

Overhøyde og Klotoideparameter

Mohammed Ziani

Master i veg og jernbane

Innlevert: mai 2018

Hovedveileder: Kelly Pitera, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Overhøyde og Klotoideparameter

Sammenlikning mellom Norge,
Sverige, Danmark, Tyskland,
Storbritannia og USA.



Ziani Mohammed
STATENS VEGVESEN

SAMMENDRAG

Denne masteroppgaven handler om å finne informasjon om overhøyde og klotoideparameter i fem forskjellige land for å kunne ta en vurdering av verdiene og forutsetningene som brukes i Norge. Landene som blir sett på er Sverige, Danmark, Tyskland, Storbritannia og USA.

Oppgaven er også en del av ett SVV forskingsprogram «Parametere for vegens utforming» og informasjonen som blir funnet her kan bli brukt som et grunnlag for oppdatering av grunnleggende forutsetningene til N100.

For overhøyde delen er målet med oppgaven å forske på om maksoverhøyde vi bruker i Norge er bra nok i forhold til de andre landene, som kan gi en grunnlag for diskusjon om vi bør endre det og hva en eventuelt endring av den kan gjøre med de andre parameterne som minste horisontal kurve og minste lengden av overhøydeoppbygging. Dette gjøres ved å se på verdiene og formene som brukes i de ulike landene, så regne ut minste horisontal kurve og minste lengden av overhøydeoppbygging for hvert av disse landene.

For klotoideparameter delen er målet med oppgaven å forske på om det holder med kun ett krav til klotoiden (minste klotoide A_{min}), ved å se på hvilke krav som brukes i de landene og eventuelt finne ut om det er mulighet å bruke noen av dem her i Norge. A_{min} blir regnet ut for hver av disse landene slik at verdiene kan sammenligne med det som brukes i Norge.

Konklusjonen på overhøyden ble at det kan være mulighet å endre maksoverhøyde tilbake til 7% (som ble brukt før 1992) uten at det gir så mye effekt på minste horisontal kurve og minste lengden av overhøydeoppbygging. Mens konklusjonen på klotoideparameteren ble at det er bra nok med kun ett krav til klotoideparameteren A_{min} og at flere krav enn det kommer ikke til å gi så mye mer nytte.

SUMMARY

This master thesis is about finding information about superelevation and clotoids parameters in five different countries in order to assess the values and assumptions used in Norway. The countries that are looked into are Sweden, Denmark, Germany, the United Kingdom and the United States.

The assignment is also part of a SVV research program "Parameters for Road Design" and the information found here can be used as a basis for updating the basic prerequisites of N100.

For the superelevation part, the purpose of the task is to investigate how the maximum superelevation we use in Norway compare to the other countries. This can provide a basis for discussion if we should change the parameter, and what any change may do with the other parameters like the minimum horizontal curve and the minimum length of the super elevation building. This is done by looking at the values and formulas used in the different countries and then calculating the minimum horizontal curve and minimum length of the super elevation building for each country.

For the clotoid parameter section, the goal of the task is to investigate to the Norwegian situation of only having one requirement for the clotoid parameter (Minimal clotoid A_{min}) by looking at the requirements that are used in the other countries and then determine if it is possible to use any of them here in Norway. A_{min} is calculated for each country so that the values can be compared to that in Norway.

Regarding superelevation, it was concluded that it could be possible to change the maximum superelevation back to 7% (which was used before 1992) without it giving as much effect on the minimum horizontal curve or the minimum length of superelevation building. While the conclusion on the clotoid parameter was that it is good enough with only one requirement for the clotoid parameter A_{min} and that more requirements than will not give so much more benefit.

Innhold

SAMMENDRAG	1
SUMMARY	2
1. Introduksjon:	6
2. Definisjon	8
• Overhøyde:	9
• Klotoideparameter:	11
3. Metoden	13
4. Sammenlikning av Normalene: Overhøyde	15
• Norge:	15
Overhøyde	15
Oppbygging av overhøyde.....	15
Beregning:	19
• Sverige:.....	22
Overhøyde	22
Oppbygging av overhøyde.....	23
Beregning:	27
Sammenligning av Resultat Sverige–Norge:.....	29
• Danmark:.....	32
Overhøyde	32
Oppbygging av overhøyde.....	34
Beregning:	36
Sammenligning av Resultat Danmark–Norge:.....	38
• Tyskland:.....	40
Overhøyde	40
Oppbygging av overhøyde.....	41
Beregning:	44
Sammenligning av Resultat Tyskland–Norge:.....	47

• Storbritannia:	49
Overhøyde	49
Oppbygging av overhøyde.....	51
Beregning:	51
Sammenligning av Resultat Storbritannia–Norge:.....	54
• USA:	57
Overhøyde	57
Oppbygging av overhøyde.....	60
Beregning:	65
Sammenligning av Resultat USA–Norge:	69
• Sammenligning av resultatene:.....	71
Norge–Alle landene:.....	74
5. Sammenlikning av Normalene: Klotoideparameter	76
• Norge:	76
Beregning:	80
• Sverige:.....	81
Beregning:	84
Sammenligning av Resultat Sverige–Norge:.....	85
• Danmark:.....	86
Beregning:	88
Sammenligning av Resultat Danmark–Norge:.....	90
• Tyskland:.....	91
Beregning:	95
Sammenligning av Resultat Tyskland–Norge:.....	97
• Storbritannia:	98
Beregning:	99
Sammenligning av Resultat Storbritannia–Norge:.....	101
• USA:	102

Beregning:	107
Sammenligning av Resultat USA–Norge:	109
• Samling av resultatene:	110
Sammenligning av Norge–Alle landene:	112
6. Konklusjon	113
• Oppsummering og diskusjon:	113
Referanser	116

1. Introduksjon:

Masteroppgaven skal være i to deler, en for overhøyde og en for klotoideparameter. Oppgaven er en del av SVV forskingsprogram «Parametere for vegens utforming» og oppdatering til N100 introduserer fem nye dimensjoneringsklasser som blir brukt som grunnlag for beregningen i oppgaven.

Første delen av oppgaven blir å se på overhøyde verdiene og formlene som brukes i de ulike landene, så blir dem brukt videre til å finne ut hvilken virkning overhøyden har på andre parameterne som minste horisontalkurve $R_{h,min}$ og minste lengde av overhøydeoppbygging $L_{0,min}$.

Beregningen gjøres på denne måte:

- Regne ut Norske minste horisontalkurvene R_{min} og minste lengde av overhøydeoppbygging $L_{0,min}$ for de fem nye dimensjoneringsklassene
- Regne ut minste horisontalkurvene R_{min} med utlands forutsetninger (overhøyde, hastighet og friksjon fra disse landene) og regne ut utlands formelen der de brukes noa annet
- Regne ut minste lengde for overhøydeoppbygging $L_{0,min}$ med norske formel og utlands forutsetninger (overhøyde, hastighet)
- Regne ut de forskjellige utlandske formlene av minste lengde for overhøydeoppbygging
- Til slutt blir det tatt en sammenligning av resultatene med det norske resultatet

Andre delen av oppgaven blir å se på hvilken type krav eller forutsetiger som stilles til klotoideparameteren og å finne A_{min} for hvert land.

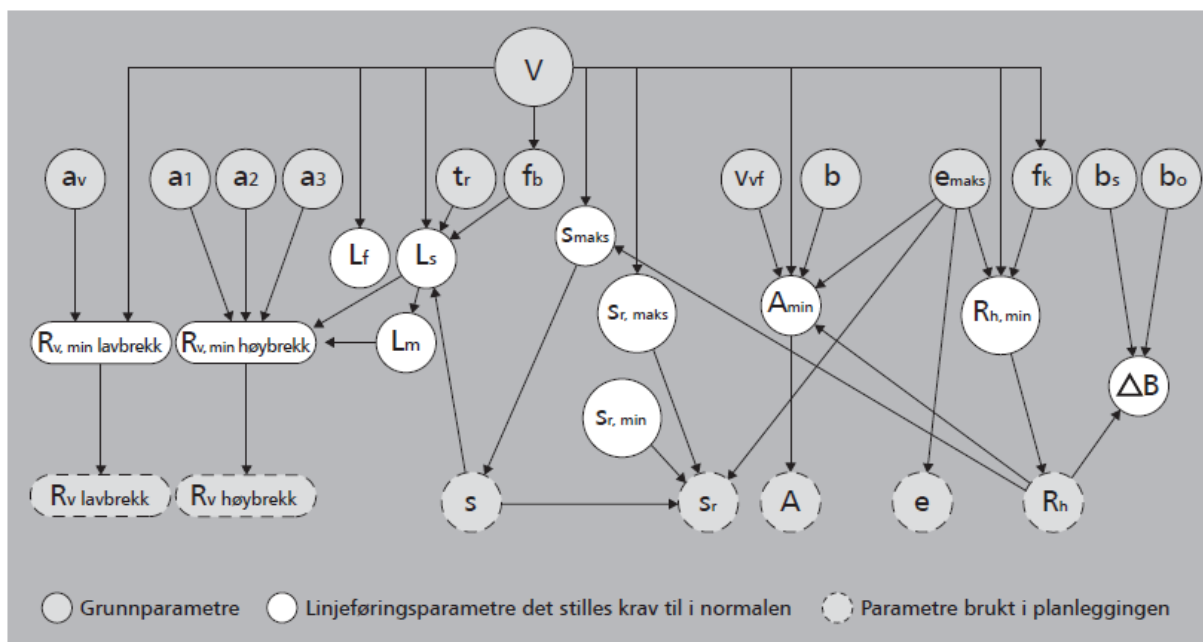
Slik blir beregningene utørt

- Regne ut A_{min} for de forskjellige beregningskombinasjonene fra første del av oppgaven, så fine ut om de tilfredsstillt kravene fra de ulike landene
- Ta en sammenligning av resultatene med de norske resultatet

All beregningen utføres med en veikombinasjon mellom en rettlinje og en kurve.

2. Definisjon

Overhøyde og klotoideparameter er en del av en større parameter nettverk laget av sammenhenger fra formgrunnlaget som brukes i beregning av geometriske minimums og maksimumsverdier. Nettverket er bygd opp av tre type parametere, grunnparametere som maks overhøyde, linjeføringsparametere som minste klotoide og parametere brukt i planlegging.



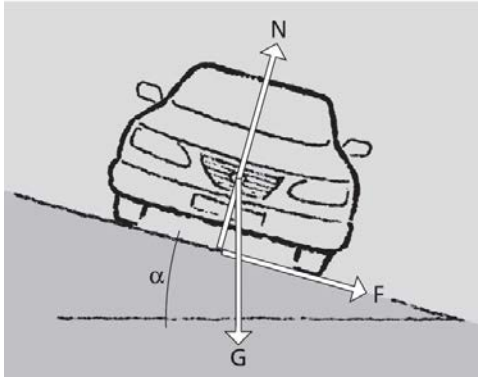
Figur 2.3: Oversikt over sammenhenger over hvilke grunnparametre som inngår i formelgrunnlaget

V = fartsgrense (med eventuelle fartstillegg)	L_r = forbikjøringsikt
a_v = vertikalakselerasjon	L_s = stoppsikt
a_1 = øyehøyde	L_m = møtesikt
a_2 = beregningsmessig objekthøyde	s = stigning
a_3 = beregningsmessig kjøretøyhøyde	S_{maks} = største tillatte stigning
t_r = reaksjonstid	S_r = resulterende fall
f_b = bremsefriksjon	$S_{r,maks}$ = største tillatte resulterende fall
f_k = sidefriksjon	$S_{r,min}$ = minste tillatte resulterende fall
v_{vf} = relativ vertikalfart	A = klotoideparameter
b = hjulavstand	A_{min} = minste klotoideparameter
b_s = sporingsøkning	e = overhøyde
b_o = overheng	e_{maks} = største tillatte overhøyde
R_v = vertikalkurveradius	R_h = horisontalkurveradius
	$R_{h,min}$ = minste horisontalkurveradius
	ΔB = breddeutvidelse

Figur 1: Oversikt over de forskjellige grunnparametere og sammenhenger mellom dem (Statens vegvesen, 2014)

- **Overhøyde:**

Overhøyde er verdien som beskriver ensidigfallet under en kurve, den skal delvis kompensere for sidekraften ved kjøring under en kurve slik at bilen glir ikke ut men den må også ikke være så stor at kjøretøyet glir inn ved andre kjøreforhold som vinterføre.

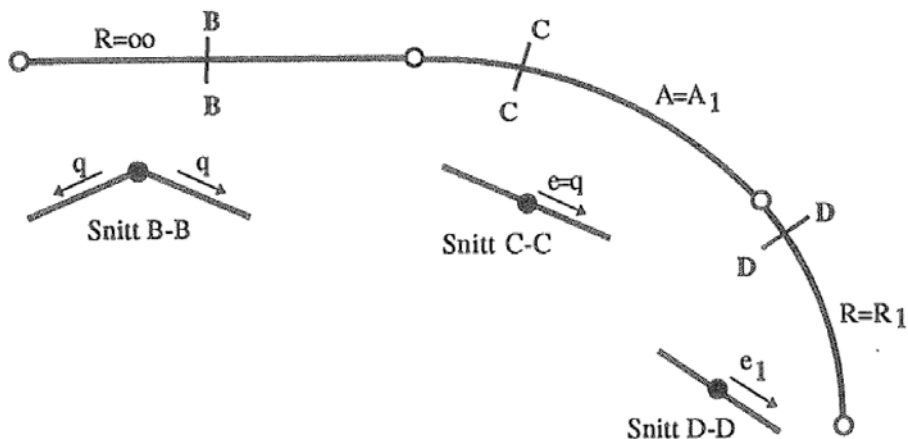


Figur 2: illustrasjon av ensidigfall under en kurve (Statens vegvesen, 2014)

Det brukes forskjellige verdier i utlandet, Norske verdier kan hentes fra håndbok N100 for de forskjellige dimensjoneringsklassene. Figur 1 viser at overhøyden er en grunnparameter som har sammenheng med to linjeføring parameterne, minste horisontalkurveradius $R_{h,min}$ og minste klotoideparameter A_{min} . Maksoverhøyde e_{maks} trengs for å kunne regne ut $R_{h,min}$ og A_{min} .

Overhøyden har tre forskjellige faser, en ved rettlinje med en minimumsverdi e_{min} takkfall som kan være fra 1,5%–3%. Andre fase er oppbyggingsfasen der den skal være varierende og skal bygges opp fra ett takkfall eller fra en annen kurveradius. Tredje fasen er ved en kurve med ensidigfall.

Bestemmelsen av overhøyde avhenger av kurveradius og dimensjoneringsklasse, maksoverhøyde e_{maks} er litt forskjellig i de ulike landene og avhenger av kjøreforholdet.



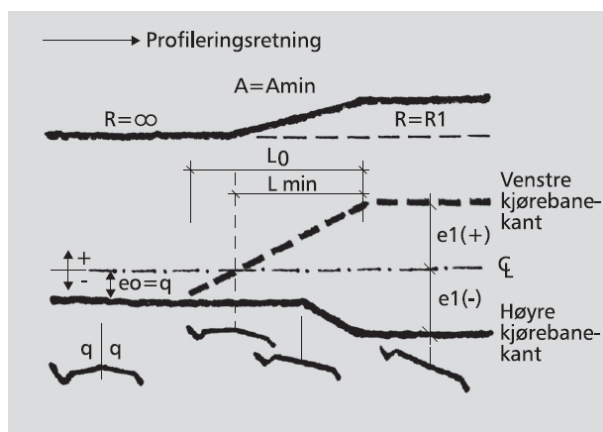
Figur 3: Overhøydeoppbygging fra en takkfall til ensidigfall (Statens Vegvesen, 2014)

Overhøydeoppbygging skal gjøres i en overgangsområde/klotoide mellom en rettlinjje med takkfall og en kurve eller mellom en kurve og en annen kurve.

Det fleste landene har en krav til minste lengde av oppbyggingen og den regnes ut med forskjellig formler.

I Norge brukes denne formelen for å regne den ut

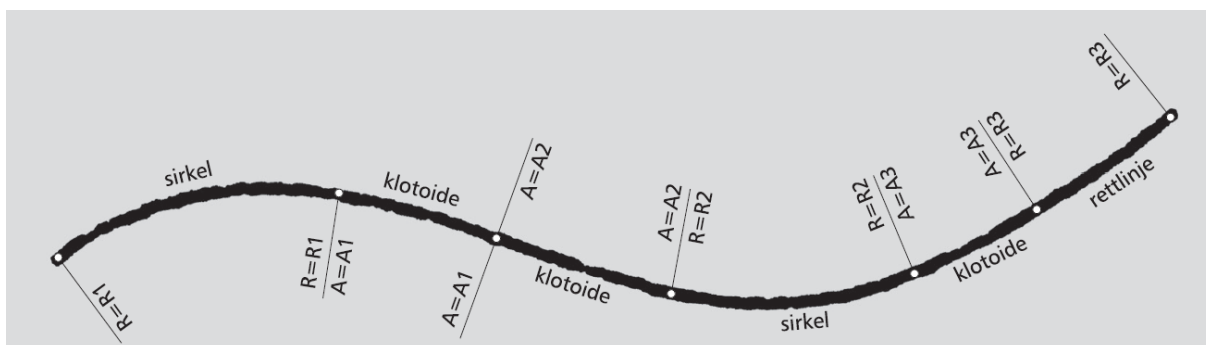
$$L_{0,min} = \frac{b * V * e_d}{3,6 * v_{vf}}$$



Figur 4: Overhøydeoppbygging prosessen i Norge (Statens Vegvesen, 2014)

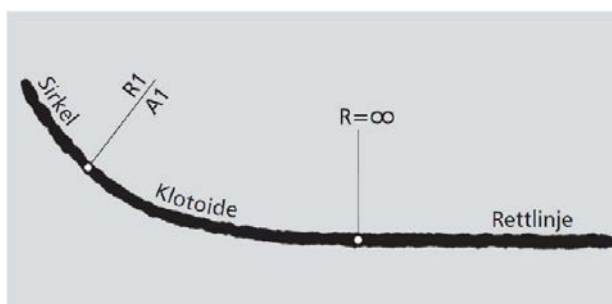
- **Klotoideparameter:**

Klotoider er overgangskurver som brukes mellom en rettlinje og en kurve eller mellom en kurve og en annen kurve for å ha en gradvis og mykere overgang. Klotoider har en varierende radier som kan gå fra $R=\infty$ til radien i kuven eller fra en radius til en større/mindre radius.

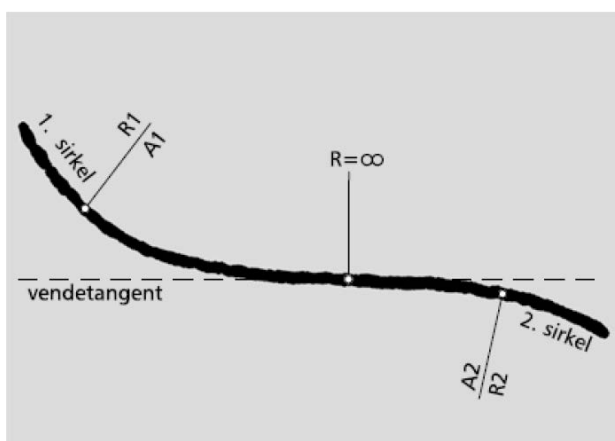


Figur 5: Eksempel på klotoider (Statens Vegvesen, 2014)

Det finnes en del ulike type klotoider som brukes i forskjellig vei kombinasjoner som enkelklotoide vist i figur 6 eller vendekurve vist i figur 7.



Figur 6: Enkelklotoide i en kombinasjon mellom rettlinje og en kurve (Statens Vegvesen, 2014)



Figur 7: Vendeklotoide mellom to kurver (Statens Vegvesen, 2014)

Det er kun et krav til klotoide i Norge som er minste klotoideparameter A_{\min} , mens det finnes flere krav/forutsetninger som kan være brukt i de ulike landene som

- Kjøredynamikk krav
- Geometrisk krav
- Estetisk krav
- Krav til minimal kurveforskyvning fra tangent til kurven
- Krav til breddeutvidelse langs kurven
- Krav til forhold mellom nabokurver osv.
- Minimums og maksimumskrav.

3. Metoden

Informasjonen om overhøyde og klotoideparameter hentes fra normalene til de ulike landene.

Norge:

- Håndbok V120 (Statens vegvesen, 2014)
 - Klotoideparameter: Kapittel 3.1.1–3.1.4.
 - Overhøyde: Kapittel 4.1
- Håndbok N100– Kapittel C.2 (Statens vegvesen, 2014)

Sverige:

- Krav för Vägars och gators utformning–(Trafikverkets publikation 2015:086)
 - Klotoideparameter: Kapittel 3.1.6.2.3
 - Overhøyde: Kapittel 3.1.6.5–3.1.6.6
- Sidefriksjon: Vägars och gators utformning– Begrepp och grundvärden 2.1.3 (Trafikverkets publikation 2015:090)

Danmark:

- Tracering i åbent land–Anlæg og planlegning (Vejregler, Oktober 2012)
 - Klotoideparameter: Kapittel 5.6
 - Overhøyde: Kapittel 8
- Planleggingshastighet: Grundlag for udformning af trafikarealer– Kapittel 3 (Vejregler, Oktober 2012)

Tyskland:

- Guidelines for the Design of Motorways RAA (Road and Transportation Research Association, 2008/Trans. 2011)
 - Klotoideparameter: Kapittel 5.2.3 og Appendix 4
 - Overhøyde: Kapittel 5.6–5.6.3
 - Sidefriksjon: Appendix 3

Storbritannia:

- Highways link design (The Highways Agency/Scottish executive development department/The National Assembly for Wales/The department for regional development Northern Ireland, 2002)
 - Klotoideparameter: Kapittel 3.15–3.16
 - Overhøyde: Kapittel 3.2

USA:

- A Policy on Geometric Design of Highways and streets (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011–6th utgave, Washington DC.)
 - Klotoideparameter: Kapittel 3.3.8
 - Overhøyde: Kapittel 3

Verdiene og formlene for overhøyde brukes videre til å regne ut minste horisontalkurve $R_{h,min}$ og minste lengde av overhøydeoppbygging $L_{0,min}$ for disse landene og sammenlignes med resultatene fra Norge.

Videre blir Minste klotoideparameter A_{min} regnet ut for landene og kjekket imot kravene som stilles i disse landene, så blir den sammenlignet med verdiene fra Norge.

4. Sammenlikning av Normalene: Overhøyde

- Norge:

Informasjon om overhøyde i Norge hentes fra kapitel 4.1 i håndbok V120 og fra kapitel C.2 i håndbok N100.

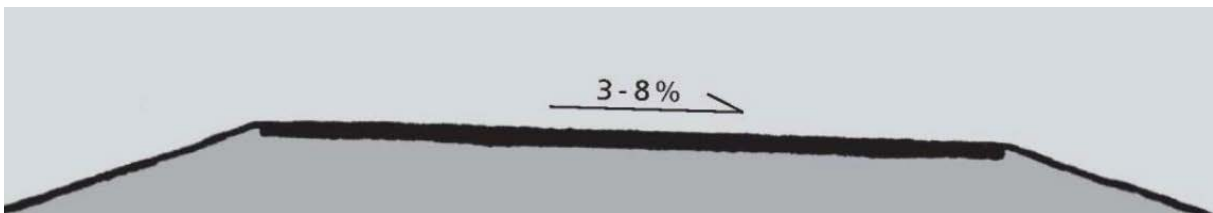
Overhøyde

Ved rettlinje strekninger med to eller flere felt blir det brukt en takkfall(q) med 3% og ved en felts veier blir det brukt ensidigfall med 3%.



Figur 8: Takkfall ved rettlinje strekninger (Statens vegvesen, 2014)

Ved kurver brukes det en ensidigfall med overhøyde på 3–8% der 8% er maks overhøyde i alle veggklassene bortsett fra klasse A2 der 5% som er maks. Verdiene finnes i dagens utgave av N100 ved kapitel C.2



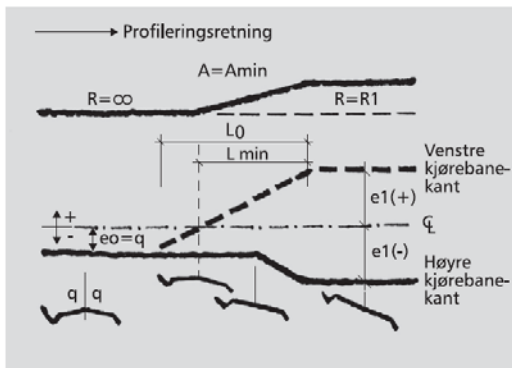
Figur 9: Ensidigfall ved en kurve (Statens vegvesen, 2014)

H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H _o 1	H _o 2	Sa1	Sa2	Sa3	A1	A2	A3
8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	5%	8%	8%

Tabell 1: Maks overhøyde utfra veggklassene (Statens vegvesen, 2014)

Oppbygging av overhøyde

Overhøyden skal normalt bygges opp innenfor klotoiden og den skal være ferdigbygget opp ved starten av kurven. Der en klotoiden $A=A_{\min}$ må overhøyden bygges opp fra 3% til 0% før klotoiden starter.



