	6.0

Verdiene i prosjekteringstabellen er «skal-krav» og eventuelle søknader om fravik behandles av vedkommende vegmyndighet. For riksveger er dette Vegdirektoratet.

Inngangsverdien til prosjekteringstabellen er horisontalkurveradien, og tilhørende utformingskrav leses horisontalt.

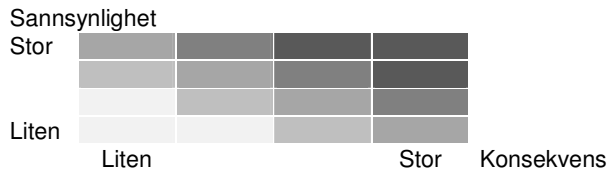
Eksempel - avlesing av prosjekteringstabell

Minste horisontalkurveradius er 250 m og gir minste høybrekkskurveradius på 2 800 m på fri vegstrekning. En horisontalkurveradius på 1000 m krever en høybrekkskurveradius på minimum 3 300 m.

6.1.1 Generelt om risiko

Risikoanalyser identifiserer faremomenter som kan føre til ulykker, før vegen bygges eller utbedres.

Risiko vurderes ut fra sannsynlighet og konsekvens:



Figur 6.1: Vurdering av risiko ut fra sannsynlighet og konsekvens

I håndbok N100 Veg- og gateutforming er denne modellen forenklet noe. Det er en sammenheng mellom trafikkmengde og sannsynlighet for at det skjer en ulykke, og mellom konsekvensen av en ulykke og kjørefarten. Sannsynligheten for at en ulykke skjer øker med trafikkmengden, og konsekvensen av ulykken øker med farten.

6.1.2 Fartstillegg og sikkerhetsfaktor for friksjon

Ut fra prinsippene omkring risiko og konsekvens er det lagt inn varierende fartstillegg og sikkerhetsfaktorer for friksjon for de ulike dimensjoneringsklassene i håndbok N100 Veg- og gateutforming. Verdier for fartstillegg og sikkerhetsfaktor for friksjon fremgår av Tabell 6.2.

Fartstillegg og sikkerhetsfaktorer for friksjon er nærmere omtalt i henholdsvis kapittel 2.15 og 2.16.

Tabell 6.2: Fartstillegg og sikkerhetsfaktor for de ulike dimensjoneringsklassene

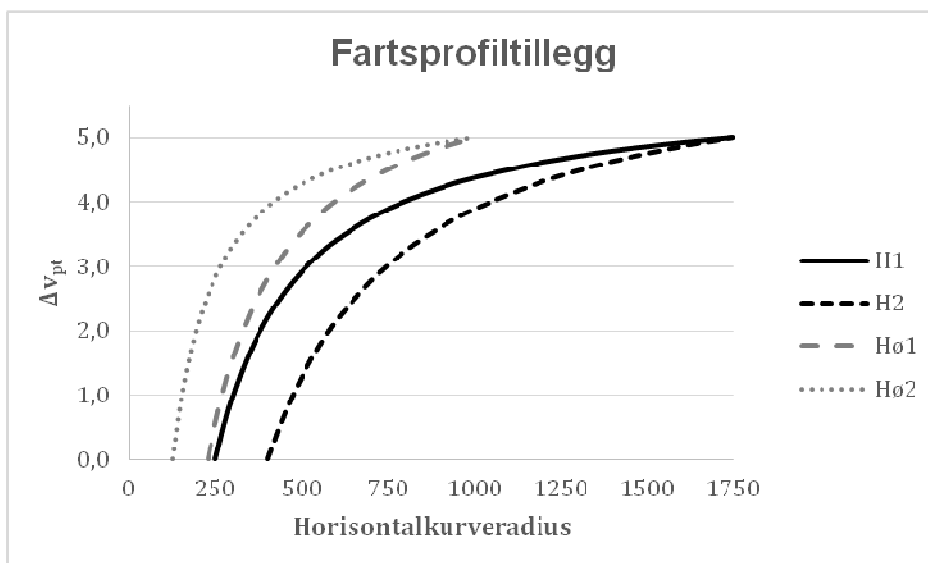
ÅDT	0-4000		4000 - 6000		6000 - 12 000		> 12 000
	60	80	60	80	60	90	
Fartsgrense	60	80	60	80	60	90	110
Hovedveger		H1		H1		H2	H3
Øvrige hovedveger	Hø2	Hø1	Hø2		Hø2		

Fartstillegg = 0	Sikkerhetsfaktor -friksjon 1,0
Fartstillegg = 5	Sikkerhetsfaktor -friksjon 1,0
Fartstillegg = 5	Sikkerhetsfaktor -friksjon 1,1
Fartstillegg = 10	Sikkerhetsfaktor -friksjon 1,1

6.1.3 Fordeling av fartsprofiltillegg

Fartsprofiltillegget (Δv_{pt}) kommer i tillegg til fartstillegget, og er omtalt i kapittel 2.15.

Fordeling av fartsprofiltillegg som funksjon av horisontalkurveradius for ulike dimensjoneringsklasser er vist i Figur 6.2.



Figur 6.2: Fartsprofiltillegg for hovedveger

Fartsprofiltillegg benyttes ikke for dimensjoneringsklasse H3, denne klassen inngår derfor ikke i figuren. Fart ligger til grunn for beregning av minste horisontalkurveradius, klotoidparametere, siktlengder og vertikalkurveradier i prosjekteringstabellen. På grunn av at fartsprofiltillegget øker med økende horisontalkurveradius, så øker også kravene til øvrige parametere nedover i prosjekteringstabellen.

Verdiene for horisontalkurveradius nedover i tabellen forutsetter også at dimensjonerende sidefriksjon er vesentlig redusert. For de nederste linjene er også e_{maks} redusert (se kapittel 2.8).

6.1.4 Horisontalkurveradius

Minste horisontalkurveradius i prosjekteringstabellene er beregnet ved hjelp av formelen:

$$R_{h,min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{maks} + f_k)} \quad [m]$$

Ved beregning av minste horisontalkurveradius $R_{h,min}$ er fartsprofiltillegget $\Delta v_{pt} = 0$.

Utregnet minste horisontalkurveradius ($R_{h,min}$) er avrundet opp til nærmeste verdi i tallrekken: 55, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1750.

Minste horisontalkurveradius for Hø1 ved gjennomgående utbedring er rundet ned til nærmeste verdi.

Eksempel - beregning av minste horisontalkurveradius

Dimensjoneringsklasse H1 i håndbok N100 Veg- og gateutforming (se Tabell 6.1) har en minste horisontalkurveradius på 250 m. Denne er beregnet med følgende inndata i formelen over:

$$V = \text{fartsgrense} + \Delta v_t + \Delta v_{pt} = 80 + 5 + 0 = 85 \text{ km/t}$$

$$f_k = 0,16 \text{ (fra Tabell 2.7 med sikkerhetsfaktor friksjon 1,0 og fartsgrense 80 km/t)}$$

$$e_{maks} = 0,08$$

Dette gir $R_{h,min} = 240$ m, avrundet opp til 250 m.

I en kurve med radius lik minste horisontalkurveradius $R_{h,min}$ (250 m for dimensjoneringsklasse H1) tas 66 % av sidekreftene opp av sidefriksjon og 34 % av overhøyden, i følge formelverket og grunnparameterne som er lagt til grunn.

i kurve vil sidekreftene tas opp av summen av sidefriksjon og overhøyde. Ved $R_{h,min} = 250$ m som i eksempelet over er andelen som tas opp av sidefriksjon: Ved kjøring

$$\text{Andel av sidekreftene som tas opp av sidefriksjon: } \frac{f_k}{f_k + e} = 0, \frac{16}{0,16 + 0,08} = 67 \%$$

I en kurve med radius lik minste horisontalkurveradius $R_{h,min}$ (250 m for dimensjoneringsklasse H1) tas altså 67 % av sidekreftene opp av sidefriksjon og 33 % av overhøyden, i følge formelverket og grunnparameterne som er lagt til grunn.

Ved horisontalkurveradius 500 m er anvendt sidefriksjonskoeffisient lavere:

$$f_k = \frac{V^2}{127 \cdot R_h} - e = \frac{87,9^2}{127 \cdot 500} - 0,08 = 0,042$$

$$\text{Andel av sidekreftene som tas opp av sidefriksjon: } \frac{f_k}{f_k + e} = 0, \frac{042}{0,042 + 0,08} = 34 \%$$

Forutsatt at forutsetningene om fartsvalg ved bedret horisontalkurvatur er korrekt, så vil man ved radius 500 m ta opp 34 % sidekreftene med sidefriksjon og 66 % med overhøyde.

Ved $R_h = 700$ m vil 90 % av sidekraften tas opp av overhøyden. Dette tilsier at vi har en meget god sikkerhet mot utforkjøring, selv på glatt føre, når horisontalkurveradiene økes en del utover minimum.

6.1.5 Klotoide

Minste klotoideparameter kan beregnes ved formelen:

$$A_{min} = \sqrt{R_h \cdot L_{o,min}} \quad \text{hvor} \quad L_{o,min} = \frac{b \cdot V \cdot e_{maks}}{3,6 \cdot v_{vf}} \quad [m]$$

R_h er gjeldende horisontalkurveradius.

Beregnet minste klotoidparameter avrundes opp til nærmeste 5-meters verdi.