Figur 10: Overhøydeoppbygging ved $A=A_{min}$ (Statens vegvesen, 2014)

Beregnings formel for den minste lengden av overhøydeoppbygging $L_{0,min}$ hentes fra håndbok *V120-kapitel 4.1*

$$L_{0,min} = \frac{b * V * e_d}{3,6 * v_{vf}}$$

$L_{0,min}$ = minste lengde av overhøydeoppbygging i vendekurve

b = avstand mellom høyre og venstre hjul (1.65 m)

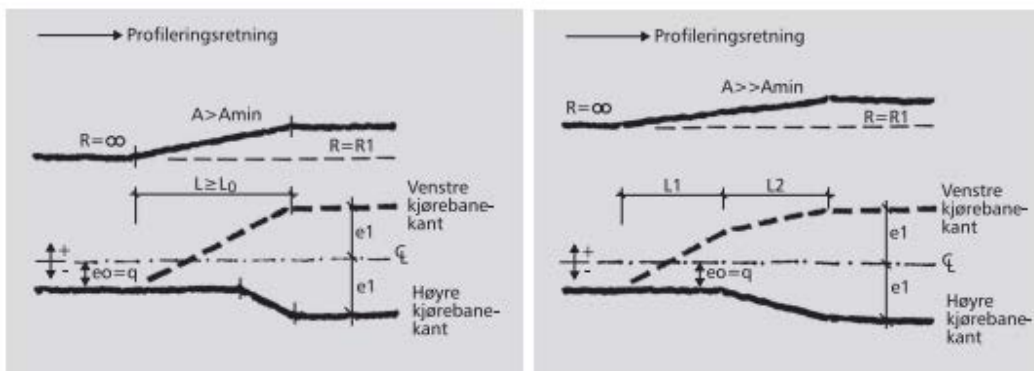
V = fart i km/h

e_d = endring i overhøyde i %

v_{vf} = relativ vertikalfart i m/s (0.05 m/s for hovedveger, 0.06 m/s for samle- og atkomstveger)

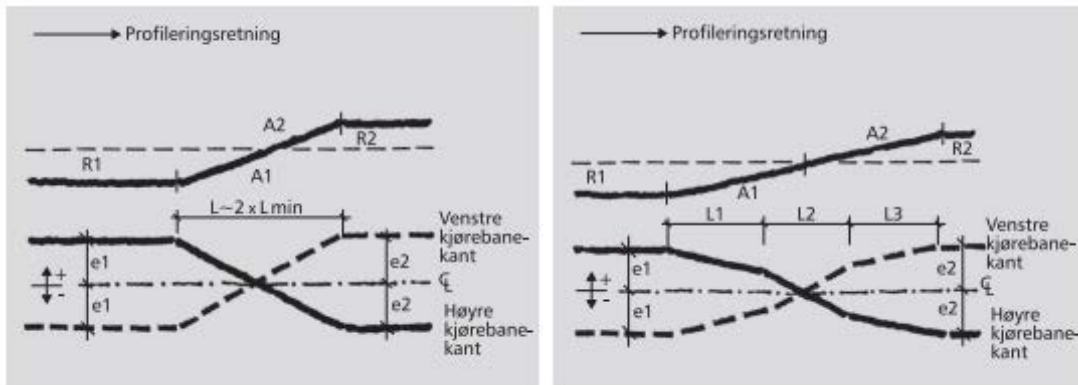
L_0 er lengden av hele overhøydeoppbygging og den kan bygningsmessig være både større og mindre enn $L_{0,min}$.

Figurene under viser forskjellige måter å bygge opp overhøyden når vi har andre forhold:



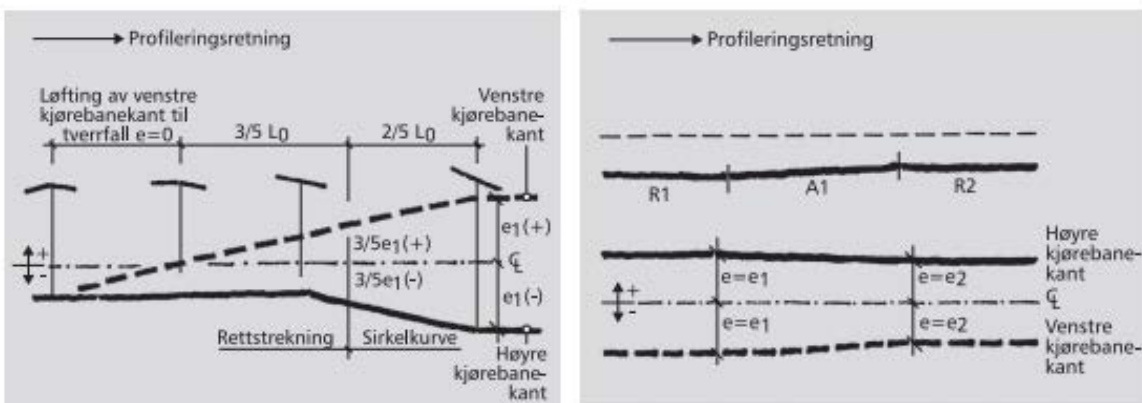
Figur 11: Overhøydeoppbygging ved $A > A_{min}$ og ved $A \gg A_{min}$ (Statens vegvesen, 2014)

- Første figur viser overhøydeoppbygging ved overgang fra rettlinje til kurve, her er klotoiden lang nok til hele overhøydeoppbyggingen.
- Andre figur viser overhøydeoppbygging ved overgang fra rettlinje til kurve, men her er klotoiden lengre enn den nødvendige lengden for overhøydeoppbyggingen.



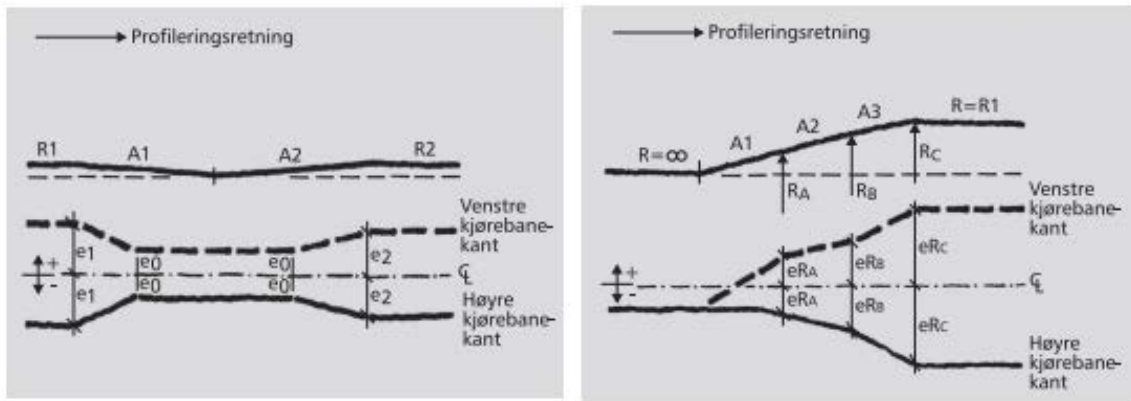
Figur 12: Overhøydeoppbygging ved vendekurve (Statens vegvesen, 2014)

- Første figur viser overhøydeoppbygging i vendekurve hvor $A = A_{min}$
- Andre figur viser samme som første, men klotoiden er lengre enn nødvendig lengde for overhøydeoppbyggingen.



Figur 13: Overhøydeoppbygging uten klotoide og ved eggkurve (Statens vegvesen, 2014)

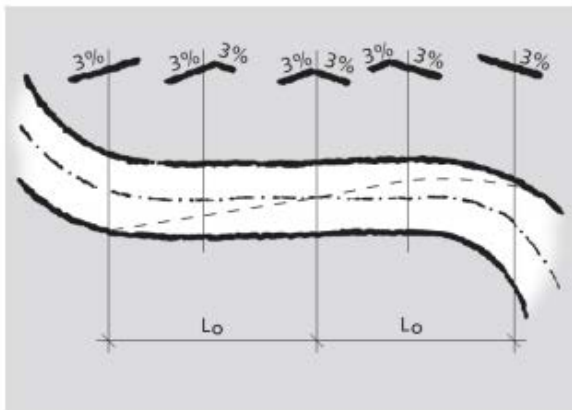
- Første figur viser overhøydeoppbygging ved direkte overgang mellom rettlinje og kurve uten en klotoide.
- Andre figur viser overhøydeoppbygging i eggkurve.



Figur 14: Overhøydeoppbygging ved sammenstøtende og sammensatt klotoide (Statens vegvesen, 2014)

- Første figur viser overhøydeoppbygging i sammenstøtende klotoide.
- Andre figur viser overhøydeoppbygging i sammensatt klotoide.

Metoden vandrende møne som vises på figur 15 kan også brukes for å bygge opp overhøyde i en kurve.



Figur 15: Vandrende møne (Statens vegvesen, 2014)

Beregning:

For å finne ut hva slags virkning overhøyde har på $R_{h,min}$ og $L_{o,min}$ trenger vi først å regne dem ut for Norge slik at vi kan sammenligne dem med de andre landene. Det skal beregnes for en veikombinasjon med overgang fra rettlinje til kurva som vist på figur 3 og 4.

Beregningene skal gjøres med de nye verdiene som kommer på den nye oppdateringen til N100. Minste horisontalkuven regnes ut først for de nye dimensjoneringsklassene med oppdaterte verdier for friksjon og fartstillegget vist på tabellene under.

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

Maksoverhøyde $e_{maks} = 8\%$

Tabell 2 viser dimensjoneringsklasser og de nye verdiene som skal brukes som fartstillegg og fartsprofiltillegg. Fartsprofiltillegget skal være 0 ved beregning av minste horisontalkurve og minste lengde av overhøydeoppbygging.

Dimensjoneringsklasse (fartsgrense (km/t))	Fartstillegg (km/t)	Fartsprofiltillegg (km/t)	Beregningsmessig fart (km/t)
H1 (80)	5	0-5	85-90
H2 (90)	5	0-5	95-100
H3 (110)	10	0	120
Hø1 (80)	0	0-5	80-85
Hø2 (60)	0	0-5	60-65

Tabell 2: Dimensjoneringsklasser og hastighetsklasser

Side friksjon f_k henses fra tabell 3 og deriveres på sikkerhetsfaktor fra tabell 4.

Fartsgrense [km/t]								
	40	50	60	70	80	90	100	110
f_t (ny)	0,638	0,575	0,528	0,491	0,462	0,437	0,416	0,416
f_k (ny)	0,249	0,224	0,195	0,182	0,157	0,131	0,108	0,082
f_b (ny)	0,588	0,529	0,490	0,456	0,434	0,416	0,401	0,389

Tabell 3: nye verdier for friksjon

Fartsgrense [km/t]								
	40	50	60	70	80	90	100	110
f_b	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1

Tabell 4: sikkerhetsfaktor

Dimensjoneringsklasse	Bredde på kjørebane
H1 (80)	3,25
H2 (90)	3,50
H3 (110)	7
Hø1 (80)	3
Hø2 (60)	3

Tabell 5: Bredde på kjørebanen

Minste lengde av overhøydeoppbygging er den andre beregningen som utføres:

$$L_{0,\min} = \frac{b \cdot V \cdot e_d}{3,6 \cdot v_{vf}}$$

$L_{0,\min}$ = minste lengde av overhøydeoppbygging i vendekurve

b = avstand mellom høyre og venstre hjul (1.65 m) (kap.2.7 HB.V120)

V = Dimensjonerings fart i km/h

e_d = endring i overhøyde i % = 8%+3%=11%

v_{vf} = relativ vertikalfart i m/s (0.05 m/s for hovedveger, 0.06 m/s for samle- og atkomstveger fra kap.2.10 HB.V120)

Detaljert beregning er med på beregningsvedlegget

Resultatet på beregningen:

Dette resultatet her blir brukt senere for å sammenlikne med resultatene fra de andre landene

Dimensjoneringsklasse (fartsgrense (km/t))	Minstehorizontale kurve $R_{h,min}$	$L_{o,min}$
H1 (80)	240,04	85,71
H2 (90)	356,94	95,79
H3 (110)	733,67	121,00
Hø1 (80)	212,63	80,67
Hø2 (60)	103,08	60,50

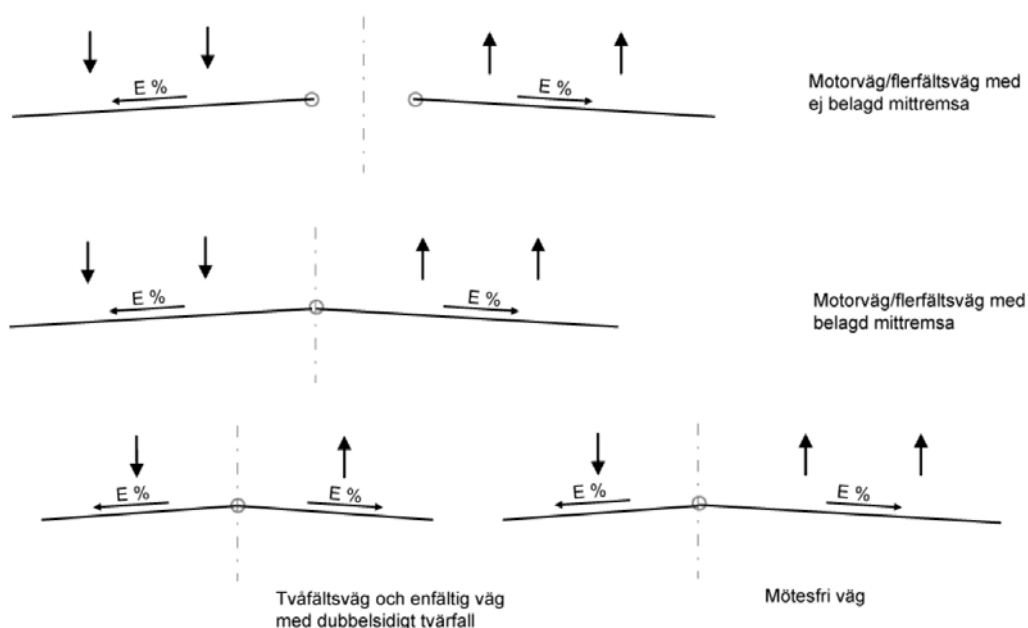
Tabell 6: Beregning resultat for Norge

- Sverige:

Informasjon om overhøyde hentes fra Trafikverkets sin publikasjon «Krav för Vägars och gators utformning» kapitel 3.1.6.5–3.1.6.6. Sidefrikisjon informasjonen hentes fra en annen Trafikverket publikasjon «Vägars och gators utformning– Begrepp och grundvärden» kapitel 2.1.3.

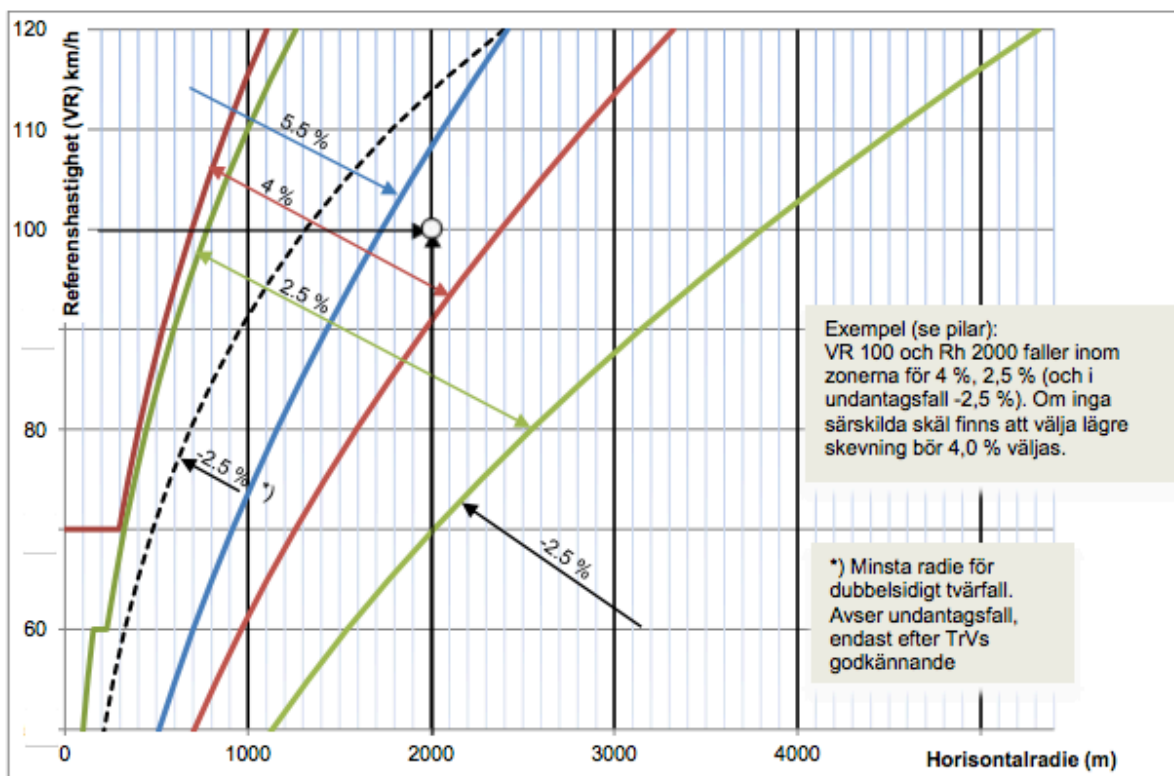
Overhøyde

Ved rettlinjje strekninger med to eller flere felt skal det være en takkfall(q) på 2,5%. Ved veger med enveiskjøring skal det være en sidehelning med 2.5% og ved veger med ett felt men to kjøreretninger så kan det brukes enten en takkfall eller en sidehelning.



Figur 16: Utforming av veger ved rettstrekninger (Trafikverkets publikasjon, 2015:086)

Overhøyden ved en kurve skal være mellom 2,5–5,5%. Den kan bestemmes ut ifra figur 17 ved å bruke en bestemt hastighet og horisontalkurveradius. Den maksimale er 5,5%. Veger med hastighet på 40km/h eller under trenger ikke en overhøyde større enn det minimums 2,5%.



Figur 17: Bestemmelse av overhøyde (Trafikverkets publikasjon, 2015:086)

Resulterende fall, I_r skal alltid være $\geq 0,5\%$, og dette kan bestemmes ved formelen:

$$I_r = \sqrt{I^2 + E^2}$$

I_r = resulterende fall i %

I = vegens stigning i %

E = vegens overhøyde/ takfall i %

Oppbygging av overhøyde

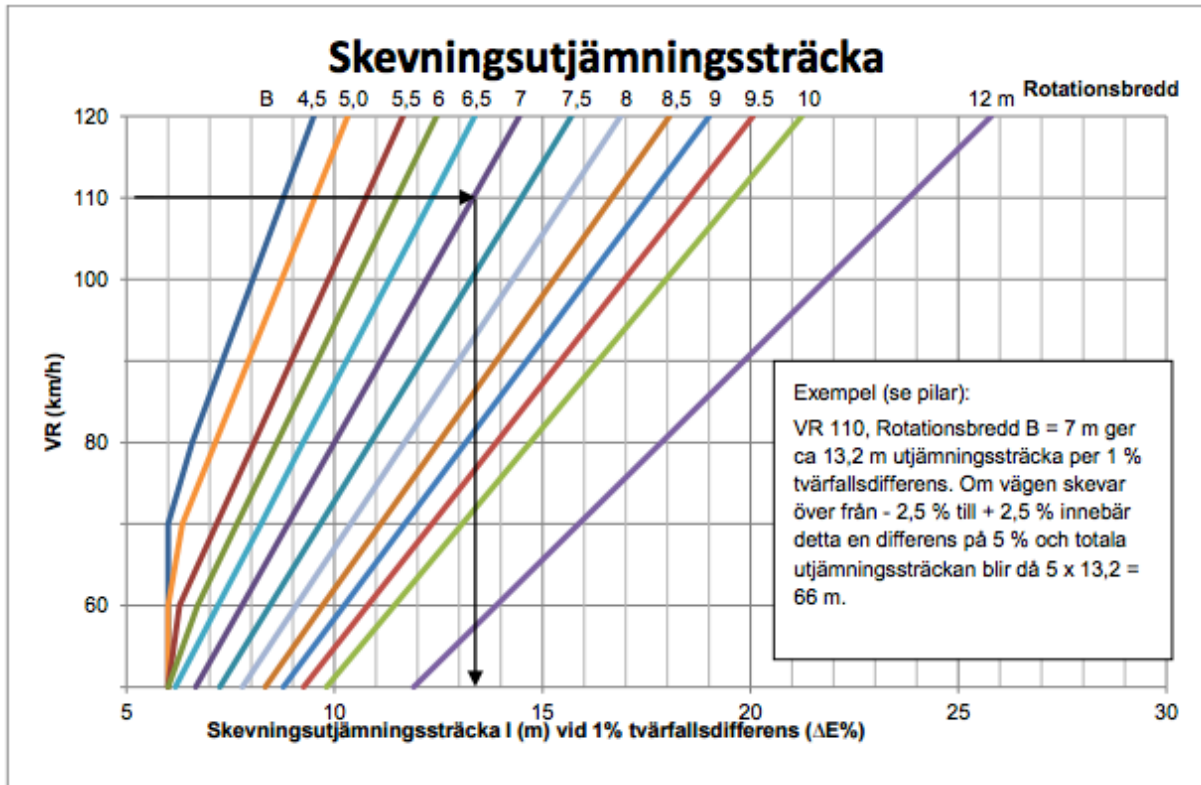
Formelen for oppbygging av overhøyde i Sverige hentes ifra Trafikverkets sin publikasjon «Krav for Vägars och gators utformning» Kapittel 3.1.6.6:

$$U = \Delta E \% * I_h$$

U = minste lengden for overhøydeoppbygging

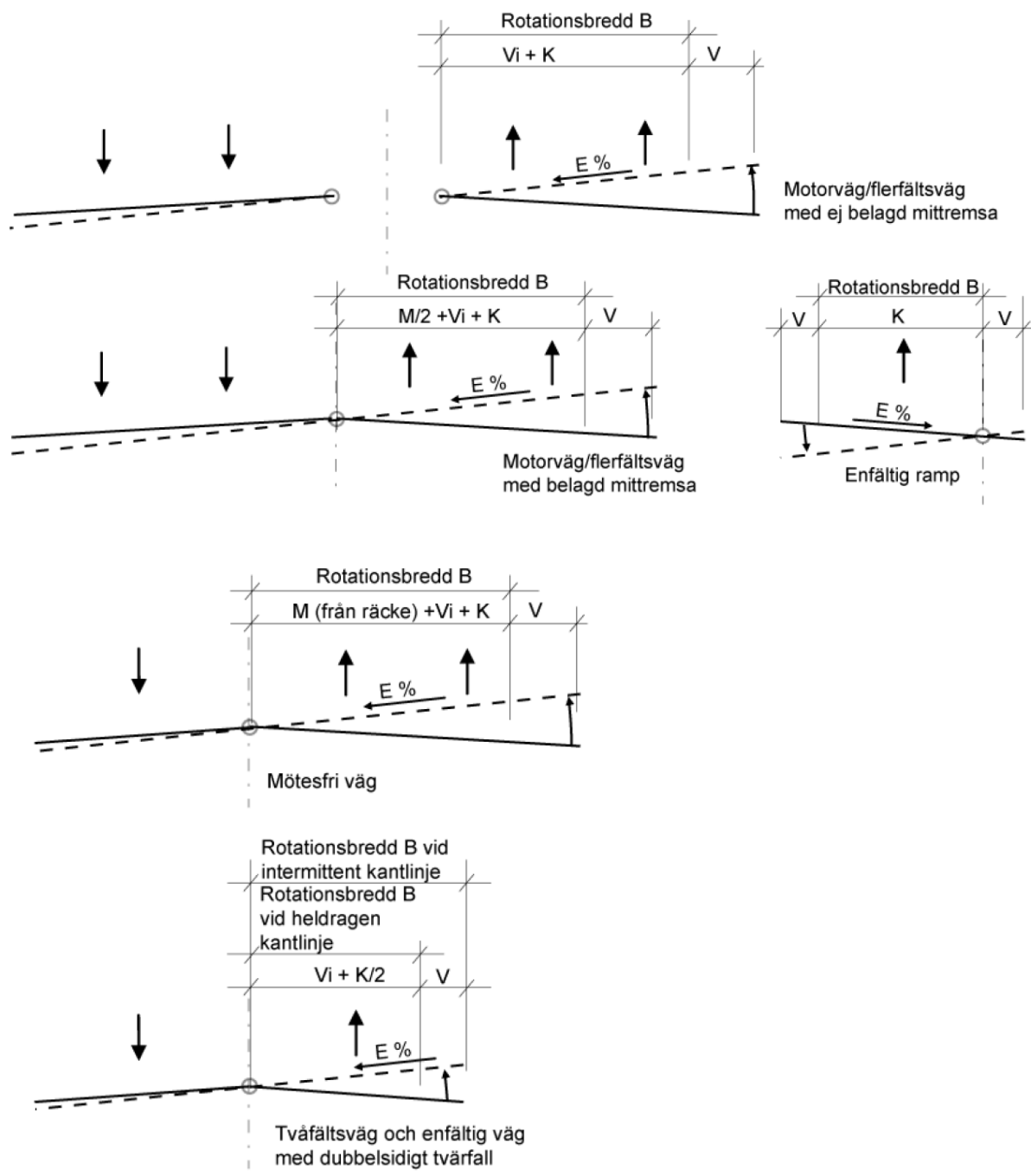
$\Delta E \% = \text{overhøydeforskjell}$

$L_h = \text{lengde for 1\% helningsforskjell}$



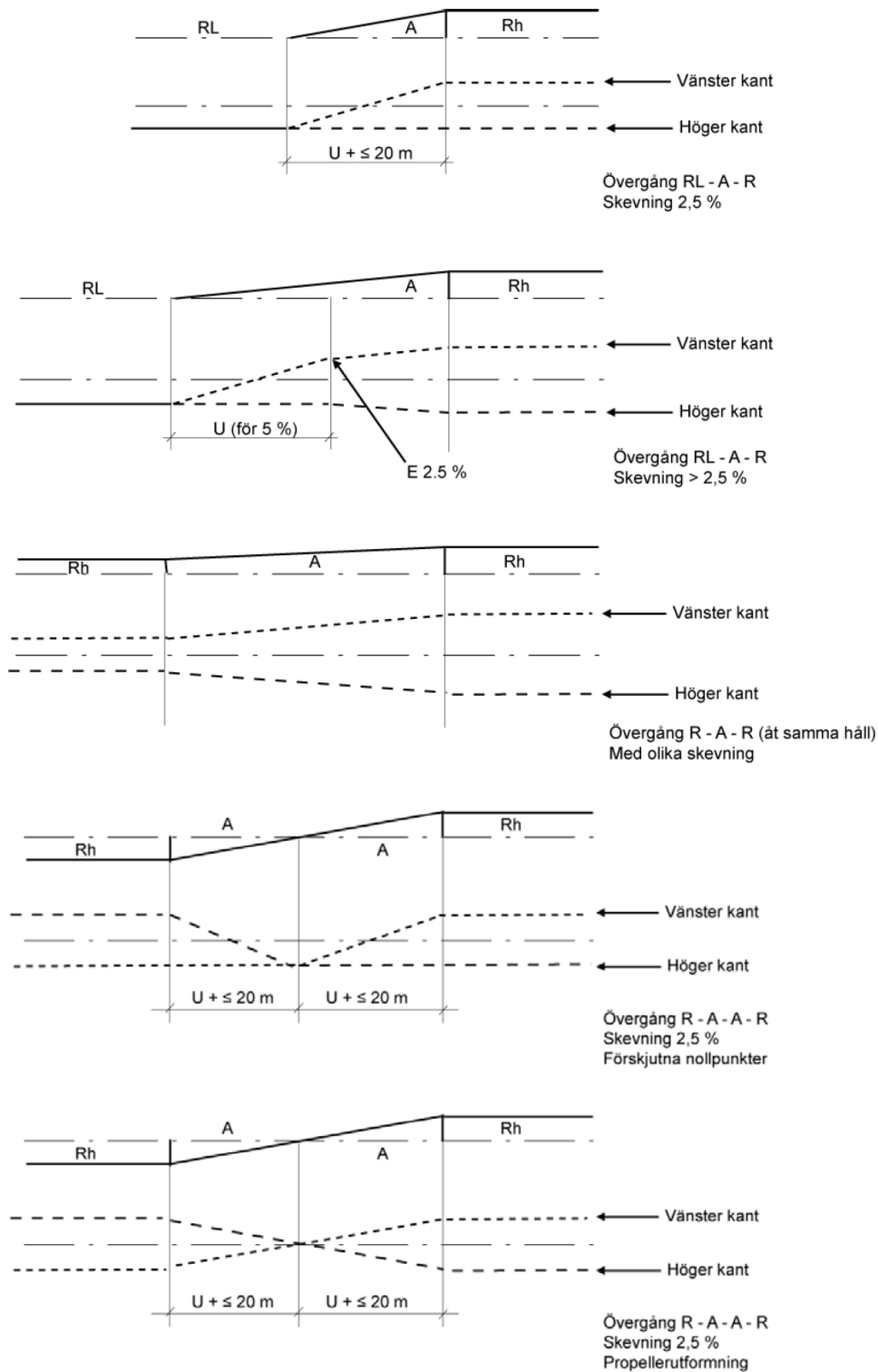
Figur 18: Bestemmelse av L_h (Trafikverkets publikasjon, 2015:086)

Rotasjonsbredden B må bestemmes for å finne L_h . Rotasjonsbredden er lengden fra rotasjonspunktet, som oftest er skillen på kjøreretningen eller kjørefelt til kantlinje. B bestemmes fra figur 19:



Figur 19: Bestemmelse av rotasjonsbredde, B (Trafikverkets publikasjon, 2015:086)

Når lengden som trengs for å gjøre endringen i helningen skal utformes gjøres dette på forskjellige måter ut fra om endringen skjer fra rettlinjle til kurve, fra kurve til kurve eller fra en kurveradius til en annen kurveradius i samme retning. På figur 20 er de forskjellige tilfellene gitt:



Figur 20: Metoder for endring av overhøyde (Trafikverkets publikasjon, 2015:086)

- På første skisse vises overgangen fra rettlinje med et takfall på 2,5% til en kurve med overhøyde på 2,5%.
- Andre skisse viser også overgang fra rettlinje med takkfall 2,5%, men overgangen er til kurve med overhøyde $> 2,5\%$. Dermed blir klotoiden

større enn i første skisse. Overgangen går over to stadier, først til overhøyde = 2,5% for så å gå til den endelige overhøyden.