Eksempel - beregning av overhøydeoppbygging og klotoidparameter

Konstanter i formelen er: $b = 1,65$ m og $v_{vf} = 0,05$ m/s for hovedveger (se kapittel 2.7 og 2.10).

R_h og e_{maks} leses ut av prosjekteringstabellen.

Farten øker med økende R_h som følge av fartsprofiltillegget.

Øverste linje i prosjekteringstabellen for dimensjoneringsklasse H1 er beregnet med utgangspunkt i følgende verdier:

$$V = \text{fartsgrense} + \Delta v_t + \Delta v_{pt} = 80 + 5 + 0 = 85 \text{ km/t}$$

$$R_{h,\min} = 250 \text{ m}$$

$$e_{maks} = 0,08 \text{ m/m}$$

Dette gir:

$$L_{o,\min} = \frac{b \cdot V \cdot e_{maks}}{3,6 \cdot v_{vf}} = \frac{1,65 \cdot 85 \cdot 0,08}{3,6 \cdot 0,05} = 62,3 \quad , \quad A_{\min} = \sqrt{250 \cdot 62,3} = 124,8$$

Tilsvarende:

- $R_h = 800$ gir verdiene $L_{o,\min} = 61,1$ m og $A_{\min} = 221,3$ m
- $R_h = 1200$ gir verdiene $L_{o,\min} = 46,0$ m og $A_{\min} = 235,0$ m

Fartsprofiltillegget og overhøyden endres med økende horisontalkurveradius. Ved radier på hhv 800 og 1200 m endres fartsprofiltillegget til 4,0 og 4,6 km/t, se kapittel 2.15.

For $R_h \geq 1400$ gir formelverket lavere verdier for A_{\min} enn $R = 1200$.

Det er i prosjekteringstabellene forutsatt at kravet til klotoidparameter ikke skal minke for økende radier, derfor gjelder $A_{\min} = 235$ m (avrundet verdi) for alle $R \geq 1400$ m.

6.1.6 Sikt lengde

Stopsikt er gitt i prosjekteringstabellene. Forbikjøringsikt er gitt for dimensjoneringsklasser hvor det stilles krav til forbikjøringsmuligheter, men ikke forbikjøringsfelt. For 1-feltsveger er møtesikt også gitt.

Stopsikt er beregnet ut i fra formelen:

$$L_s = 0,278 \cdot t_r \cdot V + \frac{V^2}{254,3 \cdot (f_b + s)} \quad [\text{m}]$$

Beregnet sikt (L_s) for $s = 0$ avrundes opp til nærmeste 5 m. For stopsiktverdier over 200 m avrundes verdien til nærmeste 10.

Krav til stopsikt er i utgangspunktet beregnet for stigning 0 % (flatt), men stopsiktkravet avhenger også av stigningen på stedet. Δst1 angir en fratrek i krav til stopsikt ved maksimal stigning, Δst2 angir et tillegg i stopsikt ved maksimalt fall. Mellom ytterverdiene interpoleres det lineært.

Tillegg/fratrekk i sikt (Δst1 og Δst2) avrundes til nærmeste hele meterverdi.

Eksempel - beregning av stopsikt lengder ved stigning og fall

Eksemplet tar utgangspunkt i dimensjoneringsklasse H1. Konstant i formelen for L_s er: $T_r = 2$ sek og $f_b = 0,43$. Se kapittel 2.14 og 2.16.3.

Beregning av Δst1 og Δst2 gjøres på grunnlag av nederste linje i prosjekteringstabellene. Farten V i beregningen er inkludert fartstillegget og fartsprofiltillegget som gjelder for den aktuelle dimensjoneringsklassen.

For dimensjoneringsklasse H1 gjelder følgende verdier for fart og bremsefriksjon:
 $V = 90$ km/t, $f_b = 0,43$.

Stopsikt ved $s = 0$ m/m blir da:

$$L_s = 0,278 \cdot 2 \cdot 90 + \frac{90^2}{254,3 \cdot (0,43 + 0)} = 123 \text{ m}$$

Stopsikt ved 6 % stigning:
Det gir

$$L = 0,278 \cdot 2 \cdot 90 + \frac{90^2}{254,3 \cdot (0,43 + 0,06)} = 114 \text{ m}$$
$$\Delta\text{st1} = + 114 - 123 \text{ m} = -9 \text{ m}$$

Tilsvarende ved 6 % fall:
Det gir

$$L = 0,278 \cdot 2 \cdot 90 + \frac{90^2}{254,3 \cdot (0,43 - 0,06)} = 135 \text{ m}$$
$$\Delta\text{st2} = + 135 - 123 \text{ m} = +12 \text{ m}$$

Verdiene Δst1 og Δst2 anvendes for beregning av stopsikt lengder i stigninger/fall, uavhengig av R_h .

For veier med midtrekkverk vil ikke stopsiktkravene i venstrekurver med liten radius være tilfredsstillt for beregningsmessig objekthøyde (0,25 m).

I håndbok N100 Veg- og gateutforming er det valgt å se bort fra midtrekkverket som sikthinder i venstrekurve. Dette fordi føreren vil kunne se forankjørende biler over midtrekkverket, og vil kunne bedømme om disse er i bevegelse.

Forbikjøringsikt er beregnet på grunnlag av modellen presentert i kapittel 5.3.3. Kravet til sikt lengde er:

- 550 m for veier med fartsgrense 70 km/t
- 600 m for veier med fartsgrense 80 km/t
- 650 m for veier med fartsgrense 90 km/t

For fartsgrense < 70 km/t er ikke forbikjøringssikt oppgitt. Grunnen er at veger med fartsgrense < 70 km/t som regel er korte vegstrekninger nær bysentra der framkommelighet og forbikjøring ikke er det som prioriteres høyst blant trafikantene, eller hvor det av andre grunner ikke oppfordres til forbikjøring.

6.1.7 Vertikalkurveradius

Minste vertikalkurveradius for høybrekk, høybrekk i kryssområder og lavbrekk er oppgitt i prosjekteringstabellene.

Vertikalkurveradius er beregnet ut fra formlene under:

$$R_{v,min} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{L_k}{\sqrt{a_1 + \sqrt{a_2(3)}}} \right)^2$$

Høybrekk

[m] , se kapittel 3.2.2.

$$R_{v,min} = \frac{V^2}{12,96 \cdot a_v} = 0,0772 \cdot \frac{V^2}{a_v}$$

Lavbrekk

[m] , se kapittel 3.2.2.

Beregnet verdi for minste vertikalkurveradius ($R_{v,min}$) er avrundet til nærmeste 100 m. For 1-feltsveg er L_k lik møtesikt L_m . For 2- feltsveg er L_k lik stoppsikt L_s .

Eksempel - beregning av minste vertikalkurveradius i høybrekk

I formelen er øyehøyden a_1 konstant = 1,1 m. Verdien a_2 er 0,25 m på fri vegstrekning og 0 i plankryss (se kapittel 2.4). For 1-feltsveg dimensjoneres høybrekk for møtesikt, da er $a_3 = 1,25$ m. Verdiene for R_h og L_k (stoppsikt, $L_k = L_s$) leses ut av prosjekteringstabellen.

Øverste linje i prosjekteringstabellen for H1 har verdiene $R_{h,min} = 250$ m $L_k = 115$ m. Det gir:

$$R_{v,min} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{115}{\sqrt{1,1 + \sqrt{0,25}}} \right)^2 = 2757 \quad (\text{avrundes til } 2800 \text{ m})$$

Tilsvarende ved $R_h = 800$ m er stoppsiktkravet L_k , ($L_k = L_s$) = 125 m, det gir:
 $R_{v,min} = 3257$ m (avrundes til 3300 m)

Eksempel - beregning av minste vertikalkurveradius i lavbrekk

Maksimalt tillatt vertikalakselerasjon er omtalt i kapittel 2.9. Farten øker med økende horisontalkurveradius R_h (se kapittel 2.15).

I øverste linje i prosjekteringstabellen for H1 er $V = 80 + 5 = 85$ km/t. Verdien a_v er 0,3 m/s² for hovedveger. Det gir:

$$R_{v,min} = \frac{85^2}{12,96 \cdot 0,3} = 1858 \quad (\text{avrundes til } 1900 \text{ m})$$

Tilsvarende, for $R_h = 800$ er $V = 88,8$ km/t.
 Det gir $R_{v,min} = 2038$ m (avrundes til 2000 m)

Tilsvarende, for $R_h = 1750$ er $V = 90,0$ km/t.
 Det gir $R_{v,min} = 2083$ m (avrundes til 2100 m)

Oppgitte verdier for minste vertikalkurveradius i høybrekk er beregnet under forutsetning av at kurvelengden er lengre enn siktlengdekravet.

Kravet til minste lavbrekkskurveradius gjelder både for fri vegstrekning og kryssområder.

6.1.8 Overhøyde

Maksimal overhøyde er vurdert empirisk, og satt til 8 % for minste horisontalkurveradius. I plankryss er maksimal overhøyde redusert til 6 %, og det er forutsatt at anvendt sidefriksjonsfaktor er redusert med 50 %. Dette gir strengere krav til minste horisontalkurveradius i plankryss. Overhøyde for større horisontalkurveradier enn $R_{h,min}$ er gitt i dimensjoneringstabellene med utgangspunkt i Figur 2.8.

Radien der takfall ($q = 3 \%$) kan benyttes framgår av fotnote til prosjekteringstabellene.

6.1.9 Stigning

Maksimal stigning (S_{maks}) er gitt i prosjekteringstabellene. Sammenhengen mellom overhøyde, stigning og resulterende fall fremgår av følgende formel:

$$S_{maks} = \sqrt{S_{r,maks}^2 - e^2} \quad [\text{m/m}]$$

6.1.10 Linjeføring i kryss – supplerende krav

Prosjekteringstabellene gir geometrikrav som i hovedsak gjelder for fri vegstrekning. For aktuelle dimensjoneringsklasser er det gitt skjerpede utformingskrav for kryss i plan.

Dersom ikke minsteradius brukes på fri veg anbefales det heller ikke å benytte angitt minsteverdi i kryss.

Av hensyn til sikkerhet og framkommelighet settes det strengere krav til horisontal- og vertikalgeometrien gjennom T- og X- kryss enn de kravene som gjelder vegen for øvrig.

Maksimal overhøyde, stigning og vertikalkurveradius i høybrekk er noe strengere for T- og X-kryss enn på fri vegstrekning. Dette for å sikre at det ikke er så bratt at kjøretøyet har vanskelig for å komme i gang etter stopp i krysset, eller at større kjøretøy får problemer med å stoppe før krysset hvis det er glatt.

For planskilte kryss gjelder de samme krav til geometri som på fri vegstrekning.

Kravet til maksimal overhøyde i plankryss er satt til 6 %. I kryss vurderes hensynet til kryssutformingen og resulterende fall ved at ulike svingebevegelser tas i betraktning ved fastsettelse av overhøyde. Dersom sekundærvegen ligger i yttersving vil overhøyden virke «feil vei» for av- og påsvingende trafikk. I slike tilfeller kan overhøyden reduseres til 3 %.

Kravet til maksimal stigning i plankryss er satt til 5 %.

Minste horisontalkurveradius i T- og X-kryss er beregnet med maksimal overhøyde e_{maks} satt til 6 % og sidefriksjon f_k halvert i forhold til på fri vegstrekning. Kravene til minste horisontalkurveradius i T- og X-kryss er beregnet for samme fart som minste horisontalkurveradius på fri vegstrekning. Disse beregningsforutsetningene er lagt til grunn for krav til minste horisontalkurveradius i plankryss.

Eksempel - beregning av minste horisontalkurveradius i plankryss der primærvegen er H1-veg

$$V=80 + 5 = 85\text{km/t}$$

$$e= 0,06 \text{ m/m (se kapittel 6.1.8)}$$

$$f_k= 0,157 \cdot 0,5=0,079$$

$$R_{h,min}= 85^2 / (127 \cdot (0,079+0,06)) = 411 \text{ m (avrundes opp til 450 m)}$$

7 Forbikjøring

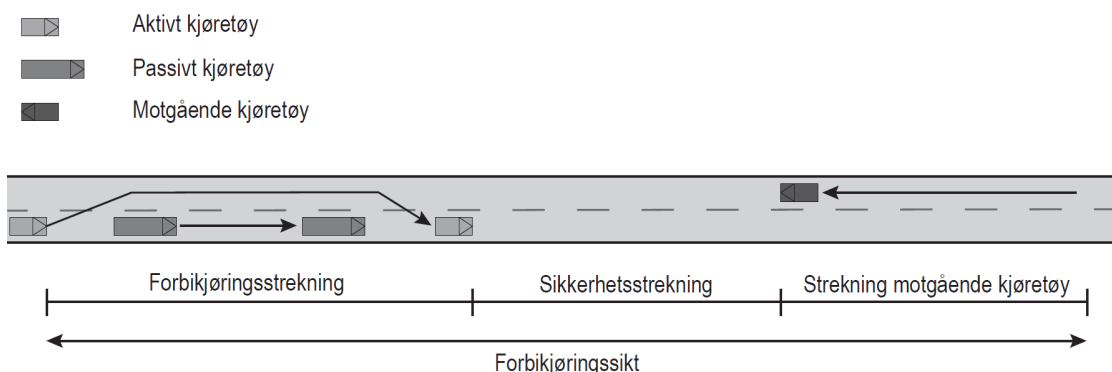
Det forutsettes et balansert forhold mellom mulighetene for forbikjøring og trafikantenes behov for å komme forbi. Er mulighetene for dårlige, går trafikken tregere samtidig som bilførerene blir frustrerte. Dette kan gi flere ulykker og redusert framkommelighet. Samtidig gir gode forbikjøringsforhold bedre kjørekomfort.

Forbikjøringsulykkene utgjør ca. 4 % av alle personskadeulykker på landeveg. Av alvorlige ulykker utgjør forbikjøringsulykkene en litt større andel. Analyser peker i retning av at strekninger med forbikjøringsfelt har bedre sikkerhetsstandard enn strekninger med bare to felt. Forbikjøringsfelt i stigning ser ut til å ha stor sikkerhetsgevinst.

7.1 Modell for beregning av forbikjøringsstikt

Forbikjøringsstikt defineres som minste sikt lengde en bilfører har fremover mot møtende trafikk i det øyeblikket bilføreren ønsker å begynne en forsvarlig og trygg forbikjøring. Forbikjøringsstikt estimeres ut fra en beregningsmodell. Modellen forutsetter 2-feltsveg uten midtrekkverk og er beskrevet nedenfor.

Modellen er basert på observasjoner av reelle forbikjøringer. Forbikjøringen deles inn i tre faser med tilhørende delstrekninger. De tre delstrekningene består av forbikjøringsstrekning, sikkerhetsstrekning og utkjørt strekning for motgående kjøretøy. Summen av disse tre delstrekningene utgjør forbikjøringsstikten. Dette er illustrert i Figur 7.1 **Fejl! Henvingskilde ikke fundet..**



Figur 7.1: Prinsippkisse for beregning av forbikjøringsstikt

De ulike kjøretøyene som inngår i en forbikjøring er definert i tabell 7.1. Tabellen viser også kjøretøyenes forutsatte fartsvalg i modellen.

Tabell 7.1: Kjøretøyer som inngår i en forbikjøring

Begrep	Definisjon
Aktivt kjøretøy	Kjøretøy som foretar forbikjøringen (personbil). Hastigheten til det aktive kjøretøyet relateres til hastigheten for det passive kjøretøyet og uttrykkes ved $V_{akt} = 1,19 \times V_{pass} + 3,87$ [km/t]
Passivt kjøretøy	Kjøretøy som blir forbikjørt av aktivt kjøretøy (tungt kjøretøy). Hastigheten til passivt kjøretøy relateres til fartsgrensen, $V_{pass} = \text{Fartsgrense} - 5$ km/t
Motgående kjøretøy	Kjøretøy som kommer imot aktivt kjøretøy i det øyeblikk føreren av aktivt kjøretøy ønsker å begynne en forsvarlig og trygg forbikjøring. Hastigheten til motgående

kjøretøy relateres til fartsgrensen, $V_{\text{mot}} = \text{Fartsgrense} + 5 \text{ km/t}$

Forbikjøringsstrekning

Forbikjøringsstrekningen defineres som den strekningen som utgjør selve forbikjøringen, det vil si fra aktivt kjøretøy beveger seg inn i motgående kjørefelt for å kjøre forbi passivt kjøretøy og til det er tilbake i høyre kjørefelt. Forbikjøringsstrekningens lengde er gitt ved formelen

$$\text{Forbikjøringsstrekning} = 2,38 \times V_{\text{pass}} + 75,69 \quad [\text{m}]$$

Sikkerhetsstrekning

Sikkerhetsstrekningen utgjør den strekningen som aktivt og motgående kjøretøy til sammen kjører i løpet av sikkerhetstiden. Sikkerhetstiden er satt til 2,5 sek. Sikkerhetsstrekningen beregnes ut fra formelen

$$\text{Sikkerhetsstrekning} = 2,5 \times (V_{\text{akt}} + V_{\text{mot}})/3,6 \quad [\text{m}]$$

Strekning for motgående kjøretøy

Strekning for motgående kjøretøy er strekningen som motgående kjøretøy tilbakelegger i løpet av den tiden et aktivt kjøretøy bruker på forbikjøringsstrekningen. Strekningen beregnes ut fra:

$$\text{Strekning for motgående kjøretøy} = V_{\text{mot}} \times \text{Forbikjøringsstrekning}/v_{\text{akt}} = V_{\text{mot}} \times ((2,38 V_{\text{pass}} + 75,68)/(1,19 V_{\text{pass}} + 3,87)) \quad [\text{m}]$$

Forbikjøringsstrekning ved ulike fartsgrenser blir da som vist i tabell 7.2.

Tabell 7.2: Forbikjøringsstrekning for ulike fartsgrenser

Fartsgrense [km/t]	Forbikjøringsstrekning [m]	Sikkerhetsstrekning [m]	Strekning Motgående kjøret [m]	Forbikjøringsstrekning [m]	Forbikjøringsstrekning avrundet verdi [m]
70	231	108	213	552	550
80	254	124	231	609	600
90	278	139	251	668	650

7.2 Forbikjøringsmuligheter

Det er viktig å sikre tilstrekkelige forbikjøringsmuligheter langs 2-feltsveger. Muligheten til forbikjøring på en 2-feltsveg oppstår når føreren har tilstrekkelig forbikjøringsstrekning og det ikke kommer noen biler imot. På 2-feltsveg med midtrekkverk sikres nødvendige forbikjøringsmuligheter ved å bygge egne forbikjøringsfelt.