- Tredje skisse viser overgang fra kurver med forskjellig radius, men svingningen går i samme retning, en eggkurve.
- Fjerde skisse viser overgang fra en kurve til en annen, som svinger i forskjellig retning. Her går først den ene siden av vegen fra +2,5% til -2,5%, slik at det dannes et takfall, for så at den andre siden av vegen går fra -2,5% til +2,5%. Dermed har svingretningen endret seg.
- Femte skisse vises det også overgang fra kurve til kurve slik som i skisse fire, men her skjer overgangen på en annen måte. Når en side begynner å gå fra -2,5% til +2,5%, vil den andre siden gå fra +2,5% til -2,5% samtidig, slik at i et punkt er vegen helt flat.

Beregning:

Dette er metoden som brukes her for beregningen

- Overgang fra en rettlinje til kurva
- Regne ut Horizontal kurven med Svensk forhold og Norsk formel
- Regne ut Minste lengde av overhøydeoppbygging med Svensk forhold og Norsk formel
- Regne ut Minste lengde av overhøydeoppbygging med Svensk formel

Sverige bruker den samme formelen for minste horizontal kurve:

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

Det brukes ikke noe fartstillegg for beregning i Sverige. Da velges det en hastighetsklasse som er i nærheten av det som brukes til beregning i Norge.

Dimensjoneringsklasse	Beregningsmessig fart (km/t)	Fartsgrense (km/t), Sverige
H1 (80)	85	90
H2 (90)	95	100
H3 (110)	120	120
Hø1 (80)	80	80
Hø2 (60)	60	60

Tabell 7: Hastighetsklasser

Verdien for sidefriksjon regnes ut med formelen under som er hentet fra «veger og gate utforming–Begrep og grundverden 2.1.3 (publikasjon 2015)», det tas hensyn til sikkerhetsfaktoren som brukes i Norge fra tabell 4.

$$f_s = 0,28 \times \text{EXP}(-0,0096 \times V)$$

V = hastighet (km/h)

$$e_{\text{maks}} = 5,5\% \text{ (figur 17)}$$

Beregning for Minste lengde av overhøydeoppbygging skal regnes ut med to metoder, først med Norske formel og Svensk forhold så med Svenske formel.

Beregning med Norske formel:

$$L_{0,\text{min}} = \frac{b \cdot V \cdot e_d}{3,6 \cdot v_{\text{vf}}}$$

$L_{0,\text{min}}$ = minste lengde av overhøydeoppbygging i vendekurve

b = avstand mellom høyre og venstre hjul (1.65 m) (kap.2.7 HB.V120)

V = fart i km/h (velge fartsklasse som er nær det som brukes i Norge)

e_d = endring i overhøyde i % = 5,5% + 2,5 = 8%

v_{vf} = relativ vertikalfart i m/s (0.05 m/s for hovedveger, 0.06 m/s for samle- og atkomstveger fra kap.2.10 HB.V120)

Beregning med Svensk formel:

$$U = \Delta E \% * l_h$$

U = minste lengden for overhøydeoppbygging

$\Delta E \%$ = overhøydeforskjell = 5% + 2,5 = 8%

l_h = lengde for 1% helningsforskjell, bestemmes fra figur 18

Rotasjonsbredden B må bestemmes for å finne l_h . B blir den samme som bredden av kjørefeltet, verdiene hentes ifra tabell 5.

Detaljert beregning er med på beregningsvedlegget

Resultatet på beregningen:

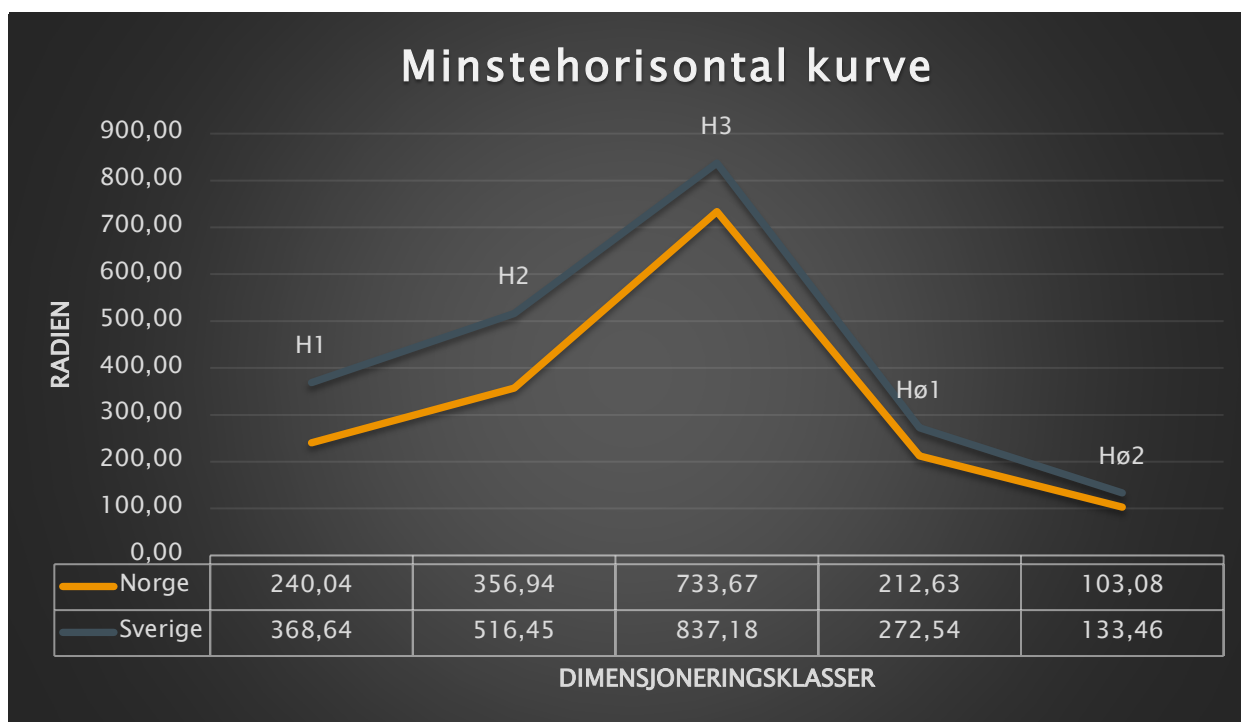
Dimensjoneringsklasse (fartsgrense (km/t))	Minstehorisontal kurve $R_{h.min}$	$L_{o,min}$	U
H1 (80)	368,64	66	58,4
H2 (90)	516,45	73,33	64
H3 (110)	837,18	88,00	116
Hø1 (80)	272,54	58,67	52
Hø2 (60)	133,46	44	48

Tabell 8: Beregning resultat fra Sverige

Sammenligning av Resultat Sverige–Norge:

Resultatet fra Sverige i tabellen over blir sammenlignet med resultatet fra Norge i tabell 2.

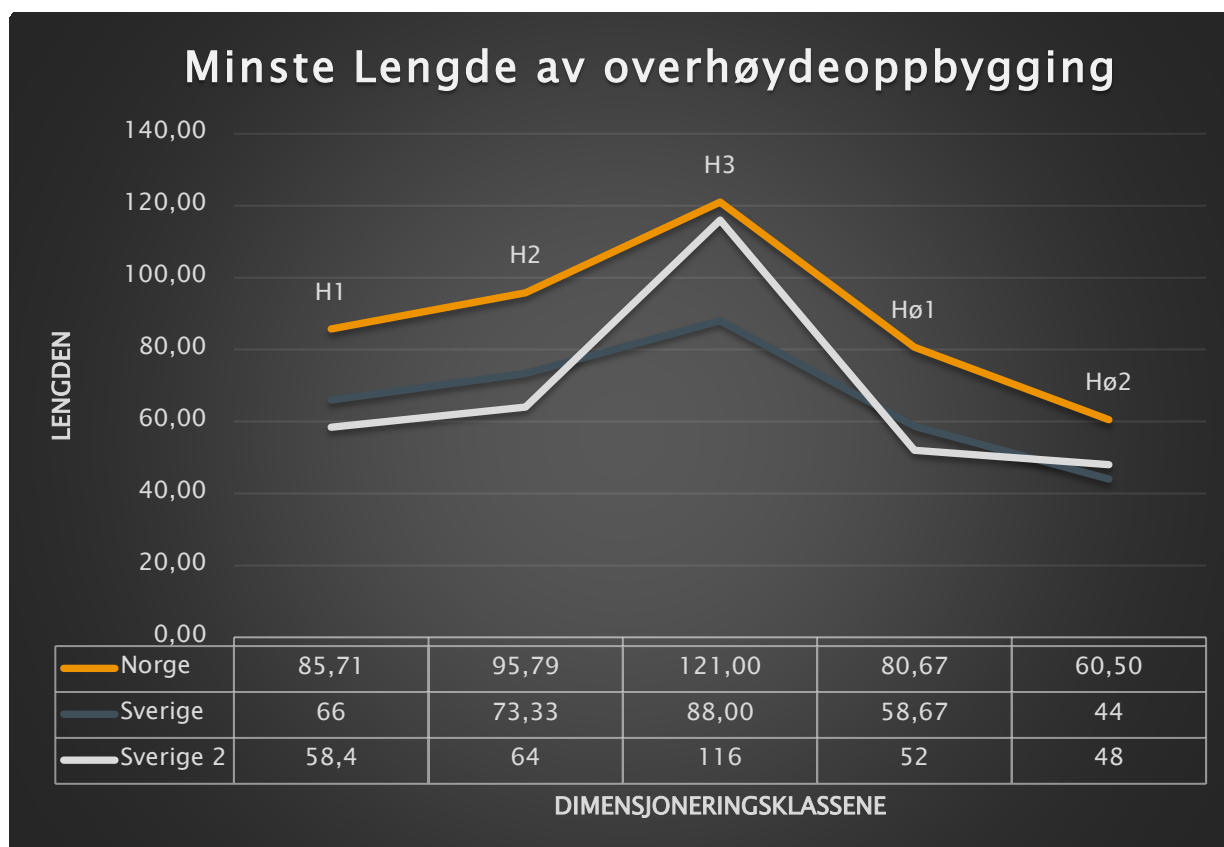
Minstehorisontal Kurveradius sammenlignes først:



Figur 21: Sammenlikning av beregning resultatet for minstehorisontal kurve mellom Norge og Sverige

Resultatet fra Sverige er vist med mørkgrå og den ligger litt høyre enn det som brukes i Norge, dette betyr at en maks overhøyde på 5,5% istedenfor 8% gir oss større verdier på minste horisontalkurver. Resultatet for dimisjoneringsklassen H1 og H2 kan være også påvirket av hastighet valget som vist på tabell 6.

Minste lengde av overhøydeoppbygging:



Figur 22: Sammenlikning av beregning resultatet for minste lengde av overhøydeoppbygging mellom Norge og Sverige

Begge resultatene fra beregningen for Sverige er under det Norske som betyr at det trengs mindre lengde for å bygge opp maskoverhøyde på 5,5% enn 8% som er naturlig.

- Resultat for første beregning er vist med mørkgrå farge, denne er gjort med Norske formel $L_{0,min}$ og svensk forhold. Lengden er ca. 20–40m under den Norske for de forskjellige dimisjoneringsklassene, eller så ser det ut som den følger den Norske ganske geit.

- Resultatet med Svenske formel U er vist med lysgrå farge. Her ser vi et verdiene havnen stor sett under første beregningen bortsett ifra klasse H3 fordi L_h (lengde for 1% helningsforskjell) som bestemmes fra figur 18 heger sammen med rotasjonsbredden B som er samme som bredden av kjørefeltet. Kjørebane bredden går fra 3,5m H2 til 7m i H3 som er forklaringen for at legden blir større som vist i figur 22.

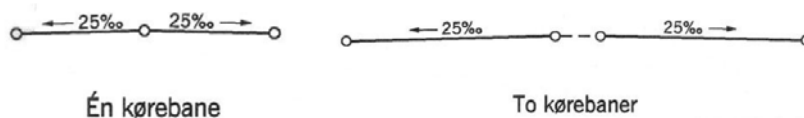
- Danmark:

Overhøyde informasjonen henstes fra Vejregler sin håndbok «Tracering i åbent land–Anlæg og planlegning, oktober 2018» kapitel 8.

Planleggingshastighet informasjonene hentes ifra håndbok «Grundlag for udformning af trafikarealer, Oktober 2012» kapitel 3.

Overhøyde

Ved rettligne strekninger med to eller flere felt blir det brukt et takkfall på 2,5%, ved noen unntakstilfeller kan den reduseres til 2% eller øke det til 3% ved forhold som setningsfølsom strekninger. Det skal være ensidighelning ved ett felt veier.



Figur 23: Tverprofil på rettstrekninger (Vejregler, Oktober 2012)

Minimum og maks overhøyde ved en kurver er e_{\min} 2,5% og e_{\max} 7%.

Overhøyden er avhengig av stigningen på vegen og den kan beregnes fra følgende formel:

$$\mu_r + i_r = \frac{V_p^2}{127 \times R_h}$$

μ_r = veiens sidefriksjonskoeffisient

i_r = overhøyde i %/10

V_p = hastighet på veistrekning i km/t

R_h = horisontalkurveradius i m

Veiens sidefriksjonskoeffisient kan bli funnet ut fra følgende tabell:

Planlægnings hastighet, V_p [km/h]	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Maks. tilladelig sidefriksjonskoeffisient μ_r	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08

Tabell 9: Sidefriksjonskoeffisienter med hensyn på fart (Vejregler, Oktober 2012)

Ved bruk av denne metoden skal det kontrolleres at helningen på vegbanen ikke er større enn 7%, og dermed må formelen under brukes:

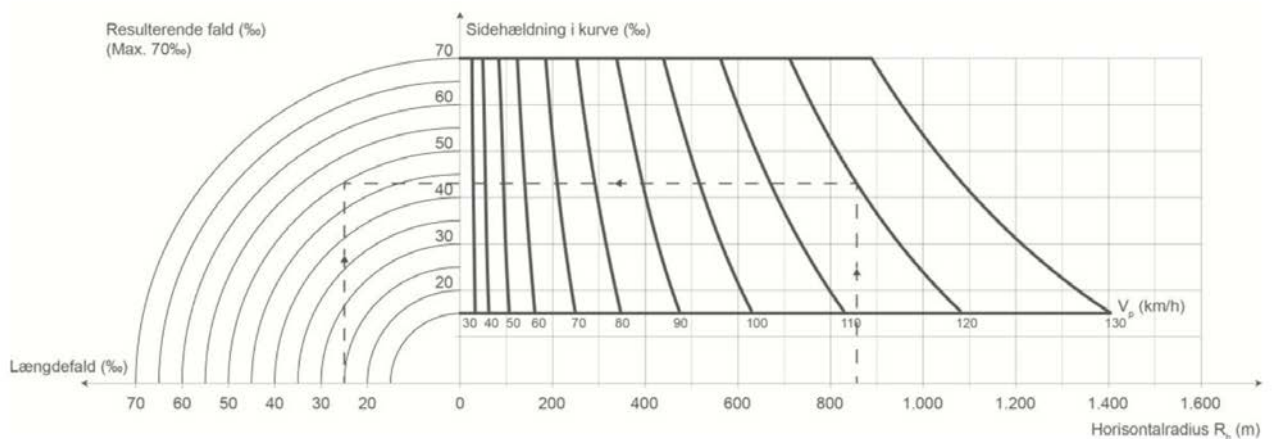
$$\text{Maks resulterende fall} = \sqrt{(i_r^2 + i_h^2)}$$

maks resulterende fall > 7%

i_r = overhøyde i %

i_h = stigning i %

Et alternativ til beregningsmetoden over er gå direkte til denne figuren under, der forholdet mellom hastighet, horisontalkurveradius, overhøyde og stigning er satt sammen i en figur.



Figur 24: Forholdet mellom overhøyde og horisontalkurveradius (Vejregler, Oktober 2012)

Oppbygging av overhøyde

Formelen under brukes for å regne ut minste lengde på overhøydeoppbygging:

$$L_{vend} = (i_{r,e,1} - i_{r,e,2}) \times \frac{b}{0,006}$$

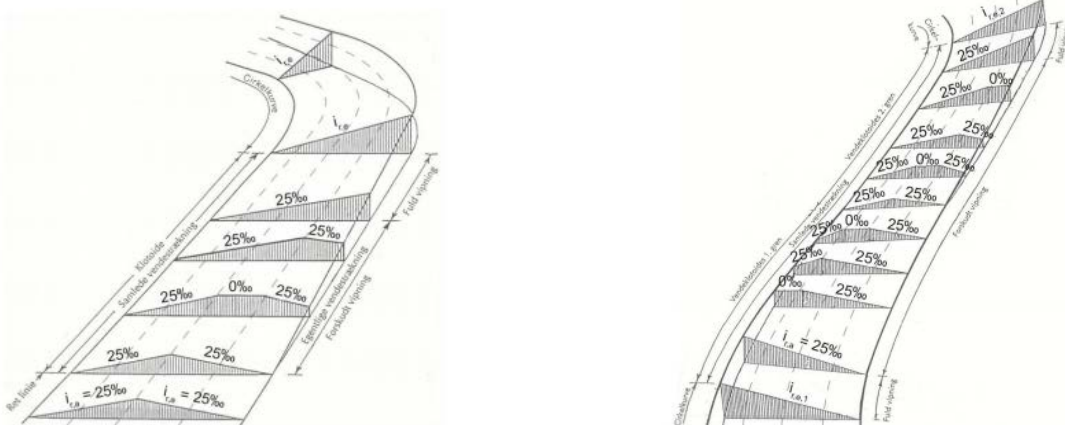
L_{vend} = minste lengden på overhøydeoppbyggingen i m

$i_{r,e,1}$ = overhøyde før lengde

$i_{r,e,2}$ = overhøyde etter lengde

b = bredde kjørebane

Når overhøyden skal endres, brukes som oftest prinsippet om "vandrende høyrygg" (vandrende møne). Dette går ut på at kjørebane deles opp i "uendelig" mange felt, og så endres ett felt av gangen. Dette vil gjøre at overgangen vil være jevn, slik at kjøreopplevelsen opprettholdes og man unngår problemer med overvann. Dette er vist på figuren under, både på overgang mellom rettstykke og kurve, og i S-kurve. Når overhøyden skal endres, burde ikke stigningen på vendestrekningen være mer enn halvparten så stor som helningen på vegen. Den burde i hvert fall ikke overstige 6% stigning.



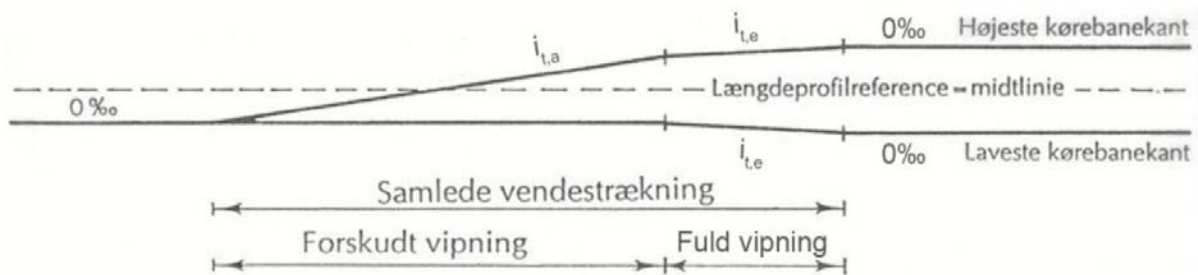
Figur 25: Rettstykke til kurve og S-kurve (Vejregler, Oktober 2012)

Når det vendes fra rett stekning til kurve, deles endringen opp i to deler. Den første delen er hvor kjørebane vil endres bit for bit, til vegen heller i en

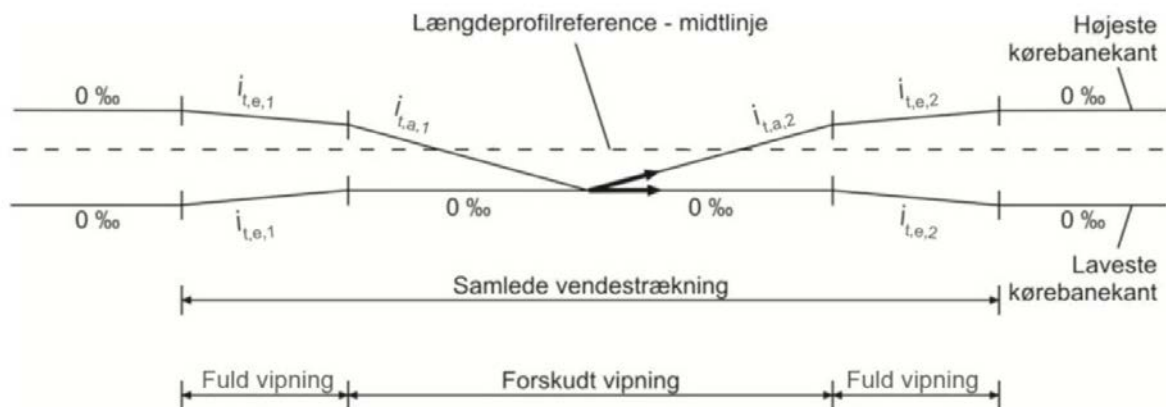
retning, altså overhøyde på 2,5%. Dermed vil helningen på 2,5% endres til full overhøyde, $i_{r,e}$ samlet for hele kjørebanelen.

Ved endring i S-kurve vil endringen foregå over tre steg. Først blir den opprinnelige overhøyden, $i_{r,e,1}$, endret til $i_{r,a}=2,5\%$ samtidig i hele kjørefeltet, før nedbyggingen av helningen starter på den ene siden av kjørebanelen til den har et takfall på 2,5%. Dermed vil den andre siden av kjørebanelen bygges opp til helningen er $i_{r,a}=2,5\%$ i samme retning. Herfra vil hele kjørefeltet bygges opp opp til nødvendig overhøyde, $i_{r,e,2}$ som et felt, og ikke felt for felt.

I begge tilfellene er den samlede vendestrekningen fra opprinnelig overhøyde, til ny overhøyde. Figurene nedenfor viser lengdeprofilene til S-kurve og fra rettstrekk til kurve ved endring i overhøyde.



Figur 26: Fra rettstrekk til kurve (Vejregler, Oktober 2012)



Figur 27: S-kurve (Vejregler, Oktober 2012)

Dersom vegen har flere kjørebaneler vil en og en kjørebane endres.

Beregning:

Dette er metoden som brukes her for beregningen

- Overgang fra en rettlinje til kurva
- Regne ut Horisontal kurven med Dansk forhold og Norsk formel
- Regne ut Minste lengde av overhøydeoppbygging med Dansk forhold og Norsk formel
- Regne ut Minste lengde av overhøydeoppbygging med Dansk formel

Danmark bruker den samme formelen for minste horisontal kurve:

$$R_{h,\min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{\max} + f_k)}$$

Planleggingshastighet brukes for beregningen i henhold til «Grundlag for utformning af trafikarealer– Kap. 3» og som vist på tabell 9. Det velges en planleggingshastighetsklasse som er lik eller nesten lik det som brukes til beregning i Norge.

Dimensjoneringsklasse	Beregningsmessig fart (km/t)	Planleggingshastighet (km/t), Danmark
H1 (80)	85	90
H2 (90)	95	100
H3 (110)	120	120
Hø1 (80)	80	80
Hø2 (60)	60	60

Tabell 10: Hastighetsklasser

Verdiene for sidefriksjon kan hentes fra tabell 9 for de ulike klassene og det tas hensyn til sikkerhetsfaktoren som brukes i Norge fra tabell 4.

$$e_{\max} = 7\%$$

Minste lengde av overhøydeoppbygging skal regnes ut med to metoder, først Norske formel og Dansk forhold så med Dansk formel.

Beregning med Norske formel:

$$L_{o,\min} = \frac{b \cdot V \cdot e_d}{3,6 \cdot v_{vf}}$$

$L_{0, \min}$ = minste lengde av overhøydeoppbygging i vendekurve

b = avstand mellom høyre og venstre hjul (1.65 m) (kap.2.7 HB.V120)

V_p = Planleggingshastighet km/h (velge som er nær det som brukes i Norge)

e_d = endring i overhøyde i % = 7%+2,5=9,5%

v_{vf} = relativ vertikalfart i m/s (0.05 m/s for hovedveger, 0.06 m/s for samle- og atkomstveger fra kap.2.10 HB.V120)

Beregning med Dansk formel:

$$L_{vend} = (i_{r,e,1} - i_{r,e,2}) \times \frac{b}{0,006}$$

L_{vend} = minste lengden på overhøydeoppbygningen i m

$i_{r,e,1}$ = overhøyde før lengde=7%

$i_{r,e,2}$ = overhøyde etter lengde=2,5%

b = bredde kjørebane (her brukes breddene fra tabell 5 for norske dimensjoneringsklasser)

Detaljert beregning er med på beregningsvedlegget

Resultatet på beregningen:

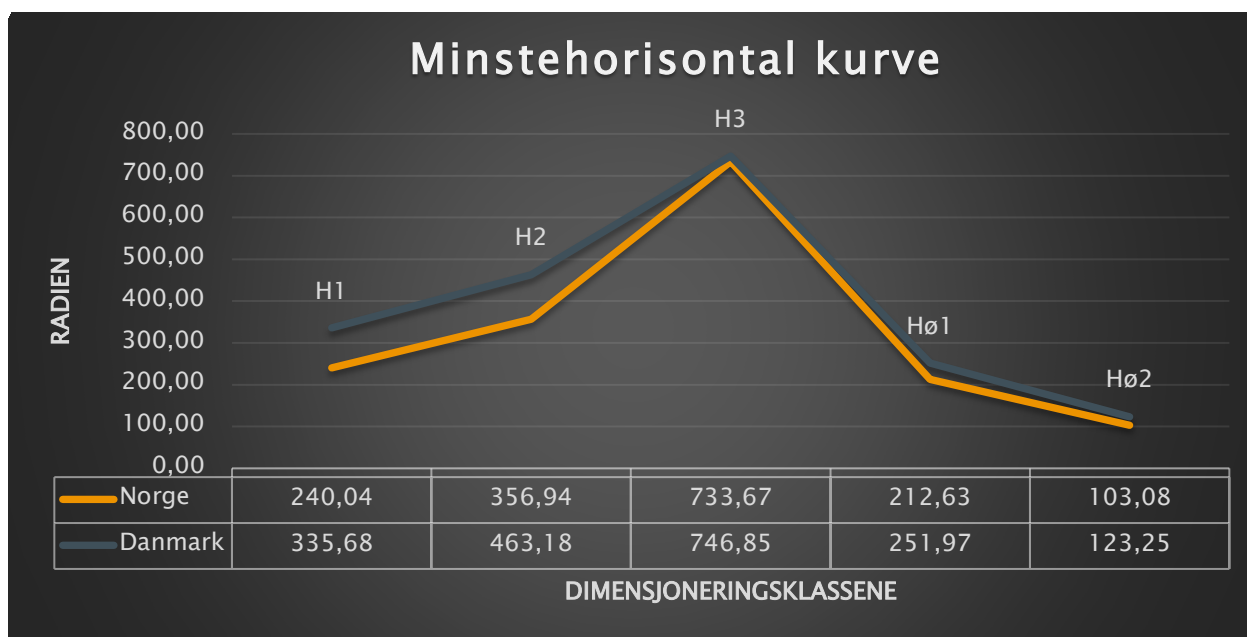
Dimensjonerings klasse	Minstehorisontal kurve $R_{h,min}$	$L_{o,min}$	L_{ved}
H1 (80)	335,68	78,38	51,5
H2 (90)	463,18	87,08	55,4
H3 (110)	746,85	104,5	110,8
Hø1 (80)	251,97	69,67	47,5
Hø2 (60)	123,25	52,25	47,5

Tabell 11: Beregnings resultat fra Danmark

Sammenligning av Resultat Danmark–Norge:

Resultatet fra Danmark i tabellen over blir sammenlignet med resultatet fra Norge i tabell 2.

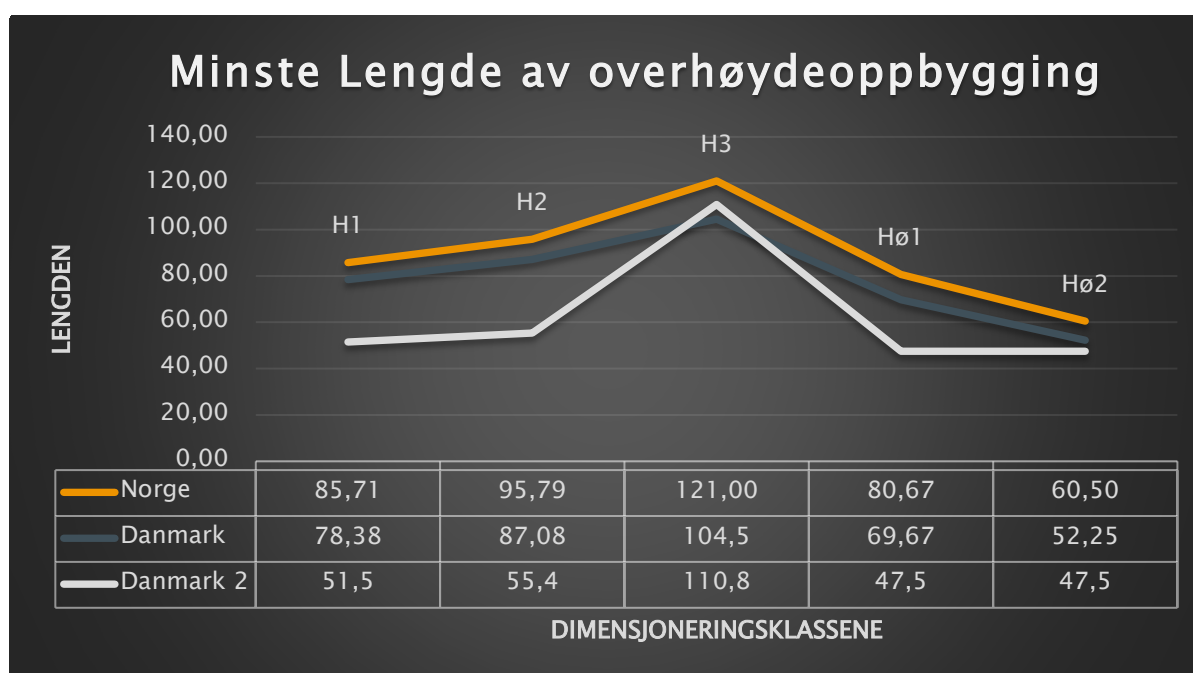
Minstehorisontal Kurveradius:



Figur 28: Sammenlikning av beregningsresultatet for minstehorisontal kurve mellom Norge og Danmark

Resultatet fra Danmark er vist med mørkgrå og den ligger ganske nær det som brukes i Norge bortsett fra verdiene for klasse H1 og H2 som også skal være påvirket av planleggingshastighet valget som ble gjort i tabell 10. Dette viser at bruk av maksoverhøyde på 7% gir ikke så mye virkning på minstehorisontal kuve i forhold til 8%.

Minste lengde av overhøydeoppbygging:



Figur 29: Sammenlikning av beregning resultatet for minste lengde av overhøydeoppbygging mellom Norge og Danmark

Begge resultatene for Danmark er under det Norske men den første beregningen med norske formel og dansk forhold ligger ikke så langt unna. Det trengs litt mindre lengde for å bygge opp til 7% enn 8% men den andre metoden viser litt mer forskjell.

- Resultat for første beregning er vist med mørkgrå farge, denne er gjort med Norske formel $L_{0,min}$ og Dansk forhold. 7% som maksoverhøyde viser at det blir ikke så stor endring på minste lengden i forhold til 8%. Linjen følger den Norske ganske geit.
- Resultatet med Danske formel L_{vend} er vist med lysgrå farge. Her ser vi at det blir mindre lengde for stor sett alle klassene bortsett fra H3 som ligger høyre opp. Lengden regnes ut med bredden av kjørebane som hentes fra tabell 5, der H3 er dobbelt så bredd som H2 og dette gjør at lengden blir mye større.

- Tyskland:

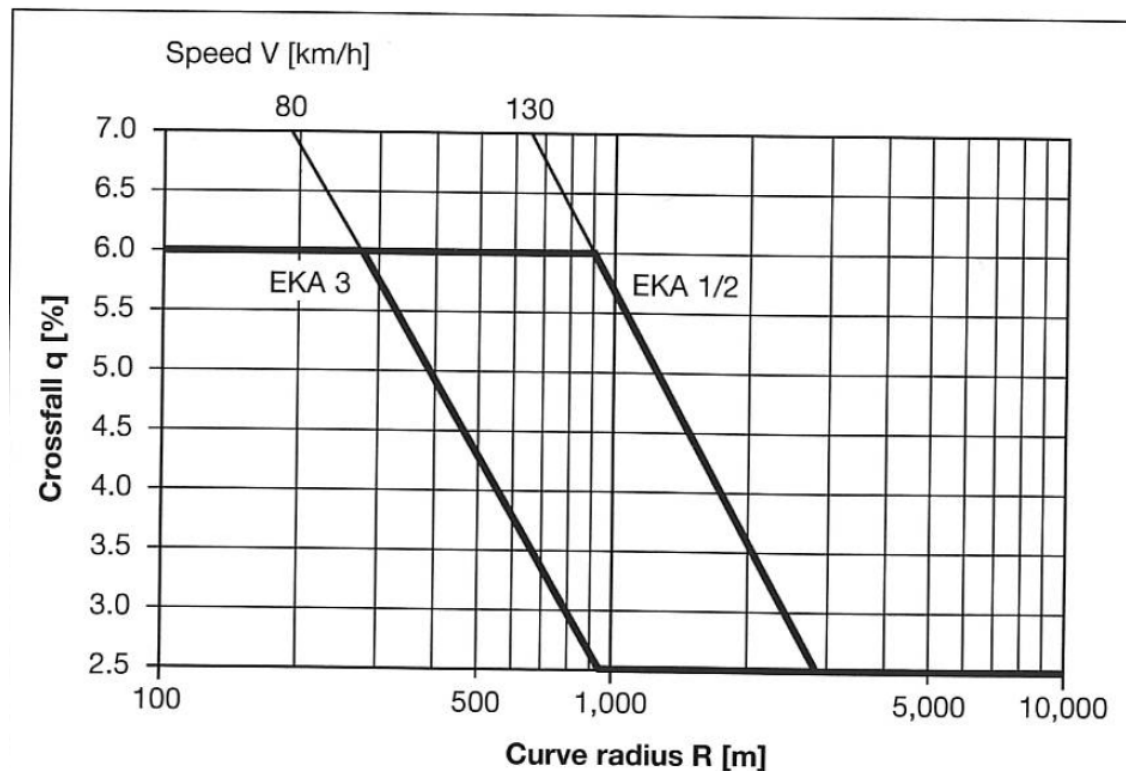
Informasjonen på overhøyde hentes fra Road and Transportation Research Association sin håndbok «Guidelines for the Design of Motorways RAA» fra Kapittel 5.6 til 5.6.3. Sidefriksjon informasjonen hentes fra Appendix 3.

Overhøyde

På rettligne strekninger skal det være enten et takkfall med 2,5% eller en ensidighelning på minst 2,5% ved ett felts veier.

Minimums helning i kurver er 2,5% mens maks overhøyde skal være 6,0% i fleste tilfellene og 7% i noen spesielle tilfeller.

I figuren under er forholdet mellom overhøyde i kurver og kurveradius gitt:



Figur 30: Forholdet mellom overhøyde og kurveradius (Road and Transportation Research Association, 2008/Trans. 2011)

I noen tilfeller hvor helningen er negativ er det nødvendig å ha en begrensning på fart ved våt vegbane. Disse begrensningene er gitt under:

Design class	min R [m]	Speed limit in the wet V_{nass} [km/h]
EKA 1 A	4,000	–
EKA 1 B	3,200	120
EKA 2	1,900	100
EKA 3	1,050	80

Tabell 12: Begrensninger ved våt vegbane (Road and Transportation Research Association, 2008/Trans. 2011)

Oppbygging av overhøyde

For å finne den minste lengden av overhøydeoppbyggingen i vendekurve trengs relativ helning for vegbanen. Den regnes ut av følgende formel:

$$\Delta s = \frac{q_e - q_a}{L_v} a$$

Δs = lengderetningshelningen mellom vegkant og rotasjonsakse i %

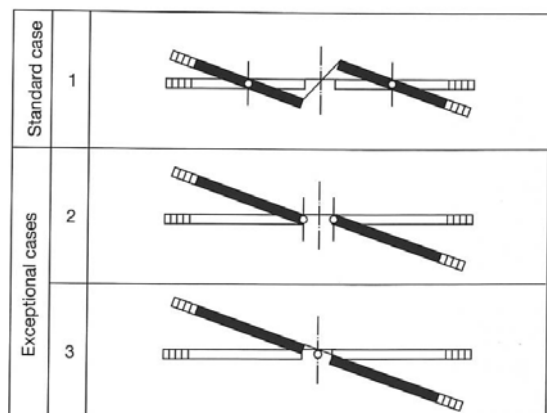
q_e = overhøyden i %

q_a = helning i starten av oppbyggingen i % (er negativ dersom den er heller i motsatt retning av q_e)

L_v = lengde for overhøydeoppbygging i m.

a = avstanden mellom vegkant og rotasjonsaksen i m.

I figuren under er aksene for rotasjon vist. Tilfelle 1 er vanligst, og det er slik det gjøres på motorveger.



Figur 31: Rotasjonsakse ved oppbygging av overhøyde (Road and Transportation Research Association, 2008/Trans. 2011)

For å unngå for store endringer i helningen i oppbyggingen av overhøyden, bør ikke verdiene for Δs i tabellen under overstiges.

Design class	min Δs [%] at $q \leq 2.5\%$	max Δs [%] at $a < 4.00$ m	max Δs [%] at $a \geq 4.00$ m
EKA1, EKA 2	0.10 · a	0.225 · a	0.9
EKA 3		0.25 · a	1.0

a [m]: Distance between the edge of the carriageway and the axis of rotation, max $\Delta s \geq$ min Δs

Tabell 13: Begrensende verdier for Δs (Road and Transportation Research Association, 2008/Trans. 2011)

Den minste distansen som overhøyden kan bygges opp under er gitt av formelen:

$$\min L_v = \frac{q_e - q_a}{\max \Delta s} a$$

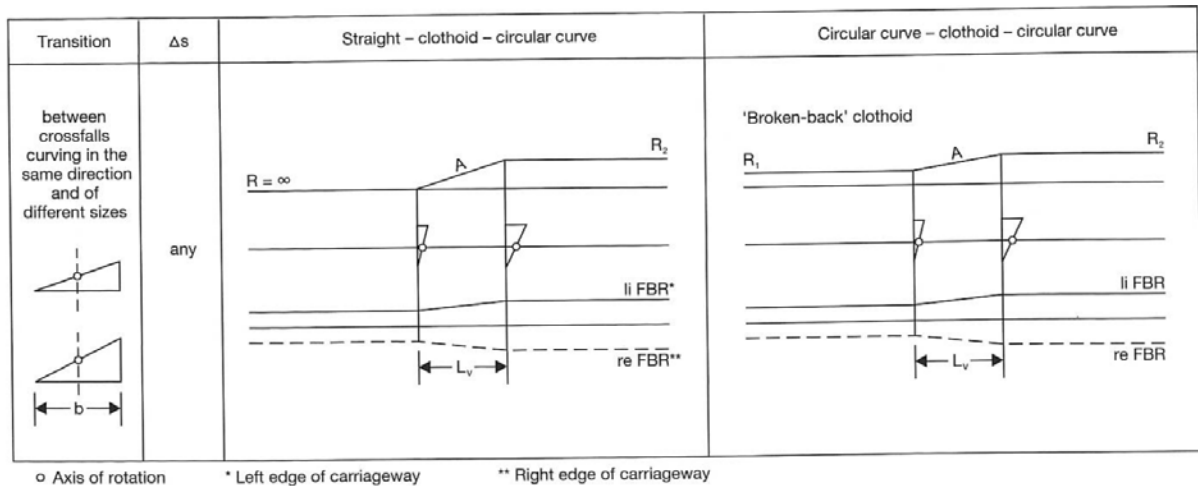
min L_v = minste lengden av overhøydeoppbyggingen i m.

q_e = overhøyde i kurven %

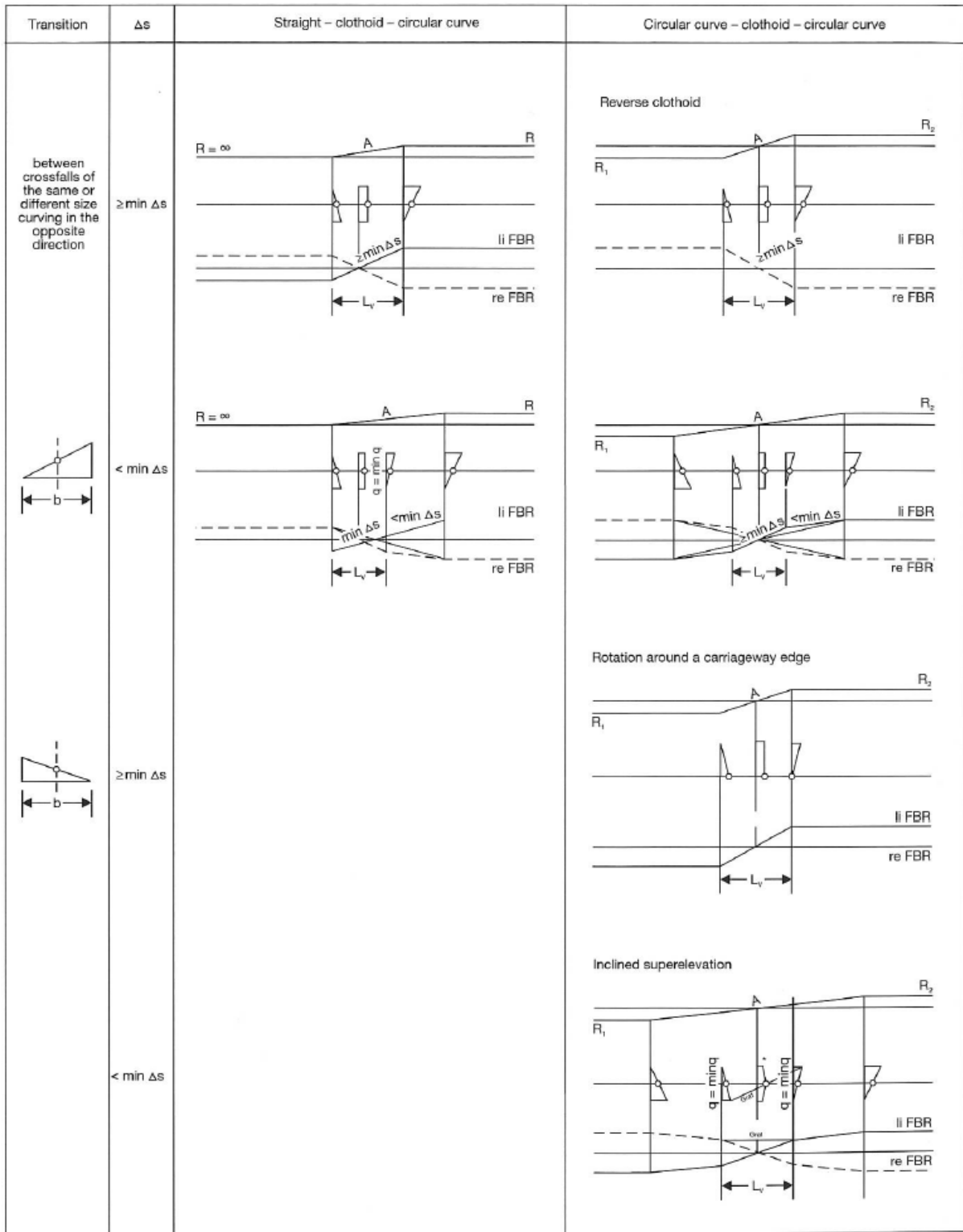
q_a = helning i starten av oppbyggingen i %

a = distansen mellom vegkant og rotasjonsakse i m

max Δs = maks relativ helning i %



Figur 32: L_v under de forskjellige veg kobinasjonene (Road and Transportation Research Association, 2008/Trans. 2011)



o Axis of rotation

* In the area around the inclined superelevation, the axis of rotation submerges into the road and runs straight through.

Figur 33: L_v under de forskjellige veg kobinasjonene (Road and Transportation Research Association, 2008/Trans. 2011)

Beregning:

Dette er metoden som brukes her for beregningen

- Overgang fra en rettlinje til kurva
- Regne ut Horisontal kurven med Tyske forhold og Norsk formel
- Regne ut Minste lengde av overhøydeoppbygging med tyske forhold og Norsk formel
- Regne ut Minste lengde av overhøydeoppbygging med tyske formel

Tyskland bruker denne formelen for minste horisontal kurve som hentes fra Appendix 3 i håndbok «Guidelines for the Design of Motorways RAA»:

$$\min R = \frac{V^2}{3,6^2 \cdot g \cdot (\max f_R \cdot n + q)} = \frac{V^2}{127 \cdot (\max f_R \cdot n + q)}$$

q= Overhøyde

n= utnyttings koeffisient av max f_R

= 0,40 (åpen vei, q=6%)

max f_R = maksimal radiell koeffisient av adhesjon

= 0,925 * max f_T

Max f_T hentes fra denne tabellen, $f_{T,RAA}$.

V	f_T (SRM ₁₉₈₀)	$\mu_{SKM 80}$	$f_{T, RAA}$
30	0.51	0.52	0.45
40	0.46	0.47	0.41
50	0.41	0.44	0.38
60	0.36	0.41	0.36
70	0.32	0.39	0.34
80	0.29	0.37	0.32
90	0.25	0.35	0.30
100	0.23	0.33	0.29
120	0.19	0.30	0.27
130	0.18	0.29	0.25

f_T (SRM₁₉₈₀) [-] = tangential adhesion coefficient, measured using SRM (1980)

μ_{SKM80} [-] = skid resistance value measured using the SKM skid resistance measurement procedure at V = 80 km/h (threshold value in accordance with M BGriff)

$f_{T, RAA}$ [-] = tangential adhesion coefficient, RAA design principles ($f_{T, RAA} = 0.877 \cdot \mu_{SKM80}$)

Tabell 14: avgjørende adhesjon koeffisient (Road and Transportation Research Association, 2008/Trans. 2011)

Formelen blir den samme som blir brukt i Norge når den blir forenklet

der: sidefriksjon $f_k = \max f_R \cdot n$ (pluss sikkerhetsfaktoren fra tabell 4)

$$R_{h,\min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{\max} + f_k)}$$

Det brukes ikke noe fartstillegg for beregning i Tyskland. Det velges en hastighetsklasse som er i nærheten av det som brukes til beregning i Norge.

Dimensjoneringsklasse	Beregningsmessig fart (km/t)	Fartsgrense (km/t), Tyskland
H1 (80)	85	90
H2 (90)	95	100
H3 (110)	120	120
Hø1 (80)	80	80
Hø2 (60)	60	60

Tabell 15: Hastighetsklasser

$$e_{\max} = 6\% \text{ (figur 30)}$$

Beregning for Minste lengde av overhøydeoppbygging skal regnes ut med to metoder, først med Norske formel og Tyske forhold så med Tyske formel.