Krav til forbikjøring på hovedveger er gitt i Tabell 7.1 og Tabell 7.2.

Kravene gjelder for hver kjøreretning.

Tabell 7.1: Krav til forbikjøring for nasjonale hovedveger med fartsgrense 80 og 90 km/t

ÅDT	Ny veg	Utbedring
< 6000	Minst 2 forbikjøringsmuligheter pr. 10 km	Minst 1 forbikjøringsmulighet pr. 10 km
6 000-10 000	Minst 1 forbikjøringsfelt pr. 10 km	-
10 000-12 000	Minst 2 forbikjøringsfelt pr. 10 km	-

Tabell 7.2: Krav til forbikjøring for øvrige hovedveger med fartsgrense 80 km/t

ÅDT	Ny veg	Utbedring
<500	Ingen krav	Ingen krav
500 – 1 500	Minst 1 forbikjøringsmulighet pr. 10 km	Ingen krav

1 500 – 4 000

Minst 1 forbikjøringsmulighet pr.10 km

Minst 1 forbikjøringsmulighet pr. 10 km

Med forbikjøringsmuligheter menes antall strekninger som minst oppfyller kravet til forbikjøringsst. Forbikjøringsmuligheten kan være helt eller delvis sammenfallende for begge kjøreretninger.

Forbikjøringsfelt kan med fordel legges i stigninger.

7.3 Forbikjøringsfelt i stigning

Forbikjøringsfelt i stigning på 2-feltsveger anlegges når følgende to kriterier er oppfylt:

- $\text{ÅDT} > 4000$
- Stigningen er så lang og bratt at fartsdifferansen mellom tunge og lette kjøretøy blir større enn kritisk fartsdifferanse, ΔV_k .

Krav til fartsdifferanse for start av forbikjøringsfelt ($\Delta V_{k,\text{start}}$) og slutt på forbikjøringsfelt ($\Delta V_{k,\text{slutt}}$):

- Der ÅDT-T (tunge kjøretøy) ≥ 400 , settes $\Delta V_{k,\text{start}}$ til 15 km/t og $\Delta V_{k,\text{slutt}}$ til 10 km/t.
- Der ÅDT-T (tunge kjøretøy) < 400 , settes $\Delta V_{k,\text{start}}$ til 20 km/t og $\Delta V_{k,\text{slutt}}$ til 15 km/t.

Forbikjøringsfeltet skal senest starte der farten til et dimensjonerende tungt kjøretøy er lik fartsgrensen minus fartsdifferansen, $\Delta V_{k,\text{start}}$. Videre skal forbikjøringsfeltet slutte tidligst der det tunge kjøretøyet oppnår en fart lik fartsgrensen minus fartsdifferansen, $\Delta V_{k,\text{slutt}}$.

Behov for forbikjøringsfelt i stigning på 4-feltsveger vurderes ut fra kapasitetshensyn.

Start- og slutt punkt for forbikjøringsfelt i stigning beregnes ut fra stigningsforløpet og fartsgrensen. Denne beregningen utføres i en regnemodell: [Forbikjøringsfelt i stigning](#).

Eksempel på beregning med regnemodellen er vist på neste side.

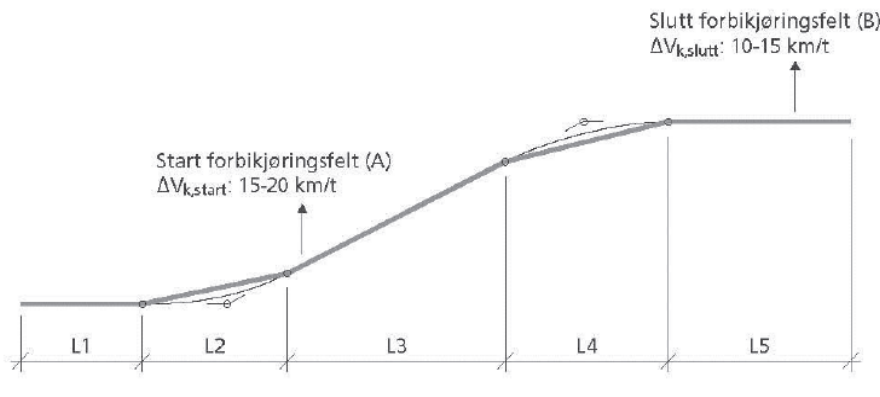
Beregningsforutsetninger

Det forutsettes at lette kjøretøy holder fartsgrensen i stigninger. Behovet for forbikjøringsfelt beregnes derfor ut fra fartsutvikling i stigningen for dimensjonerende tungt kjøretøy, som er et vogntog. Regnemodellen simulerer fartsutviklingen ut fra de fysiske lover og fastsatte parametere for det dimensjonerende kjøretøyet.

Det forutsettes at dimensjonerende kjøretøy utnytter 95 % av sin tilgjengelige motoreffekt.

Eksempel - regnemodell for forbikjøringsfelt i stigning

Stigningsforløpet deles her inn i 5 delstrekninger. Delstrekningene legges inn i en regnemodell. Rettlinjer i vertikalgeometrien legges inn med stigning og lengde. Høybrekk- og lavbrekkskurver forenkles ved at finner avstand L og gjennomsnittlig stigning s mellom kurvepunktene, som vist på Figur 7.2 nedenfor.



Figur 7.2: Prinsipp for forenkling av stigningsforløp

I Figur 7.2 er stigningsforløpet fra Tabell 7.3 vist.

Tabell 7.3: Eksempel på forenklet stigningsforløp

Delstrekning	Stigning [%]	Lengde [m]
L1	0,0	400
L2	3,5	400
L3	7,0	600
L4	3,5	400
L5	0,0	1000

Regnemodellen hentes fra denne lenken: [Forbikjøringsfelt i stigning](#)

Stigningsforløpet legges inn i regnemodellen. Fartsgrensen er 80 km/t, og denne farten forutsettes som startfart i begynnelsen av L1. Vegen har trafikkmengde ÅDT > 4 000 og ÅDT tunge kjøretøy > 400, dermed er fartsdifferansen $\Delta V_{k,start}$ lik 15 km/t.

Denne informasjonen legges inn i regnemodellen i skjermbildet som vist på Figur 7.3. Vi får beregnet:

- Punkt A der farten < 65 km/t inntreffer ved profil 887 m (ved fartsdifferanse på 15 km/t)
- Punkt B der farten \geq 70 km/t inntreffer ved profil 2 051 m (ved fartsdifferanse \leq 10 km/t)
- Forbikjøringsfeltets lengde skal være minst 1 164 m

For å kalibrere grafen i regnearket kan en endre antall sekunder T som modellen skal simulere.

FORBIKJØRINGSFELT I STIGNING

Regneark for beregning av forbikjøringsfelt i stigninger

Forenklet stigningsforløp:

Stigningsforløpet forenkles til opptil 9 delstrekninger, iht beskrivelse i håndbok 265. Delstrekningenes stigning og lengde settes i tabellen.

	Stigning [%]	Lengde [m]
L1	0.0	400
L2	3.5	400
L3	7.0	600
L4	3.5	400
L5	0.0	1000
L6		
L7		
L8		
L9		

Fartsgrense V_f km/t
 Startfart (valgfritt) V_1 km/t

Kritisk fartsdifferanse $\Delta V_{k,start}$ km/t
 $\Delta V_{k,slutt}$ km/t

Startprofil (valgfritt) x_1 m *Profilnummer ved starten av L1.*
 Starthøyde (valgfritt) h_1 m.o.h. *Høyde ved starten av L1.*

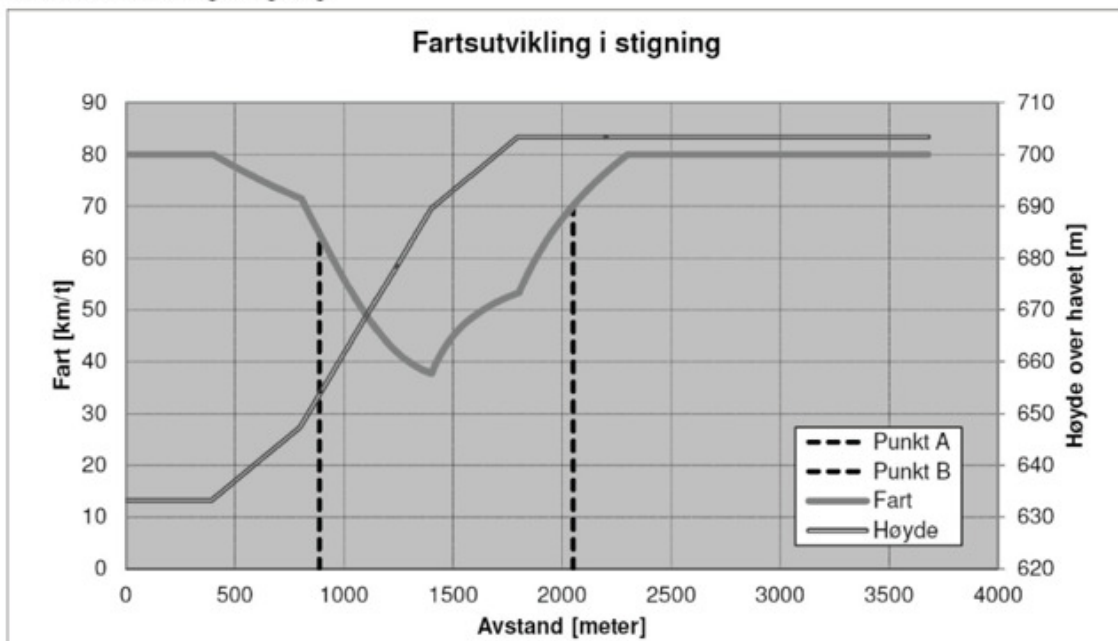
Antall sekunder T sek. *Modellens beregningstidsrom*