Beregning med Norske formel:

$$L_{o,\min} = \frac{b \cdot V \cdot e_d}{3,6 \cdot v_{vf}}$$

$L_{o,\min}$ = minste lengde av overhøydeoppbygging i vendekurve

b = avstand mellom høyre og venstre hjul (1.65 m) (kap.2.7 HB.V120)

V = fart i km/h (velge fartsklasse som er nær det som brukes i Norge)

e_d = endring i overhøyde i % = 6% + 2,5 = 8,5%

v_{vf} = relativ vertikalfart i m/s (0.05 m/s for hovedveger, 0.06 m/s for samle- og atkomstveger fra kap.2.10 HB.V120)

Beregning med Tyske formel:

$$\min L_v = \frac{q_e - q_a}{\max \Delta s} a$$

$\min L_v$ = minste lengden av overhøydeoppbyggingen i m.

q_e = overhøyde i kurven=6%

q_a = helning i starten av oppbyggingen =2,5%

a = distansen mellom vegkant og rotasjonsakse i m (Vegbredde fra norske dimensjoneringsklassene i tabell 5)

$\max \Delta s$ = maks relativ helning i %, finnes ut fra tabell 13. H1, 2 og 3 skal være design klasse EKA1,2, Hø1 og 2 skal være EKA 3.

Detaljert beregning er med på beregningsvedlegget

Resultatet på beregningen:

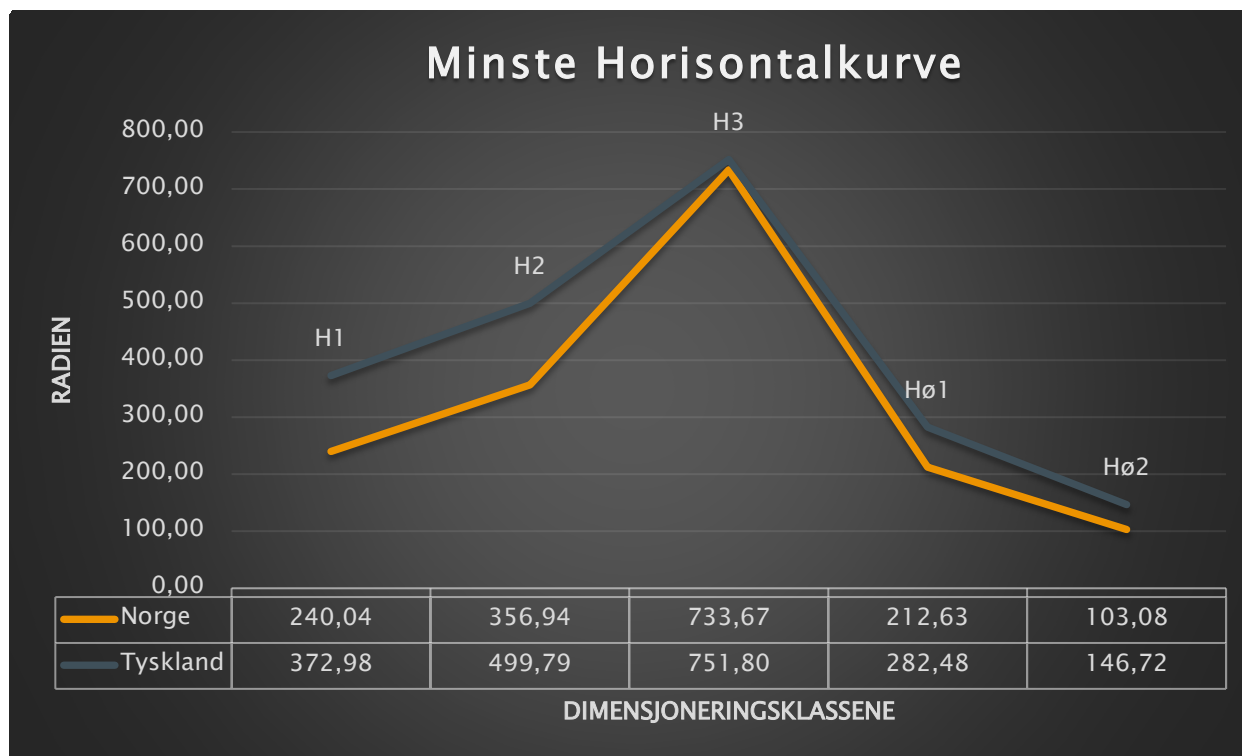
Dimensjoneringsklasse (fartsgrense (km/t))	Minstehorizontale kurve $R_{h,min}$	$L_{o,min}$	$L_{v,min}$
H1 (80)	372,98	78,38	37,8
H2 (90)	499,79	87,08	37,8
H3 (110)	751,80	104,5	66,1
Hø1 (80)	282,48	69,67	34,0
Hø2 (60)	146,72	52,25	34,0

Tabell 16: Beregning resultat fra Tyskland

Sammenlikning av Resultat Tyskland–Norge:

Resultatet fra Tyskland i tabelle 16 blir sammenlignet med resultatet fra Norge i tabell 2.

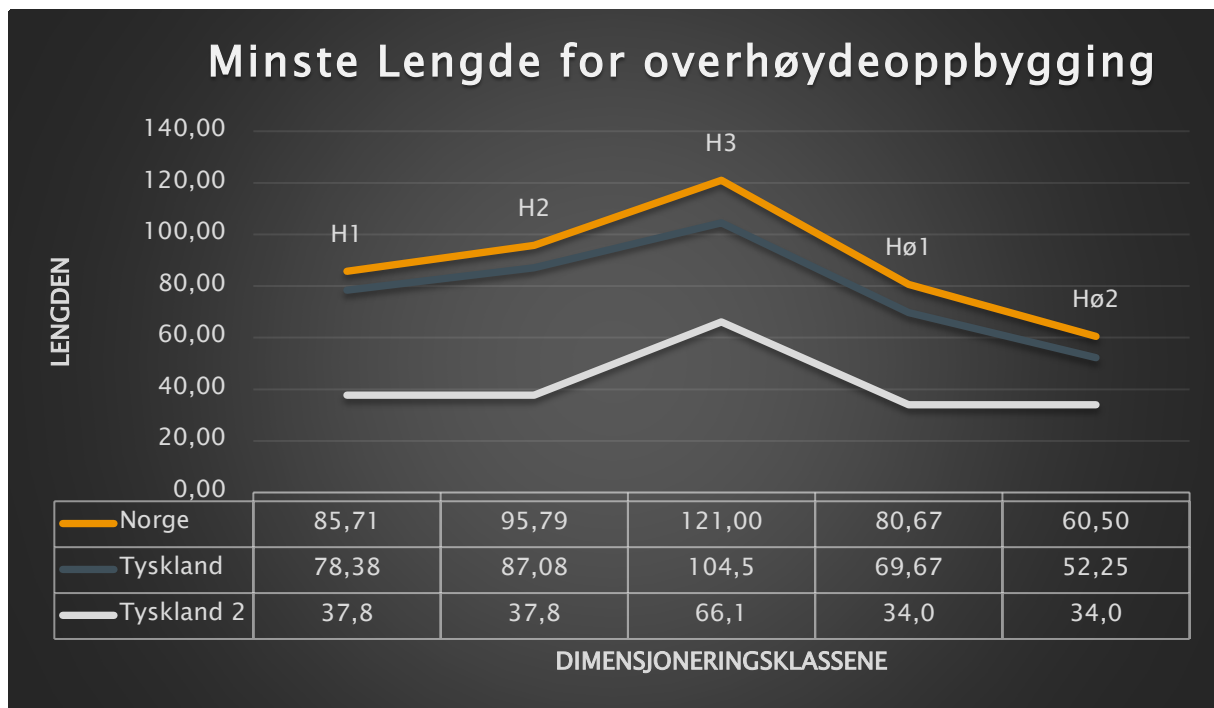
Minstehorisontal Kurveradius:



Figur 34: Sammenlikning av beregningsresultatet for minstehorisontal kurve mellom Norge og Tyskland

Resultatet fra Tyskland er vist med mørkgrå og her blir det litt mer forskjell enn det som var med Danmark men ikke så mye som det var med Sverige. Her blir klasse H3 ganske nær mens litt større forskjell på H1 og H2 som også her blir påvirket av hastighet valget som ble gjort i tabell 15. Dette viser at valg av maksoverhøyde på 6% gir litt mer virkning på minstehorisontal kurve enn 7% i forhold til 8%.

Minste lengde av overhøydeoppbygging:



Figur 35: Sammenlikning av beregning resultatet for minste lengde av overhøydeoppbygging mellom Norge og Tyskland

Begge resultatene for Tyskland er under det Norske men den første beregningen ligger ikke så langt unna verdiene i Norge men den andre beregningen gir ganske stor forskjell.

- Resultat for første beregning er vist med mørkgrå farge, denne er gjort med Norske formel $L_{0,min}$ og Tysk forhold. Maksoverhøyde på 6% gir litt mindre minimums lengder enn det som brukes i dag med 8%
- Resultatet med Tyske formel $L_{v,min}$ er vist med lysgrå farge. Her blir det ganske stor forskjell der alle klassene ender opp med mindre verdier og vi ser at klasse H3 spretter opp igjen på lik linje med det som ble i Sverige og Danmark. Lengden regnes ut med distansen mellom vegkant og rotasjonsakse som blir det samme som vegbredde fra tabell 5, der bredden på H3 større enn de andre dimensjoneringsklassene.

- Storbritannia:

Overhøyde informasjonen hentes ifra publikasjon «Highways link design» kapitel 3.2.

Overhøyde

Ved rettlinje strekninger med to eller flere kjørefelt er det normalt med et takkfall på 2,5% og ved ett kjørefelt skal det være ensidighelning.

I kurver skal det være minst en helning på 2,5%, mens maks overhøyde er 7%. I urbane områder er maks overhøyde satt til 5%.

Overhøyden kan beregnes ut fra følgende formel:

$$S = \frac{V^2}{2.828 \times R}$$

V = hastighet som vegen er designet for i km/h

R = horisontalkurveradius i m

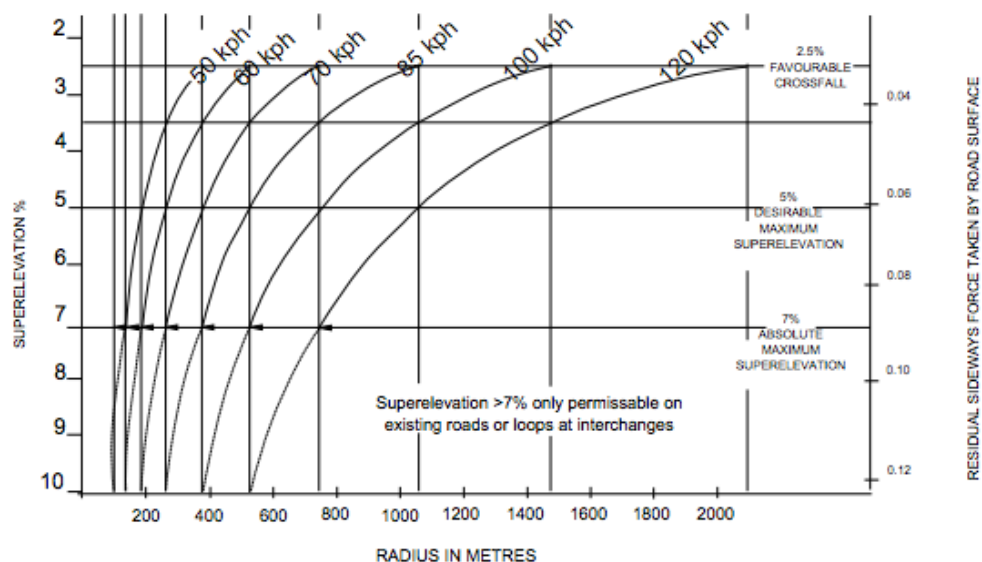
S = overhøyde i %

Hastighet som vegen er designet for og fartsgrenser er gitt i tabellen under:

SPEED LIMIT		DESIGN SPEED
MPH	KPH	KPH
30	48	60B
40	64	70A
50	80	85A
60	96	100A

Tabell 17: Forhold mellom farten vegen er designet for, og fartsgrense. (The Highways Agency/Scottish executive development department/The National Assembly for Wales/The department for regional development Northern Ireland, 2002)

Ut fra figuren under kan overhøyden ble funnet ut ved å bruke hastighet og horisontalkurveradius. Sidefriksjonskoeffisienten er også oppgitt i samme figuren.



Figur 36: Overhøyde i forhold til radius, design speed og sidefriksjon (The Highways Agency/Scottish executive development department/The National Assembly for Wales/The department for regional development Northern Ireland, 2002)

Det er en grense på hvor små horisontalkurvene til en gitt overhøyde og designhastighet kan være. Disse kravene er gitt i tabellen under:

DESIGN SPEED kph	120	100	85	70	60	50	V^2/R
STOPPING SIGHT DISTANCE m							
Desirable Minimum	295	215	160	120	90	70	
One Step below Desirable Minimum	215	160	120	90	70	50	
HORIZONTAL CURVATURE m.							
Minimum R* without elimination of Adverse Camber and Transitions	2880	2040	1440	1020	720	520	5
Minimum R* with Superelevation of 2.5%	2040	1440	1020	720	510	360	7.07
Minimum R* with Superelevation of 3.5%	1440	1020	720	510	360	255	10
Desirable Minimum R with Superelevation of 5%	1020	720	510	360	255	180	14.14
One Step below Desirable Minimum R with Superelevation of 7%	720	510	360	255	180	127	20
Two Steps below Desirable Minimum Radius with Superelevation of 7%	510	360	255	180	127	90	28.28
VERTICAL CURVATURE							
Desirable Minimum* Crest K Value	182	100	55	30	17	10	
One Step below Desirable Min Crest K Value	100	55	30	17	10	6.5	
Absolute Minimum Sag K Value	37	26	20	20	13	9	
OVERTAKING SIGHT DISTANCES							
Full Overtaking Sight Distance FOSD m.	*	580	490	410	345	290	
FOSD Overtaking Crest K Value	*	400	285	200	142	100	

Tabell 18: Minimums horisontalkurveradius som er ønsket i forhold til overhøyde og designhastighet. (The Highways Agency/Scottish executive development department/The National Assembly for Wales/The department for regional development Northern Ireland, 2002)

Oppbygging av overhøyde

Minste lengde for overhøydeoppbygging regnes ut med denne formelen:

$$L = \frac{V^3}{46.7 \times q \times R}$$

L = minste lengde av overhøydeoppbyggingen i m

V = Designfarten i km/h

q = økningen i sentrifugalakselerasjonen ved forflytning langs kurvens bane i m/s³
(normalt q = 0,3m/s³) (Standard for highways–kap.3)

R = kurveradius i m

Overhøyden skal generelt bli bygd opp innenfor strekningen L, men strekningen som blir tilpasset designfarten vil ofte resultere i for kort lengde. Dermed er det ofte nødvendig å forlenge strekningen.

Formelen over skal ikke brukes hvis horisontalkurveradiusen er mindre enn radiene som er oppgitt i Tabell 18.

Beregning:

Dette er metoden som brukes her for beregningen

- Overgang fra en rettlinje til kurva
- Regne ut Horisontal kurven med Norsk formel og Storbritanniasforhold
- Regne ut Minste lengde av overhøydeoppbygging med Norsk formel og Storbritannia forhold
- Regne ut Horisontal kurven med Storbritannias formel
- Regne ut Minste lengde av overhøydeoppbygging med Storbritannias formel

Storbritannia bruker en annen formel for minste horisontal kurve:

$$S = \frac{V^2}{2.828 \times R}$$

Så i denne delen kommer det til å bli regnet ut to horisontal kurver, en med Norsk formel og en med Storbritannias formel.

Norsk formel:

$$R_{h,\min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{\max} + f_k)}$$

Storbritannia har design speed for beregning av horisontal kurve vist i figur 36 og tabell 17/18. Det velges en design speed som er lik eller nesten lik det som brukes til beregning i Norge.

Dimensjoneringsklasse	Beregningsmessig fart (km/t)	Design Speed (kph), Storbritannia
H1 (80)	85	85
H2 (90)	95	100
H3 (110)	120	120
Hø1 (80)	80	85
Hø2 (60)	60	60

Tabell 19: Hastighetsklasser

Verdien for sidefriksjon kan hentes fra figur 36, her brukes det en konstant verdi for alle klassene som bestemmes av overhøyden. Det blir tatt hensyn til sikkerhetsfaktor som brukes i Norge fra tabell 4.

$$e_{\max} = 7\% \Rightarrow f_k = 0,09$$

Beregning med Storbritannias formel for $R_{h,\min}$:

$$S = \frac{V^2}{2.828 \times R}$$

V = Design speed kph

R = horisontalkurveradius i m

S = overhøyde i % = 7%

Minste lengde av overhøydeoppbygging skal regnes ut med to metoder, først Norske formel med Storbritannia forhold så med Storbritannia sin formel.

Beregning med Norske formel:

$$L_{o,\min} = \frac{b \cdot V \cdot e_d}{3,6 \cdot v_{vf}}$$

$L_{o,\min}$ = minste lengde av overhøydeoppbygging i vendekurve

b = avstand mellom høyre og venstre hjul (1.65 m) (kap.2.7 HB.V120)

V = Design speed kph

e_d = endring i overhøyde i % = 7%+2,5=9,5%

v_{vf} = relativ vertikalfart i m/s (0.05 m/s for hovedveger, 0.06 m/s for samle- og atkomstveger fra kap.2.10 HB.V120)

Beregning med Storbritannia formel for L:

$$L = \frac{V^3}{46.7 \times q \times R}$$

L = minste lengde av overhøydeoppbyggingen i m

V = Design speed kph

q = økningen i sentrifugalakselerasjonen ved forflytning langs kurvens bane i m/s^3 (normalt $q = 0,3m/s^3$) (Standard for highways–kap.3)

R = kurveradius i m

Verdien for q er normalt $0,3m/s^3$ og kan finnes i kapittel 3 fra publikasjon «Standard for highways».

Detaljert beregning er med på beregningsvedlegget

Resultatet på beregningen:

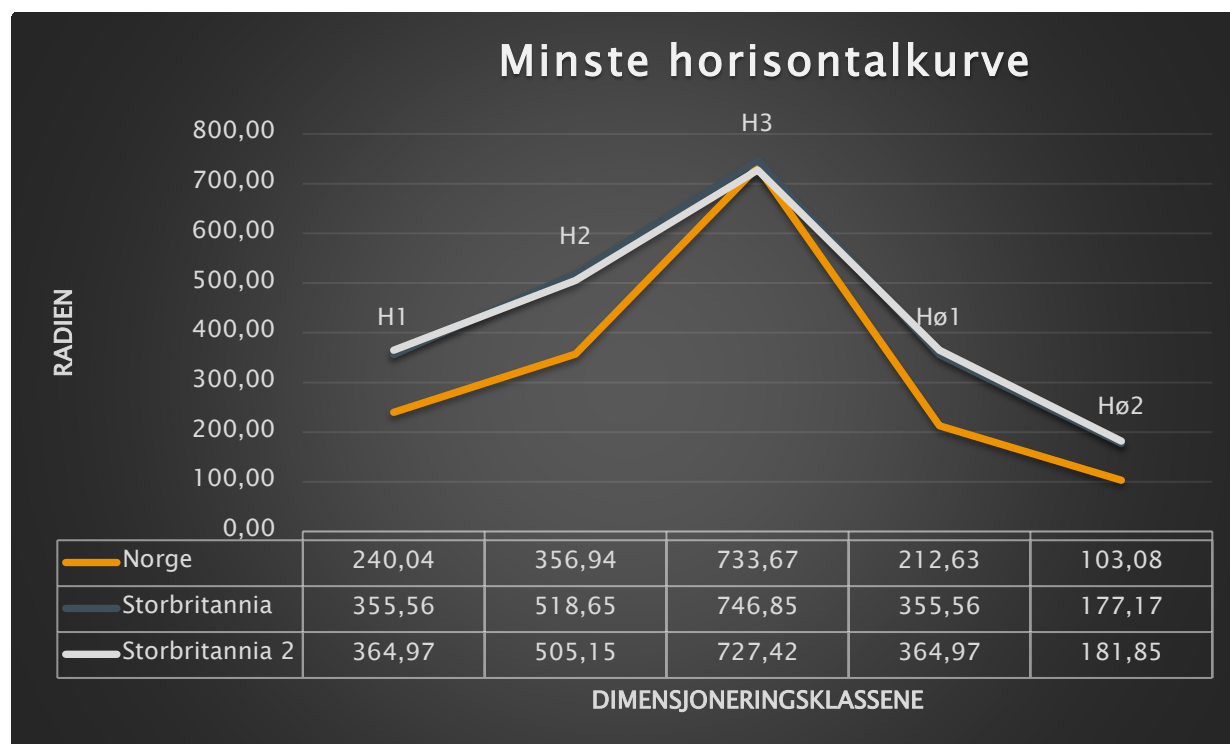
Dimensjonering klasse (km/t)	Minstehorisontal kurve $R_{h,min}$	$L_{o,min}$	Storbritannia Minstehorisontal kurve R_h	L
H1 (80)	355,56	74,02	364,97	120,10
H2 (90)	518,65	87,08	505,15	141,30
H3 (110)	746,85	104,50	727,42	169,56
Hø1 (80)	355,56	74,02	364,97	120,10
Hø2 (60)	177,17	52,25	181,85	84,78

Tabell 20: Beregnings resultat fra Storbritannia

Sammenligning av Resultat Storbritannia–Norge:

Resultatet fra Storbritannia i tabellen blir sammenlignet med resultatet fra Norge i tabell 2.

Minstehorisontal Kurveradius:



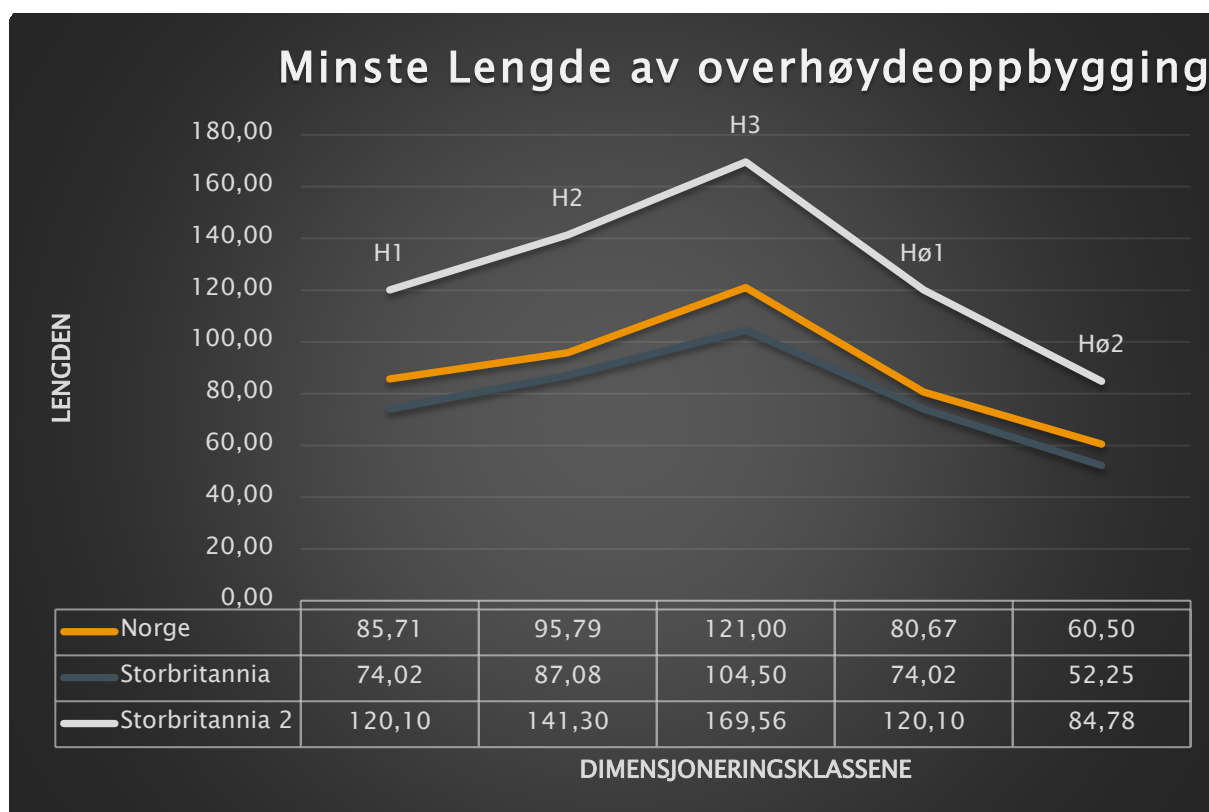
Figur 37: Sammenlikning av beregningsresultatet for minstehorisontal kurve mellom Norge og Storbritannia

Begge resultatene for Storbritannia ligger stor sett over det Norske verdiene bortsett fra klasse H3 som blir nesten lik. Her brukes det samme friksjon verdi på alle klassene som blir diktert av overhøyden 7% i figur 36, dette har gjort at verdiene ble påvirket ikke bare av endringen av overhøyden men også av friksjonen i forhold til Norge.

Design speed valget fra tabell 19 kan ha påvirket H2 og Hø1.

- Resultat for første beregning er vist med mørkgrå farge, denne er gjort med Norske formel $L_{0,min}$ og Storbritanniasforhold.
- Resultatet med Storbritanniasformel er vist med lysgrå farge.

Minste lengde av overhøydeoppbygging:



Figur 38: Sammenlikning av beregning resultatet for minste lengde av overhøydeoppbygging mellom Norge og Storbritannia

De to beregningene for Storbritannia gir forskjellig resultat, den ene gir større lengder i alle klassene enn det norske mens den andre gir kortere lengder.

- Resultat for første beregning er vist med mørkgrå farge, denne er gjort med Norske formel $L_{0,min}$ og Storbritannias maksoverhøyde på 7%, dette gir oss litt mindre minste lengder i forhold til 8% men forskjellen er ikke så stor.
- Resultatet med storbritanniasformel L er vist med lysgrå farge. Beregnings metoden er annerledes og gir en større minste legder enn metoden som brukes i Norge. Formelen setter større fokus på hastigheten og radien på kuven tas med for å bestemme lengden som gjør at det gir blir større verdi for minste lengden enn det som brukes i Norge.

- USA:

Informasjonen av overhøyden hentes ifra håndboken til American Association of State Highway and Transportation Officials « A Policy on Geometric Design of Highways and streets » fra Kapittel 3

Overhøyde

Ved rettlinjestrækninger er takfallet normalt på 1,5 – 2,0% på veier med to eller flere felt. Samme med ensidigfallet ved ett felts veier.

I kurver er minimum helning 2%, mens maks overhøyde varierer ut fra forholdene. 12% er største maks overhøyde men det er 10% som er generelt mest brukte og i områder hvor snø og is kan forekomme er det mest vanlig med en 8%.

For å beregne overhøyden kan følgende sammenhenger og formel brukes:

$$\frac{0.01e + f}{1 - 0.01ef} = \frac{v^2}{gR} = \frac{0.0079V^2}{R} = \frac{V^2}{127R}$$

e = overhøyde i %

f = sidefriksjonskoeffesient

v = fart i m/s

g = gravitasjonskonstant, 9,81 m/s²

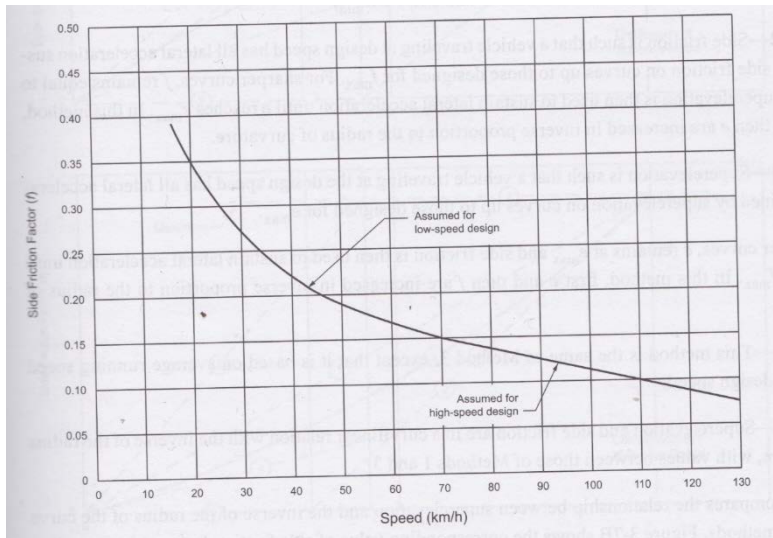
V = fart i km/h

R = svingradius

Vegens sidefriksjonskoeffesient kan beregnes ut fra følgende formel:

$$f = \frac{V^2}{127R} - 0.01e$$

Den kan også bestemmes fra figuren under eller tabell 18 ut ifra forholdet til farten:



Figur 39: Sidefriksjonskoeffisient med hensyn på fart (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

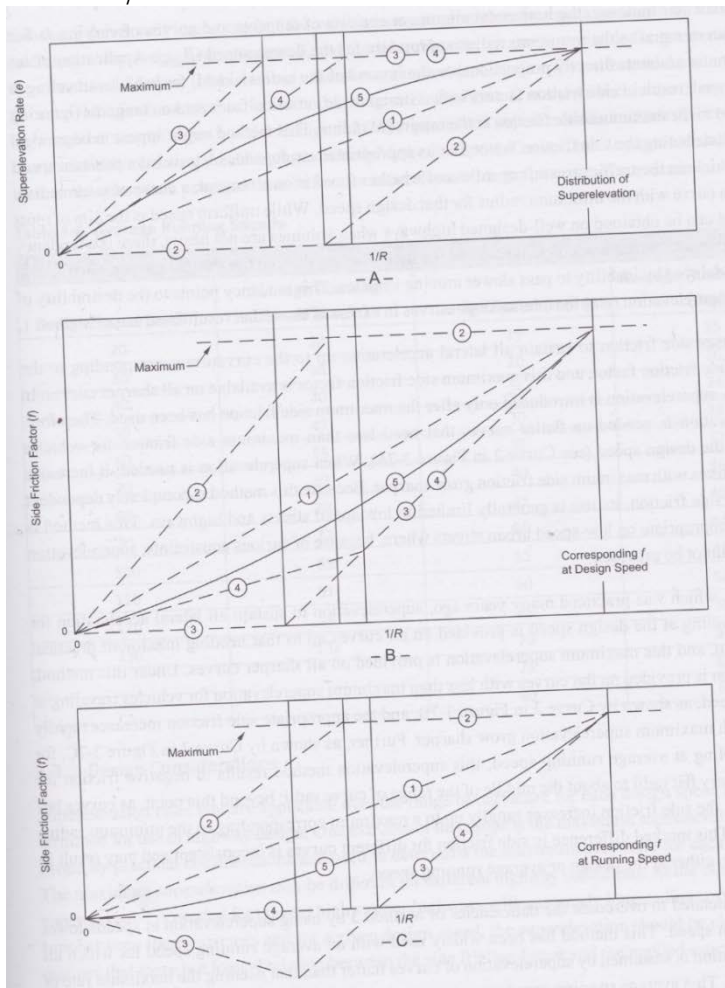
Design Speed (km/h)	Maximum e (%)	Maximum f
15	12.0	0.40
20	12.0	0.35
30	12.0	0.28
40	12.0	0.23
50	12.0	0.19
60	12.0	0.17
70	12.0	0.15
80	12.0	0.14
90	12.0	0.13
100	12.0	0.12
110	12.0	0.11
120	12.0	0.09
130	12.0	0.08

Tabell 21: Sidefriksjonskoeffisient med hensyn på fart og maks overhøyde (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

En annen måte som brukes for å opprettholde sentrifugalakselerasjonen i en kurve er å se på designfarten for vegen og e eller f eller begge. Den består av fem metoder som er beskrevet under:

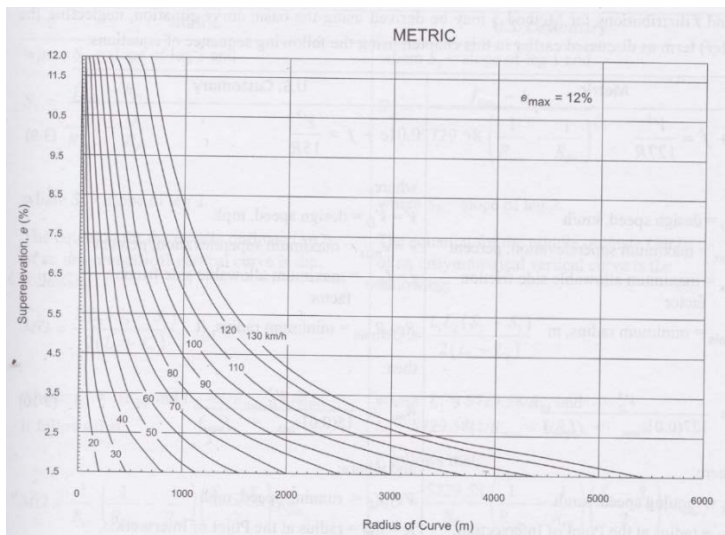
- Metode 1. - Overhøyden og sidefriksjonen en proporsjonale i forhold til $1/R$.

- Metode 2. - Sidefriksjonen er i størrelsesordenen slik at kjøretøyet holder kurvens bane i designfarten ved en overhøyde opp til e_{max} .
- Metode 3. - Overhøyden er i størrelsesordenen slik at kjøretøyet holder kurvens bane ved designfart opp til en overhøyde på e_{max} .
- Metode 4. - Samme som Metode 3., men gjennomsnittlig fart er farten kjøretøyet holder og ikke designfarten.
- Metode 5. - Overhøyde og sidefriksjon er eksponentielle i forhold til $1/R$.



Figur 40: Sammenhengene mellom Metode 1-5 vist (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

Ut fra Metode 5 som er forklart over visser figur 41 sammenheng mellom kurveradius, overhøyde og fart utviklet. Dette er et alternativ dersom sidefriksjonen ikke er oppgitt.



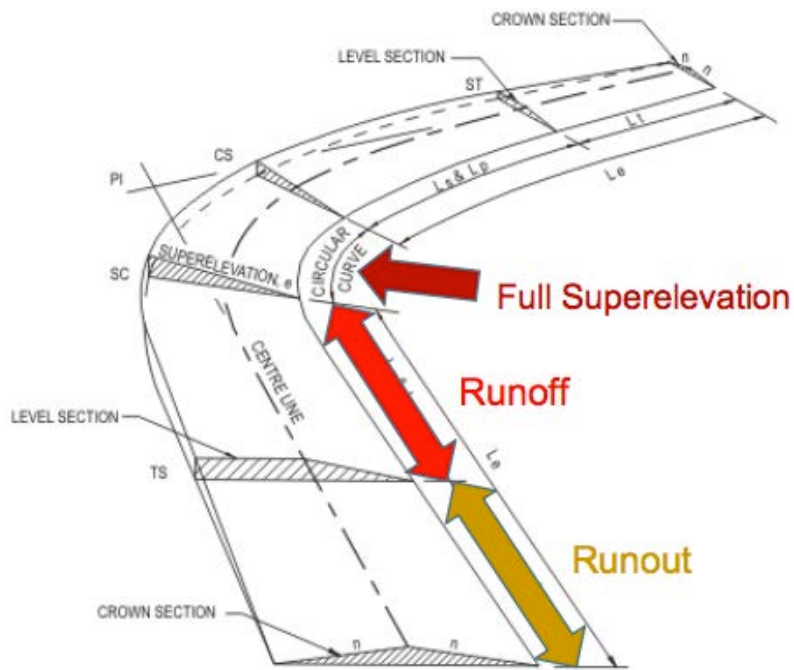
Figur 41: Forholdet mellom overhøyde, kurveradius og fart (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

Oppbygging av overhøyde

USA har to metoder for beregning av minste lengde av overhøydeoppbygging, en ved direkte overgang uten klotoide som kalles Tangent to Curve transition og en ved overgang med klotoide.

Tangent to Curve transition:

Ved bruk av Tangent to Curve metode blir lengden av overhøydeoppbyggingen bestående av to deler, 'Runoff' L_r og 'Runout' L_t . Runoff er strekningen hvor helningen går fra 0% til ønsket overhøyde, og runout er strekningen hvor helningen går fra opprinnelig overhøyde til 0% i helning. Runout er avhengig av runoff. På figur 42 er det vist hvordan disse to komponentene henger sammen.



Figur 42: Oppbygningen av overhøyde i vendekurve (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

Lengden av runoff regnes ut fra formelen:

$$L_r = \frac{(wn_1)e_d}{\Delta} (b_w)$$

L_r = minste lengde av runoff i m

w = bredden av kjørefelt i m, (vanligvis 3,6m)

n_1 = antall felt som endres

e_d = overhøyde i %

b_w = justeringsfaktor for antall kjørefelt

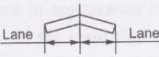

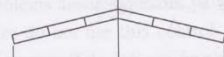



Δ = maks relativ gradient i %

Verdiene for Δ , n_1 og b_w kan bestemmes fra tabell 22 og 23:

Design Speed (km/h)	Metric	
	Maximum Relative Gradient (%)	Equivalent Maximum Relative Slope
20	0.80	1:125
30	0.75	1:133
40	0.70	1:143
50	0.65	1:154
60	0.60	1:167
70	0.55	1:182
80	0.50	1:200
90	0.47	1:213
100	0.44	1:227
110	0.41	1:244
120	0.38	1:263
130	0.35	1:286

Tabell 22: Maks relativ gradient, Δ . (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

Metric			U.S. Customary		
Number of Lanes Rotated, n_1	Adjustment Factor,* b_w	Length Increase Relative to One- Lane Rotated, (= $n_1 b_w$)	Number of Lanes Rotated, n_1	Adjustment Factor,* b_w	Length Increase Relative to One- Lane Rotated, (= $n_1 b_w$)
1	1.00	1.0	1	1.00	1.0
1.5	0.83	1.25	1.5	0.83	1.25
2	0.75	1.5	2	0.75	1.5
2.5	0.70	1.75	2.5	0.70	1.75
3	0.67	2.0	3	0.67	2.0
3.5	0.64	2.25	3.5	0.64	2.25

One Lane Rotated	Two Lanes Rotated	Three Lanes Rotated
 <p>Normal Section</p>	 <p>Normal Section</p>	 <p>Normal Section</p>
 <p>Rotated Lane</p>	 <p>Rotated Lanes</p>	 <p>Rotated Lanes</p>

* $b_w = [1 + 0.5 (n_1 - 1)] / n_1$

Tabell 23: Justeringsfaktor for antall kjørefelt endret (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

Lengden av runout regnes ut fra formelen:

$$L_t = \frac{e_{NC}}{e_d} L_r$$

L_t = minste lengde av runout i m

e_{NC} = normal helling i %

e_d = Overhøyde i %

L_r = minste lengde av runoff i m

L_r og L_t vil til sammen utgjøre den minste lengden av overhøydeoppbyggingen.

Runoff er parameteren kan også ble funnet fra tabellen under, istedenfor å bruke formelen for å regne den ut. Tabellen angir de verdiene som brukes mest, og er vanligst. Ut fra disse verdiene kan også runout regnes ut ved å bruke den runoff verdien som passer best.

		Metric																														
		V _f = 20 km/h		V _f = 30 km/h		V _f = 40 km/h		V _f = 50 km/h		V _f = 60 km/h		V _f = 70 km/h		V _f = 80 km/h		V _f = 90 km/h		V _f = 100 km/h		V _f = 110 km/h		V _f = 120 km/h		V _f = 130 km/h								
		Number of Lanes Rotated. Note that 1 lane rotated is typical for a 2-lane highway, 2 lanes rotated is typical for a 4-lane highway, etc. (See Table 3-16.)																														
e (%)		1		2		1		2		1		2		1		2		1		2		1		2		1		2				
		L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)	L _r (m)		
1.5	7	10	7	11	8	12	8	13	9	14	10	15	11	16	12	17	12	18	13	20	14	21	15	23	17	24	18	26	19	28	21	31
2.0	9	14	10	14	10	15	11	17	12	18	13	20	14	22	16	24	17	25	18	27	19	29	21	31	23	34	24	32	23	34	25	37
2.2	10	15	11	16	11	17	12	18	13	20	14	22	16	24	17	26	19	28	20	30	21	32	23	34	25	37	27	40	29	43	31	46
2.4	11	16	12	17	12	19	13	20	14	22	16	24	17	26	18	28	20	29	21	32	23	34	25	37	27	40	31	43	33	49	35	52
2.6	12	18	12	19	13	20	14	22	16	23	17	25	18	27	20	29	22	31	23	35	25	37	26	39	28	42	30	45	33	49	35	52
2.8	13	19	13	20	14	22	16	23	17	25	18	27	20	30	21	32	23	34	25	37	27	40	29	43	31	46	33	50	37	59	41	62
3.0	14	20	14	22	15	23	17	25	18	27	20	29	22	32	24	35	26	39	28	42	30	45	33	49	35	52	41	57	44	63	52	68
3.2	14	22	15	23	16	25	18	27	19	29	21	31	23	35	25	37	26	39	28	42	30	45	32	48	35	52	41	57	44	63	52	68
3.4	15	23	16	24	17	26	19	28	20	31	22	33	24	37	26	39	28	42	30	45	32	48	35	52	41	57	44	63	52	68	52	68
3.6	16	24	17	26	19	28	20	30	22	32	24	35	26	39	28	41	29	44	32	47	34	51	37	56	43	61	48	65	53	71	59	77
3.8	17	26	18	27	20	29	21	32	23	34	25	37	27	41	29	44	31	47	33	50	36	54	39	59	45	64	51	68	55	80	61	86
4.0	18	27	19	29	21	31	22	33	24	36	26	39	29	43	31	46	33	49	35	53	38	57	41	62	48	69	56	74	62	81	70	90
4.2	19	28	20	30	22	32	23	35	25	38	27	41	30	45	32	48	34	51	36	54	39	58	42	63	45	68	55	75	64	79	88	99
4.4	20	30	21	32	23	34	24	37	26	40	29	43	32	48	34	51	36	54	39	58	42	63	45	68	55	75	64	79	88	99	110	121
4.6	21	31	22	33	24	35	25	38	28	41	30	45	33	50	35	53	38	56	40	61	44	65	47	71	58	76	65	81	90	101	112	
4.8	22	32	23	35	25	37	27	40	29	43	31	47	35	52	37	55	39	59	42	63	45	68	49	74	61	77	70	85	94	105	116	
5.0	23	34	24	36	26	39	28	42	30	45	33	49	36	54	38	57	41	61	44	66	47	71	51	76	64	79	72	87	96	107	118	
5.2	23	35	25	37	27	40	29	43	31	47	34	51	37	56	40	60	43	64	46	68	49	74	61	77	70	85	94	105	116	127	138	
5.4	24	36	26	39	28	42	30	45	32	49	35	53	39	58	41	62	44	66	47	71	51	77	64	81	72	87	80	95	106	117	128	
5.6	25	38	27	40	29	43	31	47	34	50	37	55	40	60	43	64	46	69	49	74	61	79	66	83	74	89	100	111	122	133	144	
5.8	26	39	28	42	30	45	32	48	35	52	38	57	42	63	44	67	47	71	51	76	64	81	72	87	78	93	104	115	126	137	148	
6.0	27	41	29	43	31	46	33	50	36	54	39	59	43	65	46	69	49	74	61	79	66	83	74	89	100	111	122	133	144	155	166	
6.2	28	42	30	45	32	48	34	52	37	56	41	61	45	67	47	71	51	76	64	82	73	88	79	94	105	116	127	138	149	160	171	
6.4	29	43	31	46	33	49	35	53	38	58	42	63	46	69	49	74	61	79	66	84	75	90	81	96	107	118	129	140	151	162	173	
6.6	30	45	32	48	34	51	37	55	40	59	43	65	48	71	51	76	64	81	72	87	78	93	104	115	126	137	148	159	170	181	192	
6.8	31	46	33	49	35	52	38	56	41	61	45	67	49	73	52	78	66	83	74	89	100	111	122	133	144	155	166	177	188	199	210	
7.0	31	47	34	50	36	54	39	58	42	63	46	69	50	76	54	80	67	76	85	94	103	112	121	130	139	148	157	166	175	184	193	
7.2	32	49	35	52	37	56	40	60	43	65	47	71	52	78	55	83	70	79	88	97	106	115	124	133	142	151	160	169	178	187	196	
7.4	33	50	36	53	38	57	41	61	44	67	48	73	53	80	57	85	61	91	65	97	107	116	125	134	143	152	161	170	179	188	197	
7.6	34	51	36	55	39	59	42	63	46	68	50	75	55	82	58	87	62	93	67	100	110	119	128	137	146	155	164	173	182	191	200	
7.8	35	53	37	56	40	60	43	65	47	70	51	77	56	84	60	90	64	96	68	103	113	122	131	140	149	158	167	176	185	194	203	
8.0	36	54	38	58	41	62	44	66	48	72	52	79	58	86	61	92	65	98	70	105	114	123	132	141	150	159	168	177	186	195	204	
8.2	37	55	39	59	42	63	45	68	49	74	54	81	59	89	63	94	67	101	72	108	117	126	135	144	153	162	171	180	189	198	207	
8.4	38	57	40	60	43	65	47	70	50	76	55	82	60	91	64	97	69	103	74	111	120	129	138	147	156	165	174	183	192	201	210	
8.6	39	58	41	62	44	66	48	71	52	77	56	84	62	93	66	99	70	106	76	113	122	131	140	149	158	167	176	185	194	203	212	
8.8	40	59	42	63	45	68	49	73	53	79	58	86	63	95	67	101	72	108	77	116	125	134	143	152	161	170	179	188	197	206	215	
9.0	40	61	43	65	46	69	50	75	54	81	59	88	65	97	69	103	74	110	79	119	128	137	146	155	164	173	182	191	200	209	218	
9.2	41	62	44	66	47	71	51	76	55	83	60	90	66	99	70	106	75	113	81	121	130	139	148	157	166	175	184	193	202	211	220	
9.4	42	63	45	68	48	73	52	78	56	85	62	92	68	102	72	108	77	115	83	124	133	142	151	160	169	178	187	196	205	214	223	
9.6	43	65	46	69	49	74	53	80	58	86	63	94	69	104	74	110	79	118	84	126	135	144	153	162	171	180	189	198	207	216	225	
9.8	44	66	47	71	50	76	54	81	59	88	64	96	71	106	75	113	80	120	86	129	138	147	156	165	174	183	192	201	210	219	228	
10.0	45	68	48	72	51	77	55	83	60	90	65	98	72	108	77	115	82	123	88	132	141	150	159	168	177	186	195	204	213	222	231	
10.2	46	69	49	73	52	79	56	85	61	92	67	100	73	110	78	117	83	125	90	134	143	152	161	170	179	188	197	206	215	224	233	
10.4	47	70	50	75	53	80	58	86	62	94	68	102	75	112	80	119	85	128	91	137	146	155	164	173	182	191	200	209	218	227	236	
10.6	48	72	51	76	55	82	59	88	64	96	69	104	76	114	81	122	87	130	93	140	149	158	167	176	185	194	203	212	221	230	239	
10.8	49	73	52	78	56	83	60	90	65	97	71	106	78	117	83	124	88															

Klotoider:

Ved bruk av klotoider blir minste lengden av overhøydeoppbygningen bestående av minste klotoide legden $L_{s,min}$ og 'Runout' L_t . Klotoide lengden erstatter Runoff delen og da blir overhøyden bygd opp fra 0% til ønsket overhøyde under denne lengden. Under runout går helningen fra opprinnelig overhøyde til 0% lik under forrige metoden. Runout er avhengig av minste klotoide legden i dette tilfelle.

Minste legden av klotoiden kan regnes ut med to formler og den største verdi mellom de to skal brukes.

$$L_{s,min} = \sqrt{24(p_{min})R} \quad , \quad L_{s,min} = 0.0214 \frac{V^3}{RC}$$

$L_{s,min}$ = Minste klotoide lengde

P_{min} = Minimum sideforskyvning mellom tangent og sirkulær kurve (0,20 m)

R = Radius av kurven

V = Design hastighet

C = Maksimal endringshastighet ved sideakselerasjon (1,2 m/s³)

Lengden av runout regnes ut fra formelen:

$$L_t = \frac{e_{NC}}{e_d} L_s$$

L_t = minste lengde av runout i m

e_{NC} = Takkfall helling %

e_d = Overhøyde %

$L_{s,min}$ = Minste klotoide lengde

$L_{s,min}$ og L_t vil til sammen utgjøre den minste lengden av overhøydeoppbyggingen.

Beregning:

Dette er metoden som brukes her for beregningen

- Overgang fra en rettlinje til kurva
- Regne ut Horisontal kurven med USA sin forhold
- Regne ut Minste lengde av overhøydeoppbygging med Norsk formel og USA sin forhold
- Regne ut Minste lengde av overhøydeoppbygging med USA sin formel for de to metodene

USA bruker den samme formelen for minste horisontal kurve:

$$R_{h,\min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{\max} + f_k)}$$

Det brukes design speed for beregningen i henhold til «A Policy on Geometric Design of Highways and Streets– Kap. 3» og som vist på tabell 21. Det velges en design speed som er i nærheten av beregningsfarten i Norge.

Dimensjoneringsklasse	Beregningsmessig fart (km/t)	Design Speed (km/t), USA
H1 (80)	85	90
H2 (90)	95	100
H3 (110)	120	120
Hø1 (80)	80	80
Hø2 (60)	60	60

Tabell 25: Hastighetsklasser

Sidefriksjon kan hentes fra figur 39 eller tabell 21 for de ulike klassene og det tas hensyn til sikkerhetsfaktoren som brukes i Norge fra tabell 4.

Maks og minimums overhøyde som brukes til beregningen:

$$e_{\max} = 12\% , e_{\min} = 2\%$$

Minste lengde av overhøydeoppbygging skal regnes ut med to metoder, først Norske formel med USA sin forhold så med USA sin formel for de to metodene.

Beregning med Norske formel:

$$L_{0,\min} = \frac{b \cdot V \cdot e_d}{3,6 \cdot v_{vf}}$$

$L_{0,\min}$ = minste lengde av overhøydeoppbygging i vendekurve

b = avstand mellom høyre og venstre hjul (1.65 m) (kap.2.7 HB.V120)

V = Design Speed km/h

e_d = endring i overhøyde i % = 12%+2=14%

v_{vf} = relativ vertikalfart i m/s (0.05 m/s for hovedveger, 0.06 m/s for samle- og atkomstveger fra kap.2.10 HB.V120)

Beregning med Tangent to curve metoden:

$$L = L_r + L_t$$

Lengden av runoff regnes ut med formelen:

$$L_r = \frac{(wn_1)e_d}{\Delta} (b_w)$$

L_r = minste lengde av runoff i m

w = bredden av kjørefelt i m, (felt breddene fra tabell 5)

n_1 = antall felt som endres

e_d = overhøyde 12%

b_w = justeringsfaktor for antall kjørefelt

Δ = maks relativ gradient i %

Verdiene for Δ , n_1 og b_w hentes fra tabell 22 og 23

Lengden av runout regnes ut med formelen:

$$L_t = \frac{e_{NC}}{e_d} L_r$$

L_t = minste lengde av runout i m

e_{NC} = normal helling=2%

e_d = Overhøyde=12%

L_r = minste lengde av runoff i m

Beregning med klotoide metoden:

Minste legden av klotoiden kan regnes ut med to formler og den største verdi mellom de to skal brukes.

$$L_{s,\min} = \sqrt{24(p_{\min})R} \quad , \quad L_{s,\min} = 0.0214 \frac{V^3}{RC}$$

$L_{s,\min}$ = Minste klotoide lengde

p_{\min} = Minimum sideforskyvning mellom tangent og sirkulær kurve = 0,20 m

R = Radius av kurven

V = Design hastighet

C = Maksimal endringshastighet ved sideakselerasjon = 1,2 m/s³

Lengden av runout regnes ut fra formelen:

$$L_t = \frac{e_{NC}}{e_d} L_s$$

L_t = minste lengde av runout i m

e_{NC} = Takkfall helling = 2%

$e_d = \text{Overhøyde} = 12\%$

$L_{s,\min} = \text{Minste klotoide lengde}$

$L_{s,\min}$ og L_t vil til sammen utgjøre den minste lengden av overhøydeoppbyggingen.