Punkt A der farten < 65 km/t inntreffer etter: 887 m

Punkt B der farten ≥ 70 km/t inntreffer etter: 2051 m

Forbikjøringsfeltets lengde, minimum: 1164 m

Graf: Fartsutvikling i stigning



Figur 7.3: Skjerm bilde fra regnemodellen

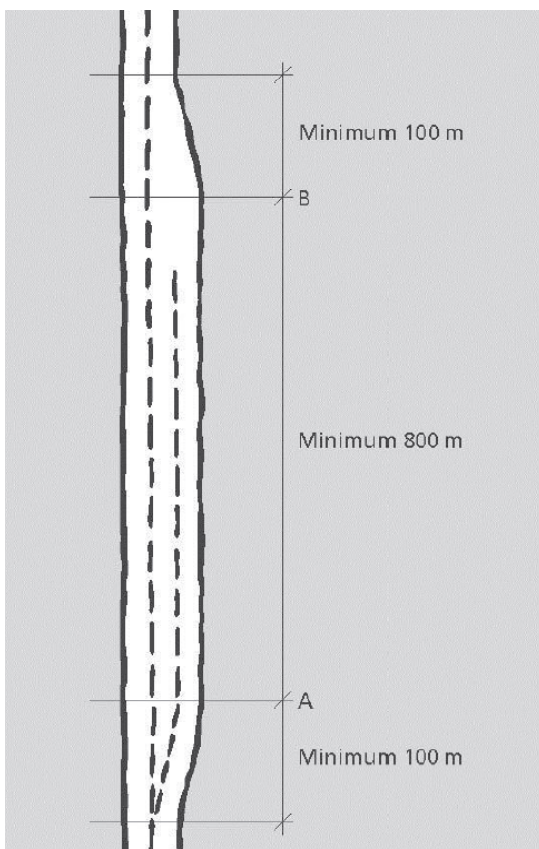
7.4 Geometrisk utforming av forbikjøringsfelt

På 2-feltsveger er høyre felt gjennomgående, og det ekstra feltet betegnes som forbikjøringsfelt. Feltene har samme bredde. Forbikjøringsfelt skal ha lengde minst 1 kilometer, inkludert overgangsstrekninger før og etter feltet, hver på minimum 100 m. Se Figur 7.4.

For 2-feltsveger uten midtrekkverk bygges forbikjøringsfelt som ett ekstra felt med samme bredde som de gjennomgående feltene. For 2-feltsveg med midtrekkverk bygges forbikjøringsstrekningene med tverrprofil som vist for dimensjoneringsklasse H2 i håndbok N100 Veg- og gateutforming.

Forbikjøringsfelt i stigning skal ha full bredde senest i det punkt hvor fartsdifferansen $\Delta V_{k,start}$ er nådd (punkt A i Figur 7.4). Forbikjøringsfeltet skal opprettholde full bredde minimum til det punkt hvor fartsdifferansen mellom tunge og lette kjøretøy faller under dimensjonerende fartsdifferanse, $V_{k,slutt}$.

Ved feltets avslutning vurderes siktforholdene slik at en oppnår en sikker fletting av trafikken.



Figur 7.4: Utforming av forbikjøringsfelt

8 Slyng

En slyng er en svært krapp sving, det vil si et linjeforløp med liten horisontalkurveradius ($R_h < 40$ m), og med en retningsforandring vesentlig større en 90° . I en slyng fravikes bevisst de geometrikravene som gjelder for fri vegstrekning.

Eksempler på hvor bruk av slyng kan være aktuelt:

- Som hel eller delvis erstatning for bygging av tunnel. Alternativer med slyng vil ofte medføre at tunnelene blir betydelig kortere, selv om vegen totalt ofte blir noe lengre.

- I fjellsider hvor det er fare for ras, vil vegen ofte måtte gå innenfor et smalt område. Slyng kan her være et godt alternativ til lange tunneler.
- I vanskelig terreng finnes det eksempler på at slyng kan redusere veglengden betraktelig.

8.1 Slyngklasser

Det er definert fire slyngklasser. Slyngklassen er avhengig av kjørebanebredde på vegen utenom slyngene.

Tabell 8.1: Slyngklasser

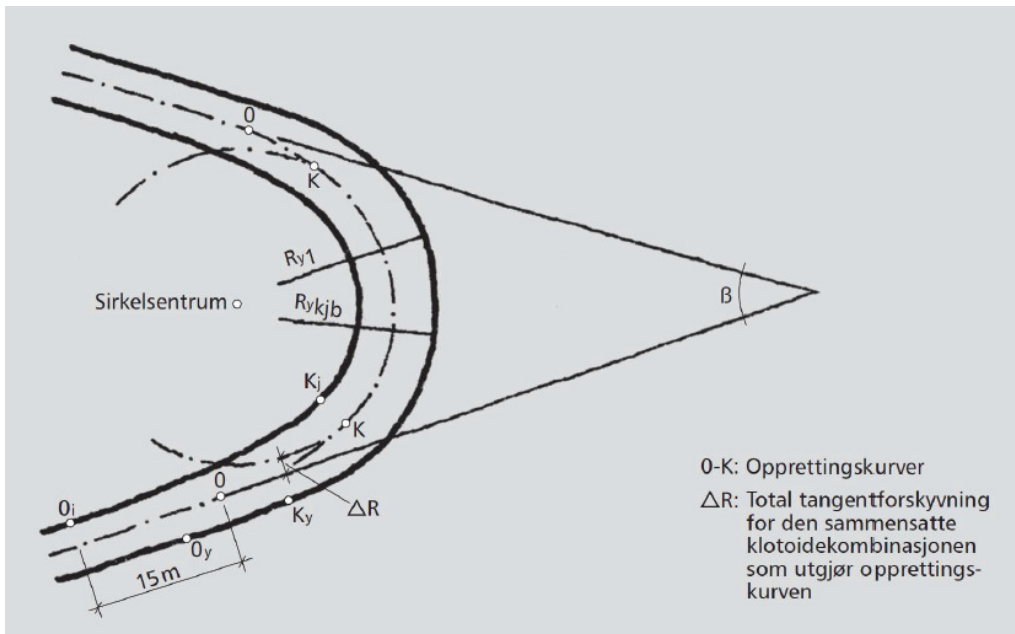
Kjørebanebredde [m]	Slyngklasse	Møte mellom	Minste radius [m]	Merknader
6,5-7,0	1	VT og VT	12	To VT kan møtes.
5,5-6,0	2	L og L	12	VT og P kan møtes. VT kan bruke deler av motgående felt.
5,0-5,5	3	L og P	12	Konstrueres med L i indre kjørefelt. VT kan trafikkere slyngen.
<5,0	4	P og P	10	10 m minsteradius for brøyting med lastebil. L kan trafikkere slyngen.

8.2 Horisontalkurvatur

Ved konstruksjon av en slyng er det mest hensiktsmessig å bruke sammensatte klotoider (se kapittel 3.1.4) fordi denne linjekombinasjonen gir best tilpasning for dimensjonerende kjøretøy.

Slyngens horisontalkurvatur er vist i Figur 8.1. Konstruksjon av slyng kan kort beskrives som følger:

- Slyngen er symmetrisk om brytningsvinkelens (β) halveringslinje.
- Sirkelsentrum for senterlinja, indre kjørebane kant og ytre kjørebane kant er sammenfallende. Dette gir litt større bredde i inn- og utgangen av slyngen unntatt for slyng med store radier.
- Utvidelseskurven for indre kjørebane kant er den samme for alle kjøretøy.
- Ytre kjørebane kant utvides lineært fra det punktet hvor en tangent til sirkelkurven er parallell med rettlinja inn i slyngen.
- For slyng med store radier, kan en for L og P få tilfellet at $R_y = R + \Delta R + b_{\text{rettlinje}} > R_{y \text{ kj.b.}}$. $R_{y \text{ kj.b.}}$ forandres da til R_y . Dette kan også forekomme når en slyng konstrueres for møting mellom to forskjellige typer kjøretøy.
- Senterlinja vil normalt bestå av en sirkelkurve og en opprettingskurve. Opprettingskurven vil bestå av en kombinasjon av opptil tre klotoider.
- Indre kjørefelt kant utformes som en sirkelkurve over samme vinkel og med samme senter som senterlinjas sirkelkurve. Breddeutvidelsen i slyngen foretas over en strekning lik opprettingskurvens lengde + 15 m.
- Ytre kjørefelt kant består av en sirkelkurve med samme senter som senterlinjas sirkelkurve. En eventuell retningsforandring på ytre kjørefelt kant fra tilstøtende element til sirkelkurven, jevnes ut over en strekning på 15 m fra det punkt hvor tangenten til sirkelkurven er parallell med tilstøtende element (O_y - K_y på Figur 8.1).