Detaljert beregning er med på beregningsvedlegget

Resultatet på beregningen:

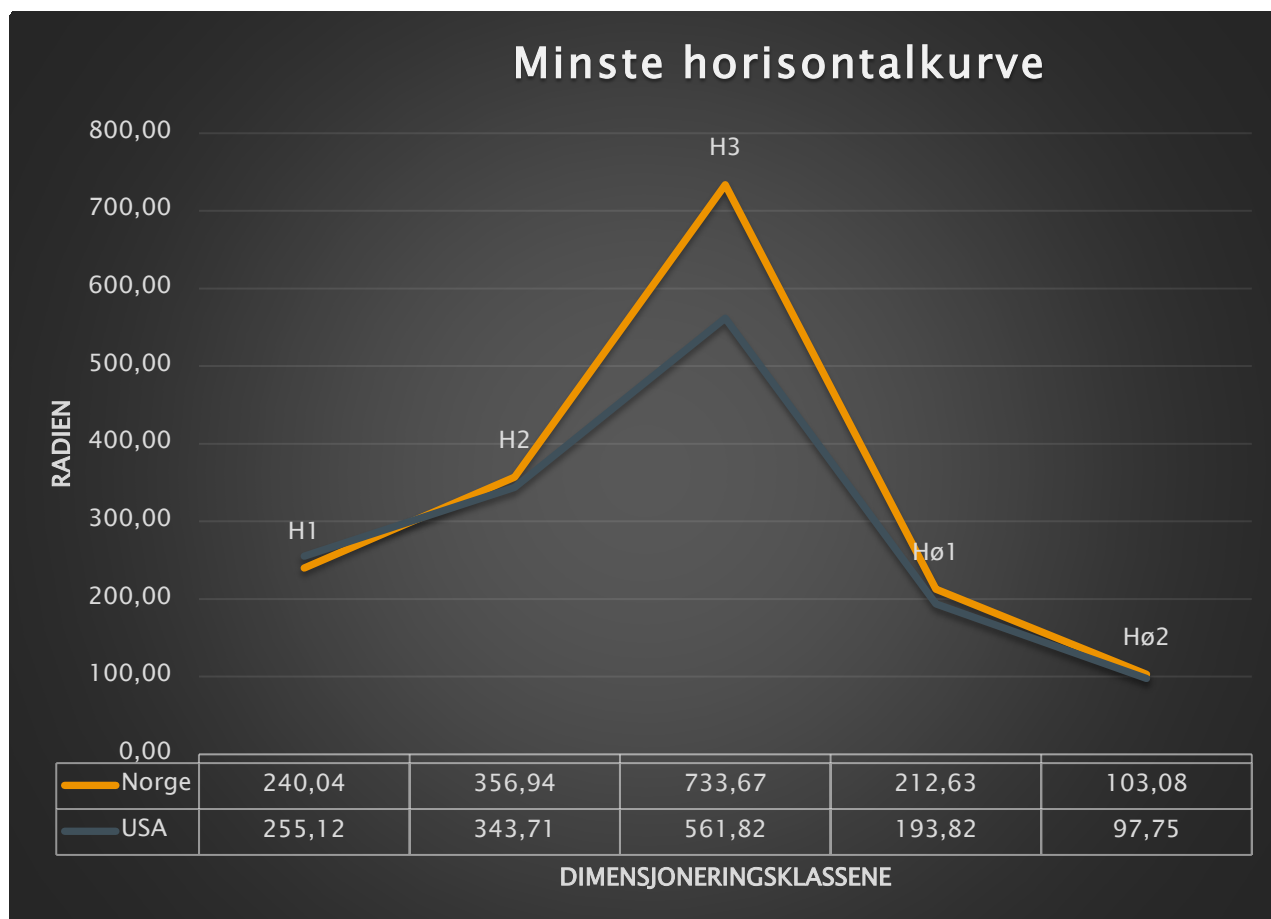
Dimensjonerings- klasse (km/t)	Minstehorisontal kurve $R_{h,\min}$	$L_{o,\min}$	$L_t + L_r$	$L_t + L_s$
H1 (80)	255,12	115,50	96,81	59,45
H2 (90)	343,71	128,33	111,36	60,53
H3 (110)	561,82	154,00	193,42	63,99
Hø1 (80)	193,82	102,67	84,00	54,96
Hø2 (60)	97,75	77,00	70,00	45,98

Tabell 26: Resultatet fra USA

Sammenligning av Resultat USA–Norge:

Resultatet fra USA i tabellen over blir sammenlignet med resultatet fra Norge i tabell 2.

Minstehorisontal Kurveradius:

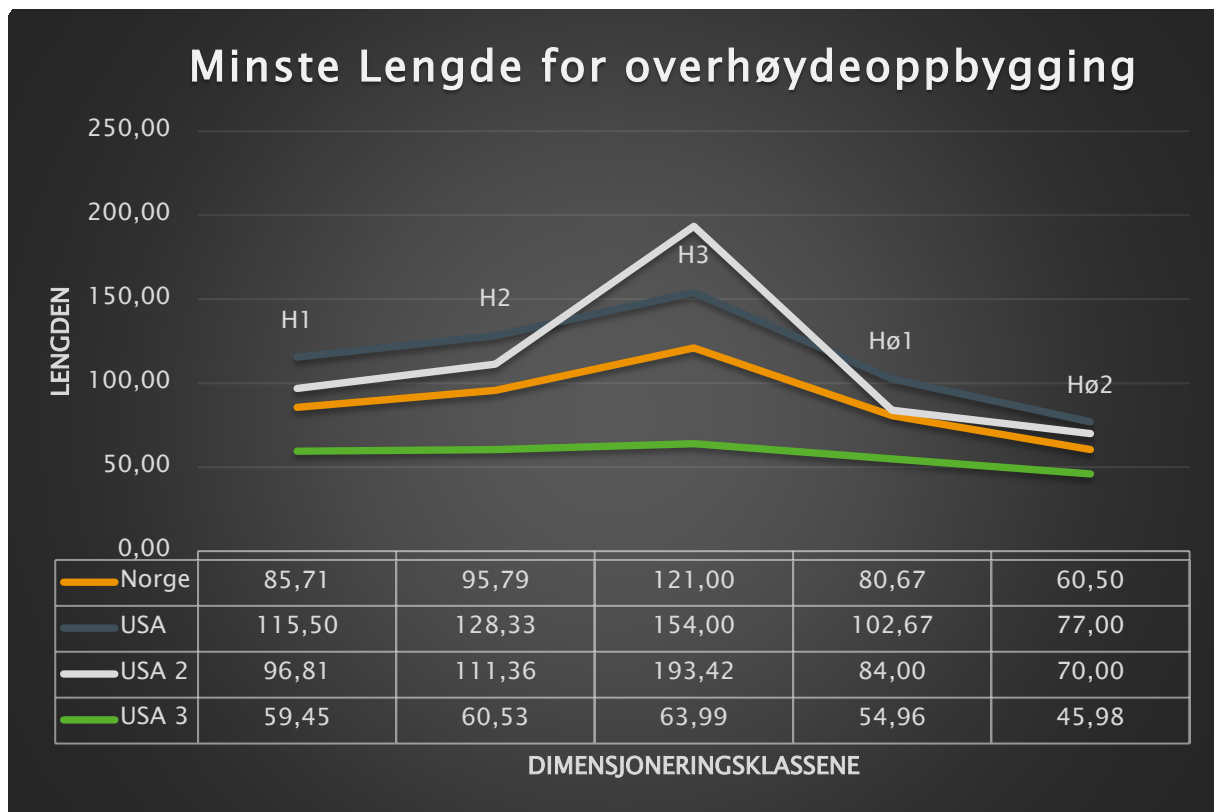


Figur 43: Sammenlikning av beregningsresultatet for minstehorisontal kurve mellom Norge og USA

Resultatet fra USA er vist med mørkgrå og den stemmer ganske greit med norske beregningene eneste unntagelsen er ved dimensjoneringsklasse H3.

Her virker det som at endringen av maks overhøyden til 12% istedenfor 8% er mot arbeidet av USA's sidefriksjon som til slutt fører til en lignende verdi på det norske.

Minste lengde av overhøydeoppbygging:



Figur 44: Sammenlikning av beregning resultatet for minste lengde av overhøydeoppbygging mellom Norge og USA

De tre beregningene for lengde i USA gir litt forskjellig resultat, to av dem gir litt større lengder enn det Norske mens den siste gir mye mindre verdier.

- Resultat for første beregning er vist med mørkgrå farge, denne er gjort med Norske formel $L_{0,min}$ og USA's forhold. Her blir naturlig at det blir større minste lengder når maks overhøyde 12% trenger mer lengde å bygge opp enn 8%.
- Resultatet for USA's formel L_t+L_r med «tangent to curve metoden» er vist med lysgrå farge. Her ligger verdiene litt nærmere norske verdier i forhold til den første beregning. Klasse H3 skiller seg litt ut og blir litt større enn de andre på grunn av at L_r runoff påvirkes av felt breddene på de forskjellige dimensjoneringsklassene fra tabell 5.
- Resultatet for USA's formel L_t+L_s med overgangskurve/klotoide er vist med grønn farge. Her ligger verdien en del under de andre beregningene.

- Sammenligning av resultatene:

Oversikt over verdiene og formlene som ble funnet tidligere i Kapittel 4.

Takkfall ved rett linje:

Land	Norge	Sverige	Danmark	Tyskland	Storbritannia	USA
Helning [%]	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	1,5 - 2,0
Kommentar	I alle landene gjelder følgende: <ul style="list-style-type: none"> - To eller flere felt: takfall - Ett felt: ensidig fall 					

Tabell 27: Minimums fall ved takfall i de ulike landene

Overhøyden ved en kurve:

Land	Maks overhøyde [%]	Kommentar
Norge	8	
Sverige	5,5	Ved fart under 40km/h trengs ikke mer enn 2,5%
Danmark	7	
Tyskland	6	I spesielle tilfeller kan denne oppjusteres til 7%
Storbritannia	7	I urbane områder er maks 5%.
USA	12	I områder hvor is og snø kan forekommer er maks 8%. 10% er mest brukt ellers selv om maks er 12%

Tabell 28: Maks Overhøyde i de ulike landene

Formlene til minste lengde for overhøydeoppbygging:

Land	Formel	Parametere
Norge	$L_{0,min} = \frac{b * V * e_d}{3,6 * v_{vf}}$	<ul style="list-style-type: none"> - $L_{0, min}$ = minste lengde av overhøydeoppbygging i vedndekurve - b = avstand mellom høyre og venstre hjul (1.65 m) - V = fart i km/h - e_d = endring i overhøyde i % - v_{vf} = relativ vertikalfart i m/s (0.05 m/s for hovedveger, 0.06 m/s for samle- og atkomstveger)

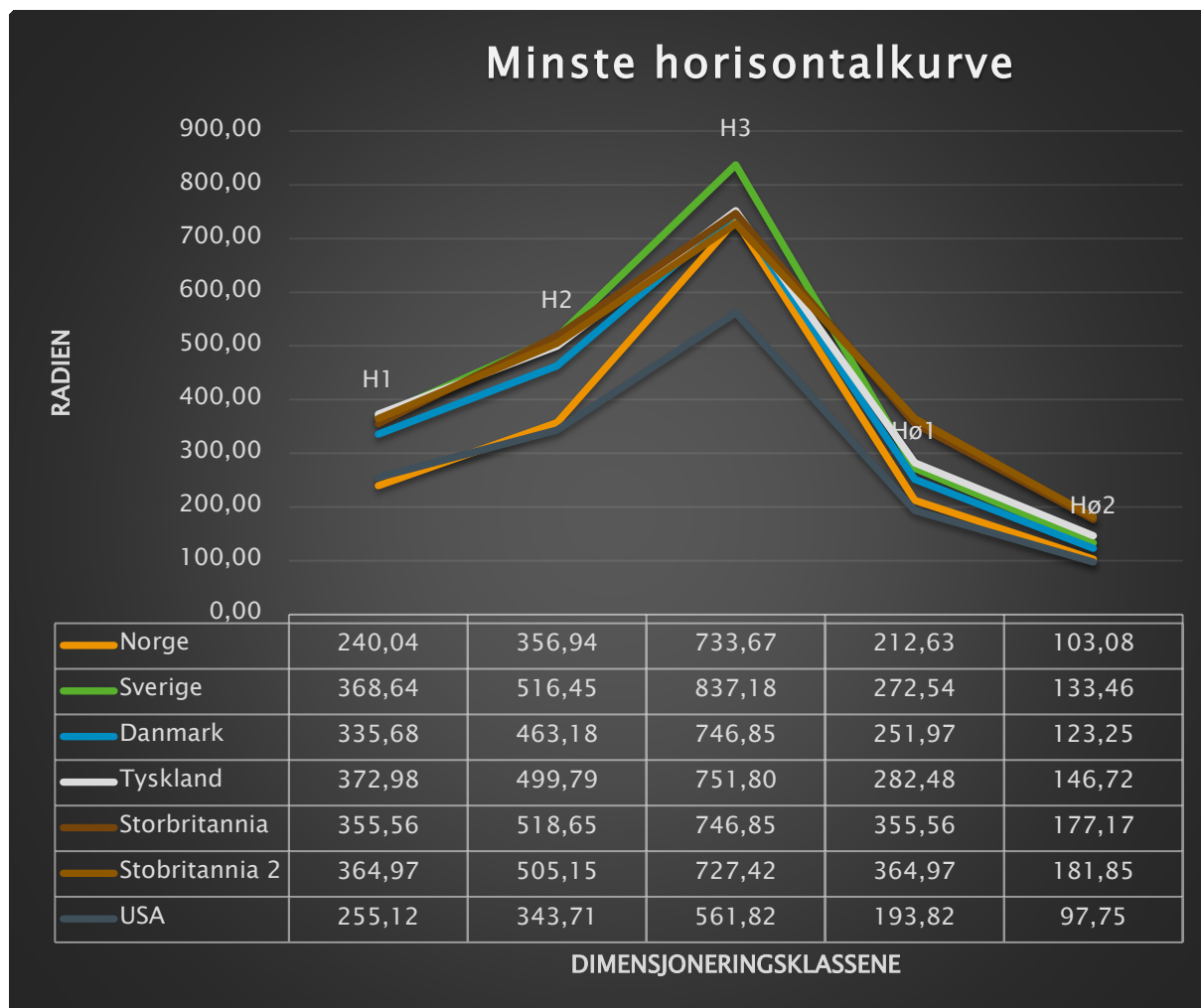
Sverige	$U = \Delta E \% * I_h$	<ul style="list-style-type: none"> - U = minste lengden for overhøydeoppbygging i vendekurve - $\Delta E \% =$ overhøydeforskjell - $I_h =$ lengde for 1% helningsforskjell
Danmark	$L_{vend} = (i_{r,e,1} - i_{r,e,2}) * \frac{b}{0,006}$	<ul style="list-style-type: none"> - $L_{vend} =$ minste lengden på overhøydeoppbygningen i kurve i m - $i_{r,e,1} =$ overhøyde før lengde - $i_{r,e,2} =$ overhøyde etter lengde - b = bredde kjørebane
Tyskland	$\min L_V = \frac{q_e - q_a}{\max \Delta s} a$	<ul style="list-style-type: none"> - $L_V =$ lengde for oppbygging av overhøyde i m. - $q_e =$ overhøyden i % - $q_a =$ helning i starten av oppbygningen i % (er negativ dersom den er heller i motsatt retning av q_e) - $\Delta s =$ lengderetningshelningen mellom vegkant og rotasjonsakse i % - a = avstanden mellom vegkant og rotasjonsaksen i m.
Storbritannia	$L = \frac{V^3}{46,7 * q * R}$	<ul style="list-style-type: none"> - L = minste lengde av overhøydeoppbygningen i vendekurve i m - V = Designfarten i km/h - q = økningen i sentrifugalakselerasjonen ved forflytning langs kurvens bane i m/s^3 (normalt $q = 0,3m/s^3$)

		<ul style="list-style-type: none"> - R = kurveradius i m
USA	<p>Tangent to curve metoden:</p> $L_r = \frac{(wn_1)e_d}{\Delta}(b_w)$ $L_t = \frac{e_{NC}}{e_d}L_r$ <p>$L_r + L_t$ = minste lengde av overhøydeoppbyggingen i vendekurve i m</p>	<ul style="list-style-type: none"> - L_r = minste lengde av runoff i m - w = bredden av kjørefelt i m, (vanligvis 3,6m) - n_1 = antall felt som endres - e_d = overhøyde i % - b_w = justeringsfaktor for antall kjørefelt - Δ = maks relativ gradient i % - L_t = minste lengde av runout i m - e_{NC} = opprinnelig helling i %
USA	<p>Med klotoider:</p> $L_{s,min} = \sqrt{24(p_{min})R}$ $L_{s,min} = 0.0214 \frac{V^3}{RC}$ $L_t = \frac{e_{NC}}{e_d} L_s$	<ul style="list-style-type: none"> - $L_{s,min}$ = Minste klotoide lengde - P_{min} = Minimum sideforskyvning mellom tangent og sirkulær kurve = 0,20 m - R = Radius av kurven - V = Design hastighet - C = Maksimal endringshastighet ved sideakselerasjon = 1,2 m/s³ - L_t = minste lengde av runout i m - e_{NC} = Takkfall helling = 2% - e_d = Overhøyde = 12% - $L_{s,min}$ = Minste klotoide lengde

Tabell 29: De ulike formlene for beregning av minste lengde for overhøydeoppbygging

Norge–Alle landene:

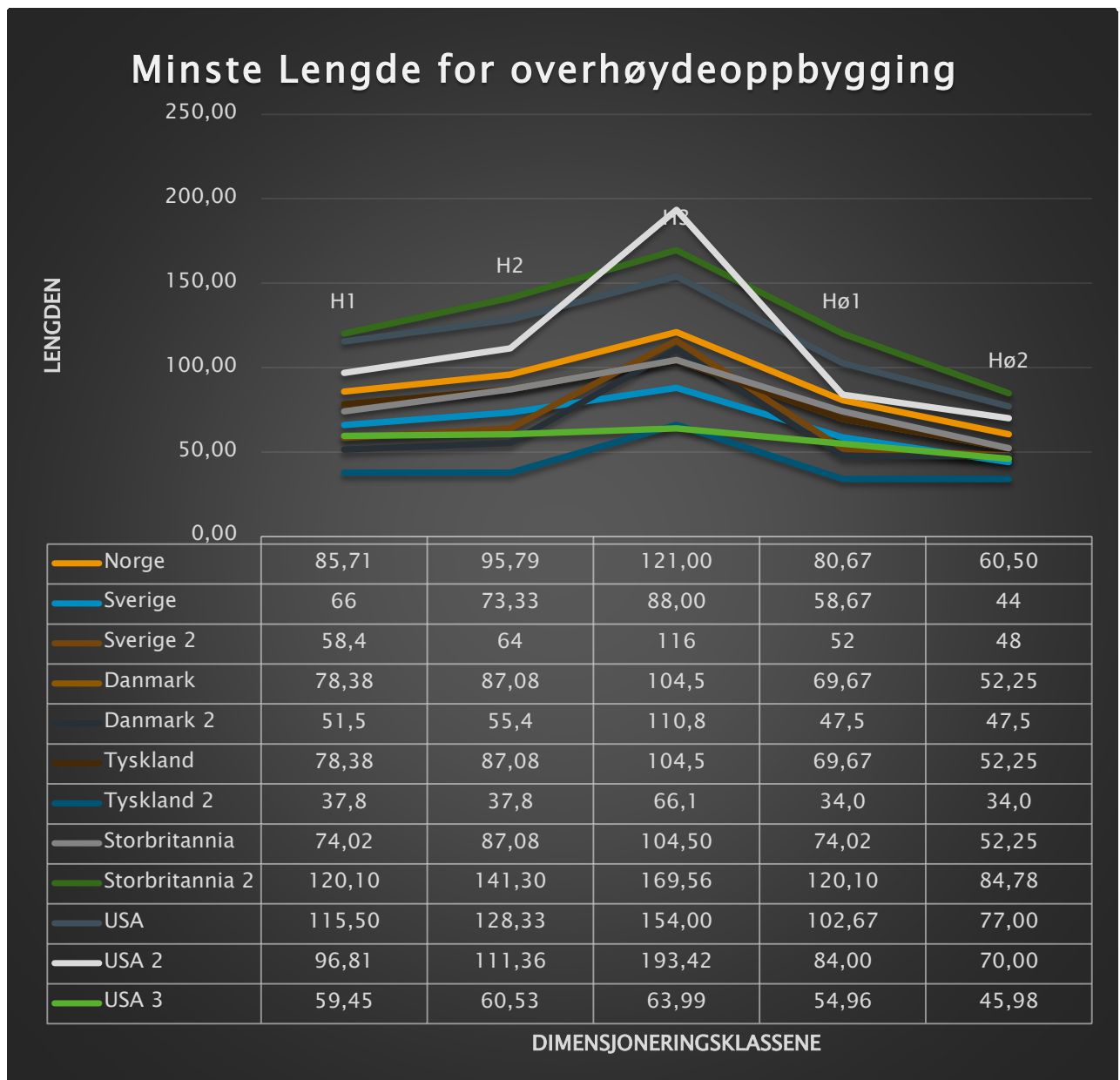
Minste Horizontal Kurven:



Figur 45: Sammenlikning av resultatet på beregning av Horizontal kurve mellom Norge og alle de fem andre landene

Figuren vises en oversikt på beregningene for de ulike landene i forhold til Norge. Differensen mellom landene varierer fra 10 til 200 der største differensen blir mellom Norge og USA i klasse H3 og nærmeste blir med USA igjen ved klasse H1 og Hø2.

Minste lengde for overhøydeoppbygging:



Figur 46: Sammenlikning av resultatene på beregning av minste lengde for overhøydeoppbygging mellom Norge og alle de fem andre landene

Resultatene med norske formel ga mindre lengder i forhold til Norge for alle landene bortsett fra USA fordi Norge bruker høyere maksoverhøyde enn alle bortsett fra USA som har 12%. De to andre som ligger over var resultatene fra beregningen med Storbritannias formel og USAs formel for uten klotoide. Den resultatet som ga minste verdier var for beregningen med tyske formel.

5. Sammenlikning av Normalene: Klotoideparameter

- Norge:

Klotoide informasjonen hentes fra kapitel 3.1.1–3.1.4 i Håndbok V120 og Kapittel C.2 i håndbok N100.

Klotoider brukes som overgangskurver i Norge for å ha en mykere overgang mellom de ulike veg kombinasjonene, som rettlinje til kurve eller en kurve til en annen kurve.

I Norge brukes det kun et krav til klotoiden og det er minste klotoideparameter A_{\min} . Minste klotoideparameter regnes ut fra krav til lengde for overhøydeoppbygging.

Tidligere ble det brukt tre krav i tillegg, som var kjøredynamikk, kurvelengde og estetikk. Disse brukes ikke lenger ved fastsetting av A_{\min} .

Formelen for Minste klotoideparameter:

$$A_{\min} = \sqrt{R_{h,\min} \cdot L_{o,\min}}$$

Hvor

$$R_{h,\min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{\max} + f_k)}, \quad L_{o,\min} = \frac{b \cdot V \cdot e_{\max}}{3,6 \cdot v_{vf}}$$

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

b = hjulavstand [m]

e_{\max} = 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_{\max} [m]

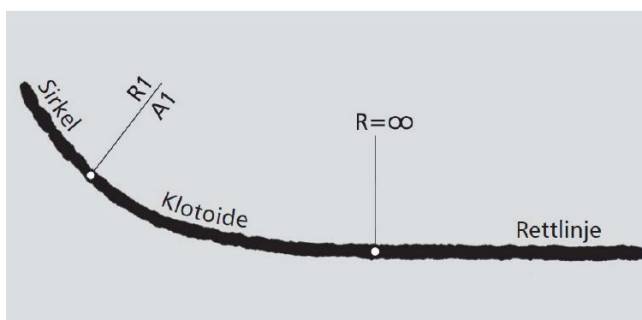
Det er satt en absolutt verdi for minste klotoide i håndbok «N100 veg og gateutforming» knyttet til minste horisontal kurven i de ulike veggklassene slik tabellen visser under.

Tabell C.2: Dimensjoneringsklasser for veg – standardkrav

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H _{0,1}	H _{0,2}	Sa1	Sa2	Sa3	A1	A2	A3
Vegtype	H/H ₀	H	H	H/H ₀	H/H ₀	H/H ₀	H/H ₀	H/H ₀	H/H ₀	H ₀	H ₀	Sa	Sa	Sa	A	A	A
ADT	<12'	<4'	<4'	4'-6'	6'-12'	>12'	>12'	12'-20'	>20'	<1,5'	1,5'-4'	<1,5'	>1,5'	<1,5'			
Fartsgrense (km/t)	60	80	90	80	90	60	80	100	100	80	80	50	50	80	30	50	50
Tverrprofil [m]	8,5	8,5	8,5	10	12,5	16	20	20	23	6,5	7,5	6	6,25*	6,5	5	7	4
Skulder [m]	1	1	1	1	1,5	0,75	1,5	1,5	3	0,5	0,75	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	
Kjøreløst 1 [m]	3,25	3,25	3,25	3,5	3,5	3,25/3,25	3,5/3,5	3,5/3,5	3,5/3,5	2,75	3	2,75	2,75	2,75	4	3	4
Indre skulder [m]					0,75	0,25	0,5	0,5	0,5								
Skille kjøretretninger [m]				1FM	1MR	1MK	2MR	2MR	2MR								
Indre skulder [m]					0,75	0,25	0,5	0,5	0,5								
Kjøreløst 2 [m]	3,25	3,25	3,25	3,5	3,5	3,25/3,25	3,5/3,5	3,5/3,5	3,5/3,5	2,75	3	2,75	2,75	2,75		3	
Skulder [m]	1	1	1	1	1,5	0,75	1,5	1,5	3	0,5	0,75	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	
Alternativ utforming [m]	7,5/6,5											6*	6*	4	3,5		
Min. horisontalkurveradius [m]	125	250	450	300	450	175	300	700	700	200	200	55	55	200	30	60	60
Min. klotoide [m]	75	125	180	140	180	90	140	245	245	110	110	40	40	100			
Stoppesikt [m]	70	115	175	145	175	75	145	255	255	100	100	45	45	100	20	45	45
Δst1 _(utgåing)	-4	-9	-18	-14	-18	-4	-14	-35	-30	-8	-8	-2	-2	-8			
Δst2 _(innt)	5	12	27	20	27	6	20	55	44	11	11	2	2	11			

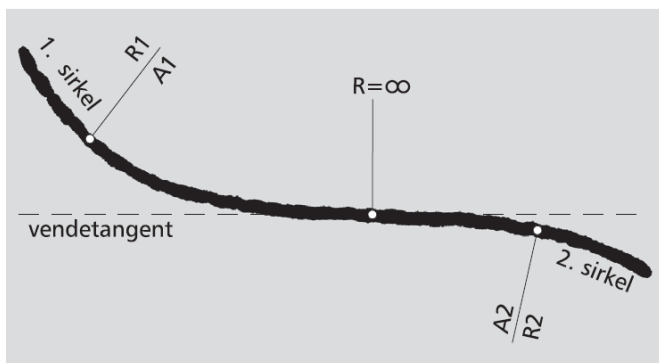
Tabell 30: Tabell for standardkravene (Statens vegvesen, 2014)

Klotoiden brukes litt forskjellig i de ulike kurvekombinasjonene.