Figur 8.1: Horisontalkurvatur i slyng

8.3 Bredder

Skulderbredden reduseres til 0,40 meter i slyngen. Nødvendige kjørefeltbredder for indre og ytre kjørefelt i slyngens sirkelkurve framgår av Tabell 8.2.

Tabell 8.2: Kjørefeltbredder [m] i slyng

Normal kj.bane bredde	Slyng-klasse	Kjørefelt	Radius [m] for senterlinje i slyngen									
			10	12	14	16	18	20	25	30	35	40
7,0	1	Indre		9,0	8,3	7,6	7,0	6,7	6,0	5,5	5,2	5,0
		Ytre		6,3	6,1	5,9	5,7	5,5	5,2	4,9	4,8	4,6
6,5	1	Indre		8,8	8,1	7,4	6,8	6,4	5,8	5,3	5,0	4,8
		Ytre		6,1	5,9	5,7	5,5	6,3	5,0	4,7	4,5	4,4
6,0	2	Indre		6,3	5,8	5,5	5,2	5,0	4,7	4,4	4,2	4,1
		Ytre		4,5	4,4	4,3	4,2	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6
5,5	2	Indre		6,0	5,5	5,2	4,9	4,7	4,4	4,1	3,9	3,8
		Ytre		4,3	4,1	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4
5,5	3	Indre		5,8	5,4	5,1	4,8	4,6	4,3	4,0	3,8	3,7
		Ytre		3,2	3,2	3,2	3,1	3,1	3,0	3,0	3,0	3,0
5,0	3	Indre		5,6	5,2	4,9	4,6	4,4	4,1	3,8	3,6	3,5
		Ytre		3,0	3,0	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7
3,0	4	Indre	3,9	3,2	3,0	3,0	2,9	2,9	2,8	2,7	2,7	2,7
		Ytre	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6

8.4 Overhøyde

Overhøyden i slyngen gis samme tallverdi som takfallet på tilstøtende rettlinj. Senterlinja brukes som dreiningsakse for overhøydeoppbygginga.

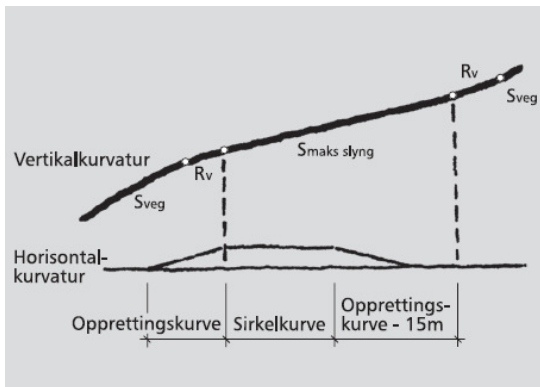
8.5 Stigninger og vertikalkurvatur

Registreringer på strekninger med slyng viser at stigningen er årsak til de fleste trafikkproblemena. Dette gjelder spesielt tunge kjøretøy på vinterføre. Drivhjulene begynner fort å spinne, samtidig som kjøretøyet på grunn av tverrfallet glir innover mot indre kjørebane kant.

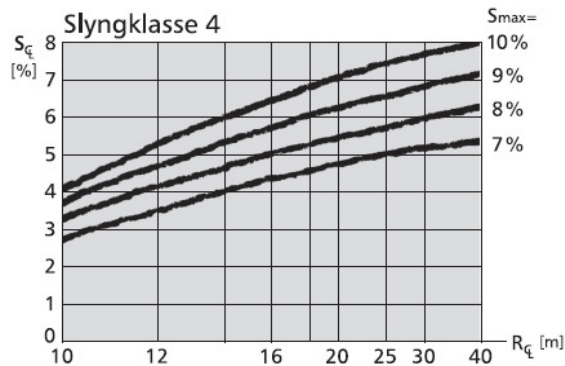
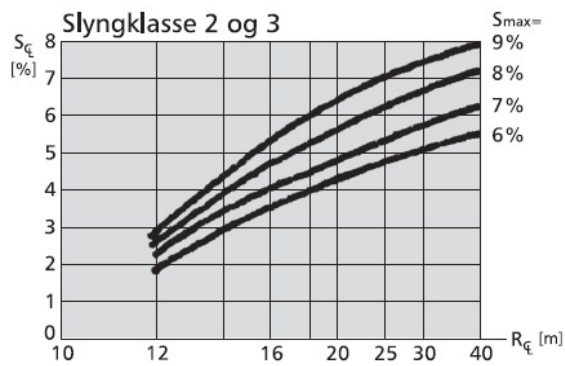
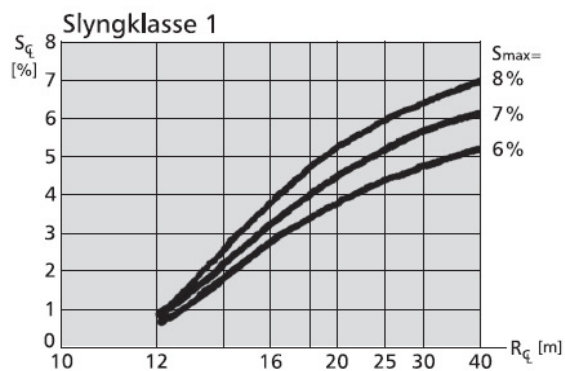
For å unngå dette, reduseres senterlinjas stigning i slyngen i forhold til stigningen på tilstøtende rettlinj. Men størrelsen og lengden på reduksjonen anbefales å være så liten som mulig. Dette for å minimalisere veglengden og nødvendig antall slyng for å overvinne aktuell høydeforskjell.

Maksimal tillatt stigning i slyngens senterlinje er avhengig av maksimal tillatt stigning på tilstøtende vegstrekning samt slyngens horisontalkurveradius. Stigningen i indre kjørefeltkant skal ikke overstige maksimal tillatt stigning for vegen forøvrig. Dette, sammen med det forhold at et vogntogs bevegelsesretning ikke faller sammen med drivhjulenes retning, fører altså til at stigningen langs senterlinja i slyngen reduseres vesentlig.

I slyngen reduseres stigningen over en strekning som går fra sirkelkurvens begynnelse til det profil der indre kjørefelt har normal vegbredde. Slyngen betraktes som ved kjøring i stigning. Figur 8.2 viser hvordan avslakingen utføres.



Figur 8.2. Avslaking av senterlinjas stigning i slyng



Figur 8.3: Maksimal tillatt stigning [%] i senterlinja i slyng avhengig av maksimal tillatt (eller anvendt) stigning på tilstøtende vegstrekning og slyngens horisontalkurveradius i senterlinja

Minste vertikalkurveradius i slyng framgår av Tabell 8.3.

Tabell 8.3: Krav til minste vertikalkurveradius i slyng

Slyngklasse	1	2	3	4
$R_{v \text{ min}}$ [m]	1000	800	600	400

Vertikalkurvene utføres slik at kurvene avsluttes, eventuelt begynner, omtrent i samme profil som stigningsreduksjonen begynner, eventuelt slutter.

8.6 Klotoider i slyng

Figur 8.1 viser horisontalkurvaturen i slyng. Slyngen består av en sirkelkurve med opprettingskurver på begge sider. Opprettingskurven O – K består av en kombinasjon av opptil 3 klotoider, avhengig av radien i slyngen. Grunnen til at sammensatte klotoider brukes er at denne linjekombinasjonen gir best tilpasning for store kjøretøy.

Tabell 8.4 viser opprettingskurvens sammensetning for ulike slyngklasser og horisontalkurveradier. Til hjelp ved konstruksjon av slyng, er det totale tangentinnrykket for den sammensatte klotoiden (ΔR) og kurvens lengde gitt i Tabell 8.5.

Tabell 8.4: Slyngens sammensetning [m]

Slyngklasse	RCL	1. klotoide		2. klotoide		3. klotoide	
		A		A		A	
		R_{beg}	R_{slutt}	R_{beg}	R_{slutt}	R_{beg}	R_{slutt}
1	$R < 20$	A=40		A=15		A=8	
	$40 > R \geq 20$	$R = \infty$	R=70	R=70	R=20	R=20	$R = R_{\text{RCL}}$
		$R = \infty$	R=70	R=70	$R = R_{\text{RCL}}$		
2 og 3	$R < 30$	A=40		A=17,5		A=8	
	$40 > R \geq 30$	$R = \infty$	R=100	R=100	R=30	R=30	$R = R_{\text{RCL}}$
		$R = \infty$	R=100	R=100	$R = R_{\text{RCL}}$		
4	$R < 30$	A=13		A=6,5			
	$40 > R \geq 30$	$R = \infty$	R=30	R=30	$R = R_{\text{RCL}}$		
		$R = \infty$	A=13				
		$R = \infty$	$R = R_{\text{RCL}}$				

Tabell 8.5: Verdier for total tangentforskyvning ΔR og opprettingskurvens lengde [m]

Slyngklasse	1		2 og 3		4	
	ΔR	$L_{opp.k.}$	ΔR	$L_{opp.k.}$	ΔR	$L_{opp.k.}$
10					0,26	8
12	2,51	33	1,39	26	0,20	8
14	2,23	32	1,24	26	0,16	7
16	2,00	31	1,12	25	0,14	7
18	1,80	31	1,03	25	0,12	7
20	1,62	31	0,94	24	0,10	6
22,5	1,43	30	0,85	24	0,08	6
25	1,29	29	0,77	24	0,07	6
27,5	1,17	28	0,70	23	0,06	6
30	1,08	27	0,63	23	0,04	6
35	0,92	26	0,51	22	0,03	5
40	0,80	25	0,44	21	0,02	4

9 Vegtunneler og bruer

9.1 Vegtunneler

Vegtunneler har som regel høyere bygge- og driftskostnader enn tilsvarende lengde med veger i dagen. Under planlegging forsøker en derfor å redusere lengden på vegtunnelene så mye som mulig. I den avveiningen som gjøres, rettes det spesiell oppmerksomhet til overgangssonen mellom tunnel og veg i dagen.

Krav til utforming av vegtunneler framgår av håndbok N500 Vegtunneler. Krav til utforming av veger i dagen framgår av håndbok N100 Veg- og gateutforming. En godt utformet og trafikksikker overgang mellom veg i dagen og tunneler krever en kombinasjon av kravene i håndbok N100 Veg- og gateutforming i tillegg til kravene i håndbok N101 Rekkverk og vegens sideområder.

Stopsikt i tunnel skal være som for vegen for øvrig.

9.1.1 Overgang mellom tunnel og veg i dagen

Det er dokumentert at tunneler totalt sett er mer trafikksikre enn sammenlignbare strekninger i dagen. Men det er økt risiko for ulykker nær tunnelåpningene.

I overgangen mellom tunnel og veg i dagen vurderes følgende forhold spesielt:

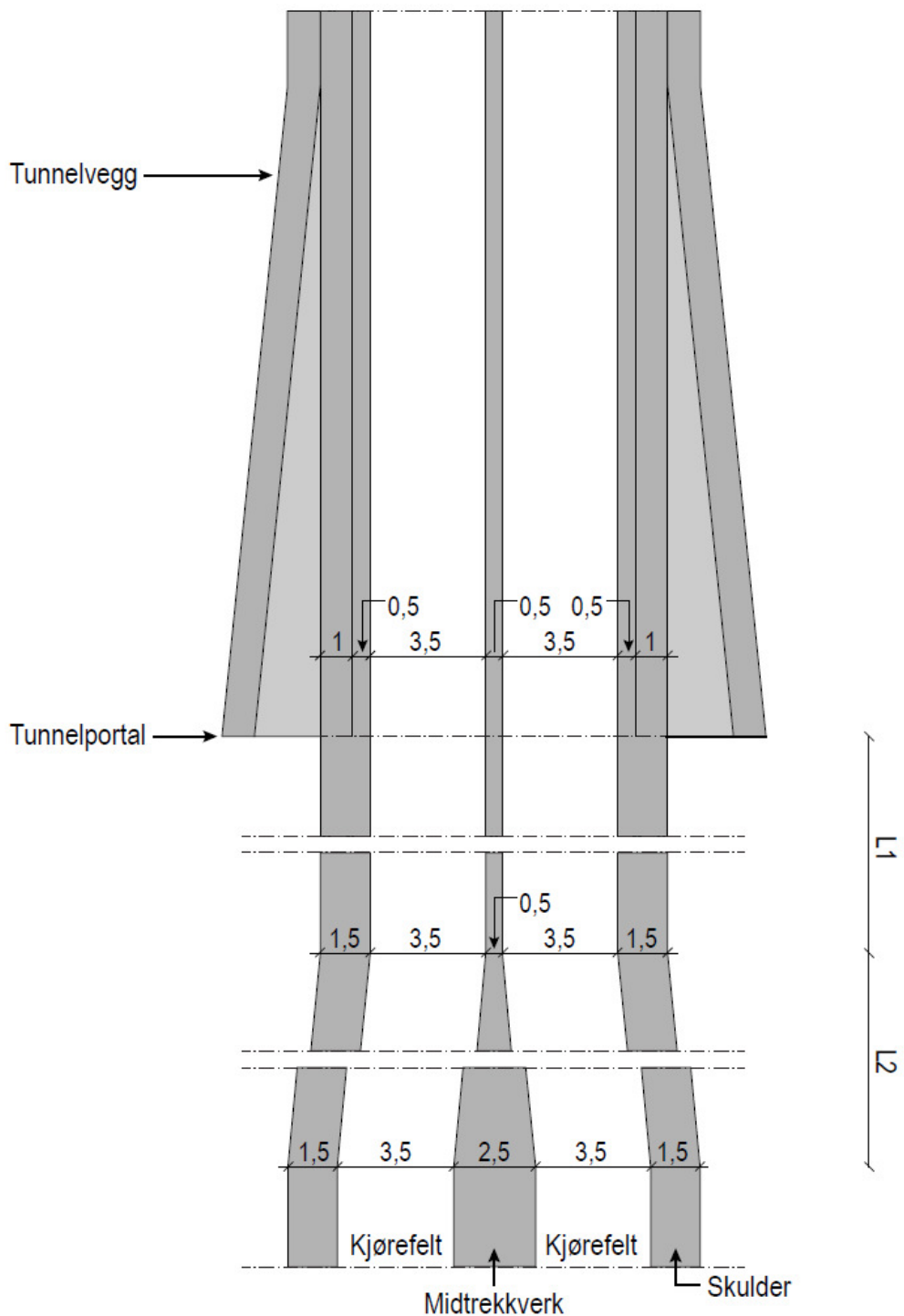
- linjeføring og siktforhold
- lysforhold/blending
- skred og nedfall av snø/is og jord/stein
- risikoen for at føreren kjører på tunnelportalen
- klimatiske forhold
- duggproblemer
- drivsnø

Tunnelåpninger kan være utsatt for blending når sola står lavt over horisonten. Risiko for blending vurderes i en tidlig planfase.

For hver enkelt dimensjoneringsklasse er det angitt standard tunnelprofil. Som hovedregel beholdes kjørebanebredden uendret fra veg i dagen til tunnel.

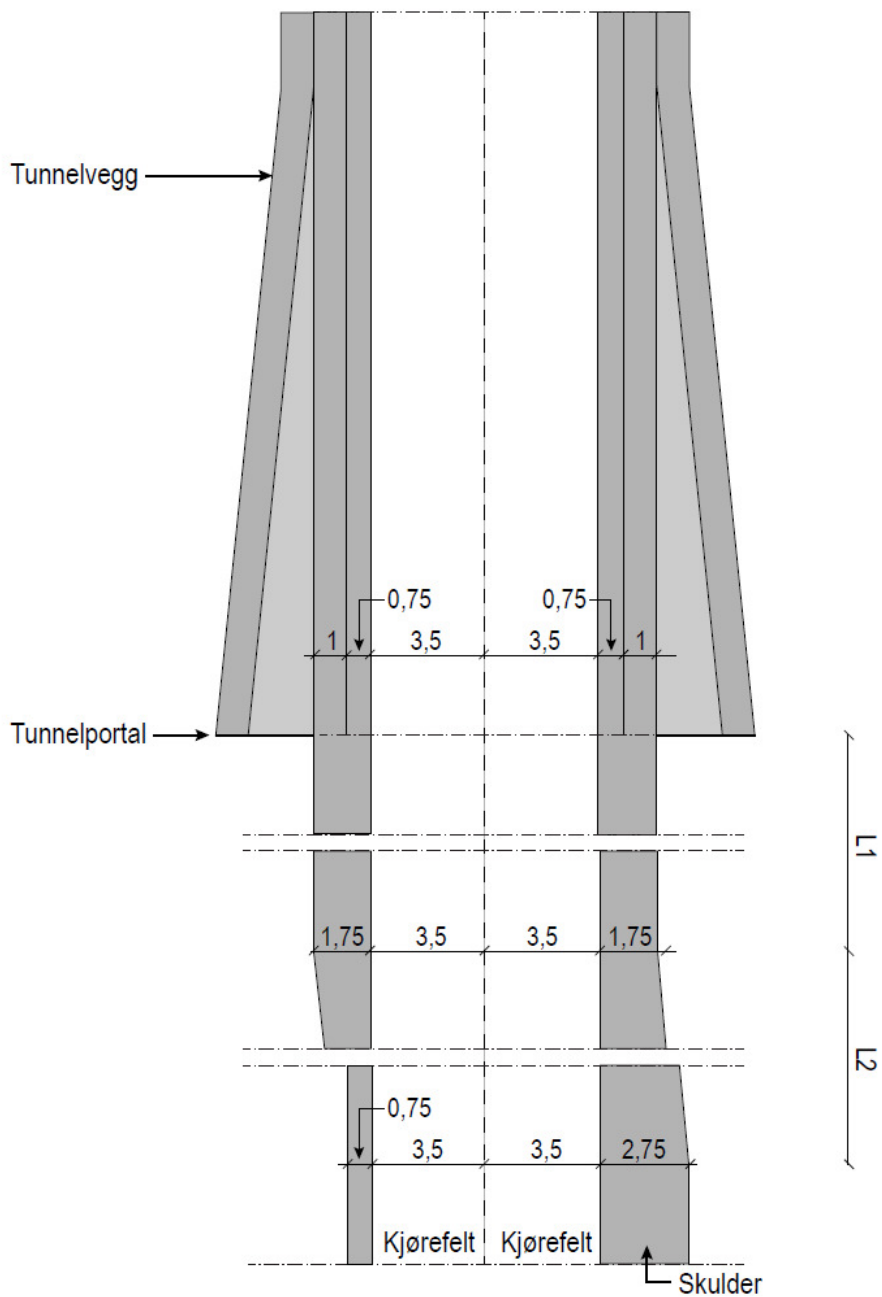
I dimensjoneringsklasse H1 føres kjørebanelprofilen uendret gjennom tunnel.

I dimensjoneringsklasse H2 med midtrekkverk og tunnelprofil T10,5 snevres kjørebanelprofilen inn. Kjørefeltene parallellforskyves 1 m. Dette krever en overgangssone som vist i Figur 9.1.



Figur 9.1 Overgangssone veg-tunnel for dimensjoneringsklasse H2 og tunnelprofil T10,5 (mål i m)

I dimensjoneringsklasse H3 tilpasses hver kjøreretning til T10,5 tunnelprofil. Det er en egen senterlinje for hver retning, avstand mellom tunneler vurderes ut fra geologiske forhold mm. Kjørebanen føres uendret fra veg i dagen til tunnel, men skuldre forskyves 1,25 som vist på Figur 9.2.



Figur 9.2 Overgang veg-tunnel for dimensjoneringsklasse H3 (mål i m)

Anbefalte minimumsverdier fir L1 og L2 er 50 m.

9.2 Bruer

Mange viktige forutsetninger knyttet til bruer i veglinja avklares tidlig i planleggingen. Det vises her til N400 Bruprosjektering. Bruplanleggere involveres i arbeidet allerede i innledende fase, i god tid før viktige premisser fastlegges.

9.2.1 Plassering, grunnforhold og spennvidder sett i forhold til vegen

Bruplanlegging i tidlig fase kan oppsummeres i følgende punkter:

- bruas plassering og lengde
- grunnforhold og aktuelle fundamenteringsløsninger
- spennvidder og aktuelle brutyper

For hvert brusted vurderes mulige søyleakser basert på kartgrunnlaget samt befaringer. For bruer over sjø er sjøbunntegning påkrevet. Søyleakser og fundamenteringsløsninger bestemmer spennvidder, som så bestemmer hvilke brutyper som er aktuelle eller økonomisk gunstige. I forhold til brukostnaden vil største spennvidde ofte være en viktigere forutsetning enn total brulengde. Ei bru med mange korte spenn vil som regel være rimeligere enn ei like lang bru med få, men lange spenn.

Deretter gjennomføres grunnundersøkelser (bestemmelse av bergnivå og løsmassenes egenskaper) i alle områder som er aktuelle for fundamentering av søyler og landkar. Riktige og sikre valg av søyleakser forutsetter at alle aktuelle områder for fundamenter kartlegges og at avstanden mellom målepunktene (borhullene) er liten nok. Resultatene vurderes i samråd med geolog/geotekniker.

Basert på disse innledende vurderingene kan bruas plassering i horisontalplanet bestemmes, som regel med litt slingringsmonn, og deretter kan veglinja legges inn. I noen tilfeller vil flere mulige brusteder føres videre til detaljplanleggingen.

Veglinjas vertikalkurvatur vil i mange tilfeller være relativt uavhengig av spennvidder og aktuelle brutyper. Her er imidlertid tekniske forutsetninger, som for eksempel seilingsløp under brua, viktigere.

Bruas størrelse vil i stor grad avgjøre hvor langt selve brua utredes før veglinja bestemmes. Premissene og prioriteringene bestemmes i tværfaglig samråd i innledende fase.

9.2.2 Linjeføring på bruer

Bruer kan i denne sammenhengen deles inn i tre kategorier:

- små bruer: bruas linjeføring tilpasses vegens linjeføring
- mellomstore bruer: linjeføringen optimaliseres i forhold til både veg og bru
- store bruer: vegens linjeføring tilpasses bruas lokalisering

Spesielle krav og anbefalinger til linjeføring på bruer er gitt i Håndbok N100 Veg- og gateutforming.

I tillegg vurderes følgende forhold:

- Ved tverrfallsendringer på brua vil bruas kantbjelke med rekkverk kunne få estetisk uheldig vertikalkurvatur (knekkpunkter) hvis minimumskravene til overgangslengder følges. Overgangslengdene økes da utover minimumskravene, men ikke mer enn at tilstrekkelig vannavrenning er sikret. Kurven kan også mykes opp ved å la kantbjelke med rekkverk følge en avrundet og justert kantlinje. Det betyr at en lar kantbjelkens høyde over slitelaget variere fra standardhøyde og opptil standardhøyde + 50 mm. Dermed oppnås at rekkverket oppå kantbjelken fortsatt har konstant høyde, men at topplistas totale høyde over slitelaget varierer med opptil 50 mm. Kantbjelkens ytre synlige kant forutsettes å ha konstant høyde.
- Breddeutvidelser inne på bruer kan gi samme uheldige visuelle effekt for kantbjelken som tverrfallsendringer. I tillegg får kantbjelken en uheldig romkurve på strekninger med overhøydeoppbygging. Økning av overgangslengden for breddeutvidelsen i forhold til minimumskravene vil ha positiv innvirkning også på kurven i vertikalplanet. Det samme vil en avrunding av linjens knekkpunkt.
- Kostnader kan reduseres ved å legge vegen på fylling og korte ned brulengden. Dette er imidlertid ofte estetisk ugunstig og kompenseres med for eksempel terrengutforming og beplantning.
- Brurekkverk som er høyere enn vanlig vegrekkverk kan påvirke siktforholdene.
- Resulterende fall for lengde- og tverrfall anbefales ikke å overstige 8 % av hensyn til utstøping av betongdekker.
- Bruer med lavbrekk unngås på grunn av risiko for vannansamling, selv der romslige avløp er planlagt.
- For bruer som har konstant stigning vil byggeavvik og utilsiktede nedbøyninger vises godt. Dette vil være en risiko ved tradisjonelle slakkarmerte betongbruer, spesielt etter lang tid. Bruer med høybrekk vil tåle større avvik uten at det vises.

Andre viktige forhold, spesielt for store bruer:

- Komplisert geometri (kurvatur) kan gi store tilleggskostnader, særlig for stålbruer.
- For hengebruer er hovedspennet helt rett. Også andre brutyper er mindre egnet for (vesentlig) horisontalkurvatur, for eksempel skråstagbruer, buebruer, fagverksbruer og stålplatebærere (stålbejelkebruer).
- For bruer med lange spenn vil vertikalkurvaturen i mange tilfeller ha stor betydning for bruas estetiske kvaliteter. I mange tilfeller vil det være naturlig å velge vertikalkurvatur som gir et symmetrisk hovedspenn, for eksempel ved at veglinjas toppunkt legges midt i hovedspennet.
- For monumentale og severdige bruer kan vegen inn mot brua gjerne legges slik at føreren kan betrakte konstruksjonen før den passerer.
- Gjennomtenkte valg av markant kurvatur (vertikalt og horisontalt) kan gi spennende resultater. «Ekstrem» – men åpenbart planlagt – kurvatur vil kunne være bedre enn «litt uheldig» kurvatur.

Vedlegg – oversikt over grunnparametere

Dimensjoneringsklasse	H1	H2	H3	H ₀ 1	H ₀ 2
ÅDT	0 – 6 000	6 – 12 000	> 12 000	0 – 4 000	0 – 15 000
Fart (km/t)	80	90	110	80	60
Vegbredde	9 m med FMO	12.5 m med MR	23 m med MR	7,5 m (4,5)*	7,5 m
Grunnparametere					
fartstillegg	5	5	10	0	0
fartprofiltillegg	0-5	0-5	0	0-5	0-5
krav til nabokurver	ja	nei	nei	ja	ja
s. faktor friksjon	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0
bremsefriksjon	0.43	0.38	0.35	0,43	0,49
sidefriksjon	0.16	0.12	0,07	0,16	0,20
maks. overhøyde	8 %	8 %	7,5 %	8 %	8 %
maks. overh. i plankryss	6 %	6 %	-	6 %	6 %
reaksjonstid	2 sek	2 sek	2 sek	2 sek	2 sek
maksimal stigning	6 %	6 %	5 %	8 %	6 % (8)**
maks res. fall	10 %	10 %	9 %	11,3 %	10 % (11,3)**
min res. fall	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %
rel. vertikalfart	0.05 m/s	0.05 m/s	0.05 m/s	0.05 m/s	0.05 m/s
vertikalakselerasjon	0.3 m/s ²	0.3 m/s ²	0.3 m/s ²	0.5 m/s ²	0.5 m/s ²
øyehøyde	1.1 m	1.1 m	1.1 m	1.1 m	1.1 m
beregn. objekth.	0.25 m	0.25 m	0.25 m	0.25 m	0.25 m
objekthøyde i plankryss	0.0 m	0.0 m	-	0.0 m	0.0 m
beregn. kjøretøyh.	1.25 m	1.25 m	1.25 m	1.25 m	1.25 m

* Ved ÅDT < 500 kan vegen bygges som 1-feltsveg med bredde 4,5 m.

* Ved ÅDT < 4000 kan stigningen økes til 8 % og resulterende fall økes til 11,3 %.

FMO = forsterket midtoppmerking

MR = midtrekkverk