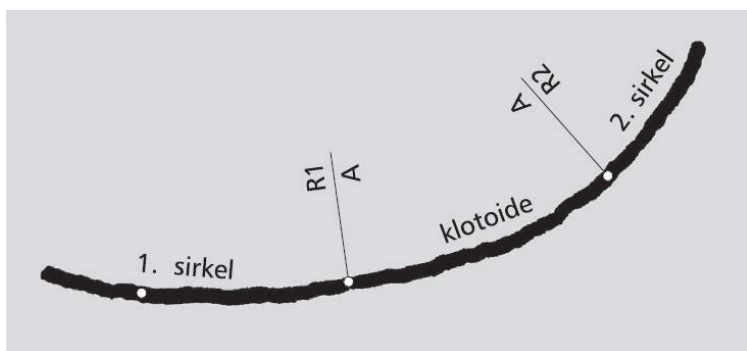
Figur 47: Enkelklotoide (Statens vegvesen, 2014)

Enkelklotoide brukes ved en vanlige kurvekombinasjon mellom en rettlinje og en kurve.



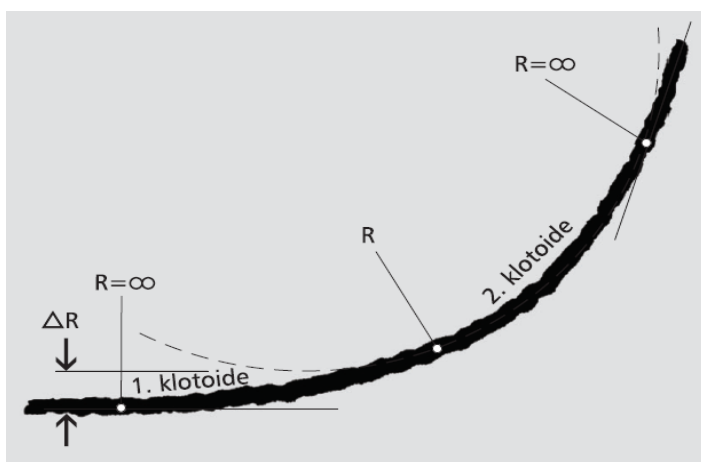
Figur 48: Vendekurve (Statens vegvesen, 2014)

Vendekurve er to enkelklotoider som er satt sammen for å danner en overgangskurve mellom to sirkulærkurver med motsatt krumning (S-kurve)



Figur 49: Eggkurve (Statens vegvesen, 2014)

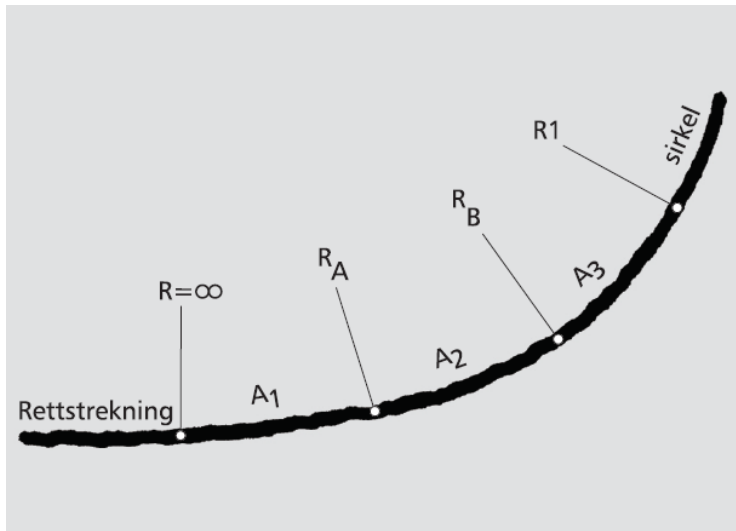
Eggkurver er en enkelklotoide mellom to sirkler hvor den ene sirkelen i sin helhet ligger innenfor den andre og hvor sentrene ikke er sammenfallende.



Figur 50: Sammenstøtende klotoider (Statens vegvesen, 2014)

Sammenstøtende klotoider er to klotoider som er satt sammen og som krummer på samme retning. De kan ha samme eller ulik parameter,

knytningspunktet skal ha samme radius. Dette kan brukes for eksempel i utbedringsarbeider.



Figur 51: Sammensatt klotoider (Statens vegvesen, 2014)

Sammensatt klotoider er flere klotoider som er satt sammen med forskjellig parameter. Dette er anbefalt å brukes bare i slyngpartier. Forholdet mellom parameterne bør være mindre enn 1,3 ($A1 > A2 > A3$).

Beregning:

Minste klotoideparameter regnes ut for de fem dimensjoneringsklassene og brukes videre til sammenligningen med resultatene fra de andre landene.

A_{min} regnes ut med verdiene for minste horisontal kurven $R_{h,min}$ og minste lengde av overhøydeoppbygging $L_{o,min}$ fra beregning resultatet i kapitel 4 Norge.

$$A_{min} = \sqrt{R_{h,min} \cdot L_{o,min}}$$

$$R_{h,min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{maks} + f_k)} \quad , \quad L_{o,min} = \frac{b \cdot V \cdot e_d}{3,6 \cdot v_{vf}}$$

Detaljert beregning er med på beregningsvedlegget

Resultatet på beregningen:

Dimensjoneringsklasse (fartsgrense (km/t))	Minstehorisontal kurve $R_{h,min}$	$L_{o,min}$	A_{min}
H1 (80)	240,04	85,71	143,43
H2 (90)	356,94	95,79	184,91
H3 (110)	733,67	121,00	297,95
Hø1 (80)	212,63	80,67	130,97
Hø2 (60)	103,08	60,50	78,97

Tabell 31: Beregning resultat for Norge

- Sverige:

Klotoide informasjonen hentes fra Kapittel 3.1.6.2.3 i Trafikverkets sin publikasjon «Krav for Vägars och gators utformning»

Overgangskurver brukes i veg kombinasjonene som mellom rettlinje og en kurve eller mellom to horisontalkurver, kun når minste resulterende radius R_r er under verdiene i Tabell 31.

Ved overgang mellom to kurver:

$$R_r = 1 / ((1 / R_1) - (1 / R_2))$$

R_r = resulterende radius

R_1 = Sluttradius

R_2 = Startradius

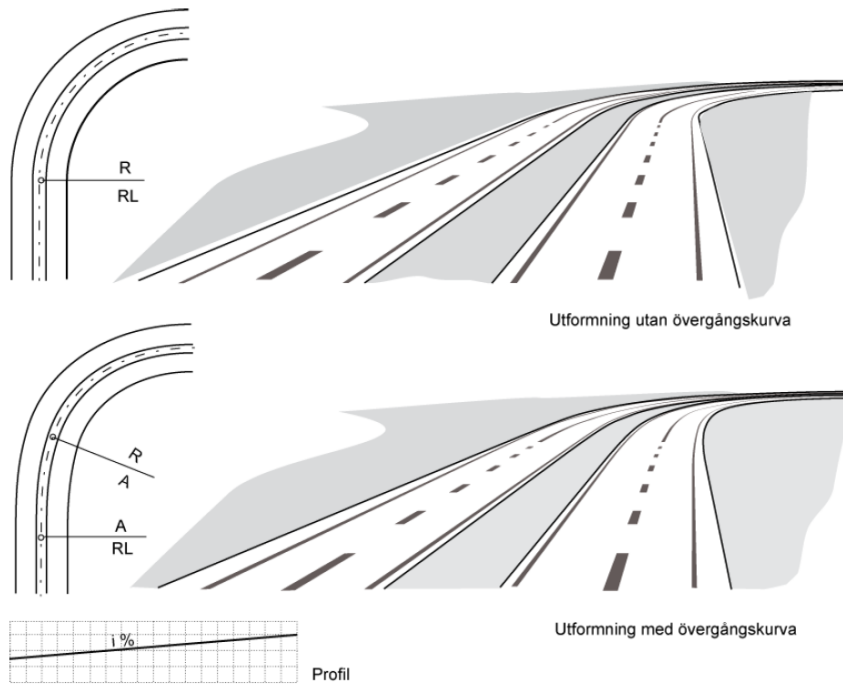
Ved overgang mellom kurve og rettlinje:

$$R_r = R_1$$

VR (km/h)	Om resulterande radie (R_r) (m) understiger nedan angivna värden ska övergångskurva användas.
120	970
110	890/750 *)
100	750/625 *)
80	500/400 *)
60	305/225 *)

*) Det lägre värdet godtas endast efter väghållarens godkännande

Tabell 32: Minste resulterende radier uten klotoide (Trafikverkets publikasjon, 2015:086)



Figur 52: Utformning uten og med klotoide (Trafikverkets publikasjon, 2015:086)

Sverige har to krav til klotoiden, første er minste klotoideparameter og andre er estetikk krav.

Minste klotoideparameter regnes ut med samme formelen som brukes i Norge

$$A^2 = R \cdot L \quad \text{där}$$

A=klotoidens parameter

R=klotoidens slutradie (m)

L=klotoidens längd (m)

$$A_{\min} = \sqrt{R_{h,\min} \cdot L_{o,\min}}$$

Klotoide lengden L er den samme som lengden av overhøydeoppbygging U

$$U = \Delta E \% \cdot L_h$$

- U = minste lengden for overhøydeoppbygging i vendekurve
- $\Delta E \% =$ overhøydeforskjell
- $L_h =$ lengde for 1% helningsforskjell

Minste Klotoideparameter A_{\min} skal ikke være mindre enn verdiene gitt i tabellen under.

VR (km/h)	Minste klotoideparameter (A)
120	325/290 *)
110	290/250 *)
100	250/220 *)
80	185/155 *)
60	130/100 *)

*) Det lägre värdet godtas endast efter väghållarens godkännande

Tabell 33: Minste klotoideparameter for de forskjellige hastighetsklassene (Trafikverkets publikasjon, 2015:086)

Klotoideparameteren A skal også oppfylle estetisk kravet

$R/3 < A < R$ der $A > R/3$ gjelder store radier mens $A < R$ ved små radier

Ved en vendekurve (S-kurva) der det er 2 klotoider skal hver klotoide behandles separert hvor resulterende radier $R_{r1} = R_1$ og $R_{r2} = R_2$.

Der den andre klotoiden er under 200 skal forholdet mellom de to klotoidene være $A_2/A_1 \leq 1,5$ der $A_1 < A_2$.

Beregning:

To Minste klotoideparameter A_{\min} skal regnes ut med verdiene som ble funnet tidligere for minstehorisontalkurve og minste lengde for overhøyeoppbygging $L_{o,\min}$ og U . Verdiene hentes fra tabell 8 i Kapittel 4 – Sverige.

$$A_{\min} = \sqrt{R_{h,\min} \cdot L_{o,\min}}$$

$$R_{h,\min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{\max} + f_k)}, \quad L_{o,\min} = \frac{b \cdot V \cdot e_d}{3,6 \cdot v_{vf}} \quad \text{og} \quad U = \Delta E \% \cdot I_h$$

Dimensjoneringsklasse (fartsgrense (km/t))	Minstehorisontal kurve $R_{h,\min}$	$L_{o,\min}$	U
H1 (80)	368,64	66	58,4
H2 (90)	516,45	73,33	64
H3 (110)	837,18	88,00	116
Hø1 (80)	272,54	58,67	52
Hø2 (60)	133,46	44	48

Tabell 33: Resultatet fra beregningen i Kapittel 4 Sverige.

Alle verdiene for Minstehorisontal kurve ligger under det som er krevet i tabell 32 som betyr at overgangskurver skal brukes.

Detaljert beregning er med på beregningsvedlegget

Resultatet på beregningen:

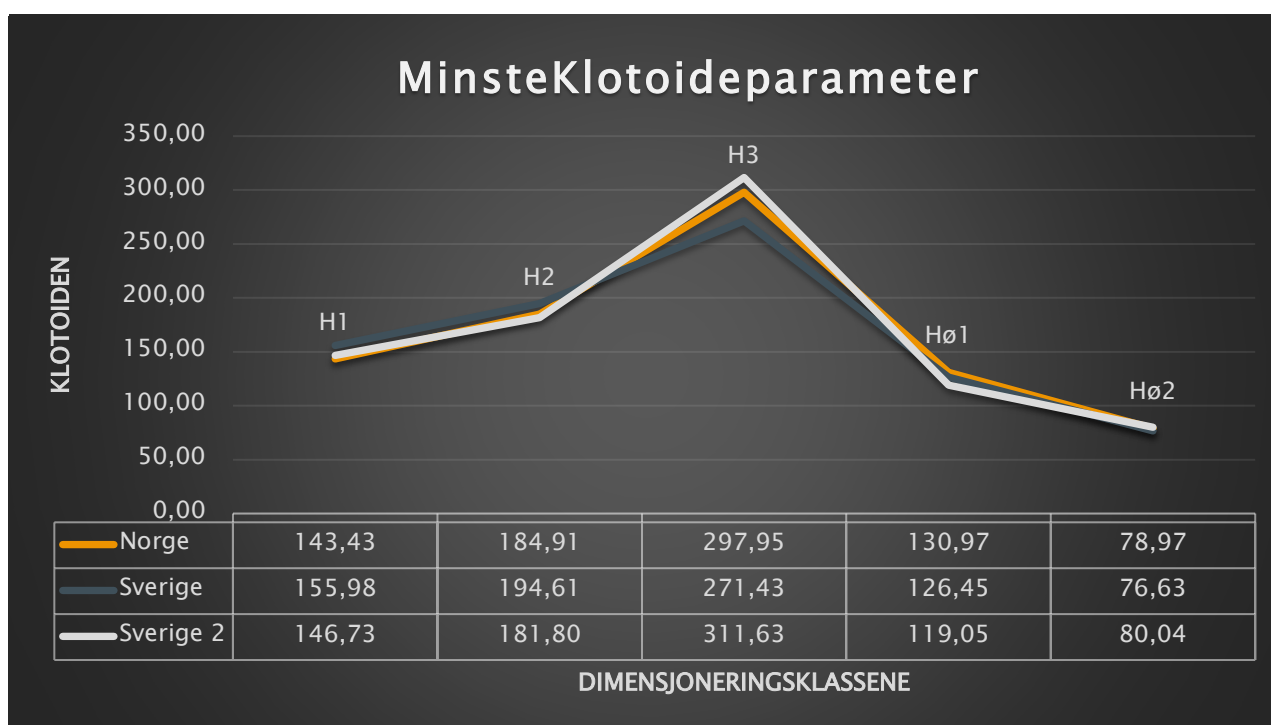
Dimensjoneringsklasse	Amin	Svenske Amin	Estetisk kravet	
			R/3 < A < R	
H1 (80)	155,98	146,73	122,88	368,64
H2 (90)	194,61	181,80	172,15	516,45
H3 (110)	271,43	311,63	279,06	837,18
Hø1 (80)	126,45	119,05	90,85	272,54
Hø2 (60)	76,63	80,04	44,49	133,46

Tabell 34: Resultatet for Sverige

Alle resultatene havner under minstekravet fra tabell 33, men de oppfyller estetiske kravet $R/3 < A < R$

Sammenligning av Resultat Sverige–Norge:

Selv om resultatene fra Sverige havner under minimumskravet blir dem brukt videre til å sammenlikningen med Norske verdiene fra tabell 31.



Figur 52: Sammenlikning av beregningsresultatet for Minsteklotoideparameter mellom Norge og Sverige

Resultatene fra begge A_{\min} beregningene ligger ganske nær det Norske verdiene. Største forskjellen blir ved klasse H3.

- Danmark:

Klotoide informasjonen hentes fra Vejreglers sin håndbok «Tracering i åbent land–Anlæg og planlegning, oktober 2018» kapitel 5.6

Overgangskurvene/klotoider brukes i prinsipp på den samme måte som i Norge, mellom en rettlinje og en kurve eller mellom to kurver. Den kan også betraktes som et selvstendig hovedelement.

Bruken av overgangskurver gir en del fordeler når det gjelder estetisk eller visuelt, også når det gjelder komfort og sikkerhetsmessig på grunn av det gradvis endringen av sideakselerasjon som overgangskurven medfører osv.

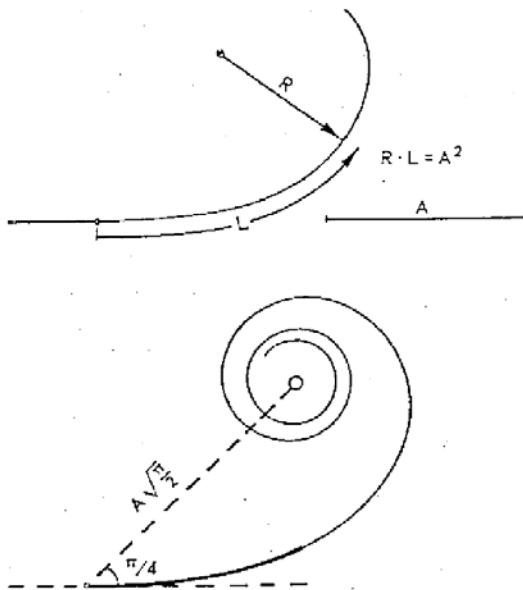


Figur 53: Kurve Uten og med overgangskurven (Vejregler, Oktober 2012)

Når overgangskurve blir ikke brukt fører dette til at overhøyden må etableres innen i kurven og dette med medfører til et utgående knekk i den ytterste kjørebane.

Det er anbefalt å bruke overgangskurver ved strekninger med planleggings hastighet på 80 km/h eller over, mens ved lavere hastighet enn det skal det vurderes i det enkelte tilfellene.

Ved en overgang fra et rettlinje lengere enn 500m og en kurve med en radius under 500m bør bruk av lange overgangskurver vurderes for å gjøre det lettere for trafikanter å vurdere kurveradiusen og minke uhell risikoen.



Figur 54: Klotoide (Vejregler, Oktober 2012)

Minste Klotoideparameter regnes ut med den samme formelen som brukes i Norge.

$$L \times R_h = A^2$$

Hvor L er overgangskurvens lengde [m]
 R_h er cirkelens radius
 A er klotoideparameteren

$$A_{min} = \sqrt{R_{h,min} \cdot L_{o,min}}$$

Når klotoidestørrelsen skal velges må den oppfylle en del krav. Klotoidens visuelle virkning skal være tydelig og dette sikres ved klotoideparameteren A skal ha passende størrelse i forhold til kurveradiusen R_h .

Klotoideparameter skal være større jo mindre kurveradiusen er. Som en estetisk krav/veiledning kan disse forholdene benyttes:

$R_h < 300-400$ m:	$1/2 R_h \leq A \leq 2/3 R_h$
$300-400$ m $< R_h < 4000-5000$ m:	$1/3 R_h \leq A \leq 1/2 R_h$
$R_h > 4000 - 5000$ m:	$1/5 R_h \leq A \leq 1/3 R_h$

Denne kravet $1/2 R_h \leq A$ ved $R_h < 300-400\text{m}$ er også en kjøredynamisk krav som skal sikre at trykket ikke blir for stor.

For $R_h > 4000-5000\text{m}$ vil bruk av større klotoideparametre enn det som er anbefalt over medføre til lange og nesten rette strekning.

Ved kurver $R_h \geq 1000\text{ m}$ kan klotoiden brukes som et selvstendig sporringsselement hvor klotoiden kan velges så stor som $A=R_h$.

Beregning:

To Minste klotoideparameter A_{\min} skal regnes ut med verdiene som ble funnet tidligere for minstehorisontalkurve og minste lengde for overhøyeoppbygging $L_{o,\min}$ og L_{ved} . Verdiene hentes fra tabell 11 i Kapittel 4 -Danmark.

$$A_{\min} = \sqrt{R_{h,\min} \cdot L_{o,\min}}$$

$$R_{h,\min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{maks} + f_k)}, \quad L_{o,\min} = \frac{b \cdot V \cdot e_d}{3,6 \cdot v_{vf}} \quad \text{og} \quad L_{vend} = (i_{r,e,1} - i_{r,e,2}) \times \frac{b}{0,006}$$

Dimensjonerings klasse	Minstehorisontal kurve $R_{h,\min}$	$L_{o,\min}$	L_{ved}
H1 (80)	335,68	78,38	51,5
H2 (90)	463,18	87,08	55,4
H3 (110)	746,85	104,5	110,8
Hø1 (80)	251,97	69,67	47,5
Hø2 (60)	123,25	52,25	47,5

Tabell 35: Resultatet fra beregningen i Kapittel 4 Danmark.

Klotoiden skal også oppfylle disse to kravene

Estetiske kravet:

$$R_h < 300-400 \text{ m:} \quad 1/2 R_h \leq A \leq 2/3 R_h$$

$$300-400 \text{ m} < R_h < 4000-5000 \text{ m:} \quad 1/3 R_h \leq A \leq 1/2 R_h$$

$$R_h > 4000 - 5000 \text{ m:} \quad 1/5 R_h \leq A \leq 1/3 R_h$$

Fra tabell 35 havner klasse H1–H3 under andre estetisk kravet imens Hø1–2 havner under den første.

Kjøredynamiske kravet:

$$1/2 R_h \leq A \quad \text{ved} \quad R_h < 300-400 \text{ m}$$

Fra tabell 35 blir dette gjeldende for kun klasse H1–H3.

Detaljert beregning er med på beregningsvedlegget

Resultatet på beregningen:

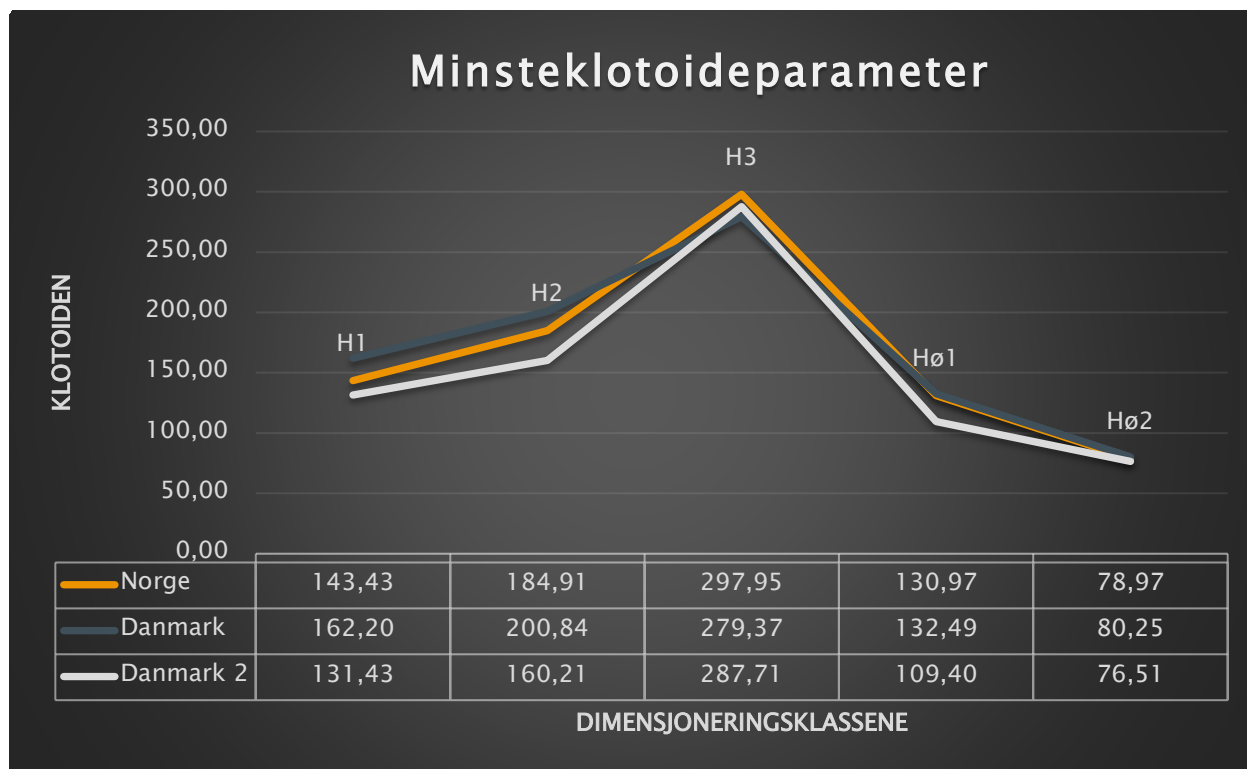
Dimensjoneringsklasse	Amin	Danske Amin	Estetisk kravet		Kjøredynamisk kravet
			$1/2 R < A < 2/3 R$	$1/3 R < A < 1/2 R$	$1/2 R \leq A$
H1 (80)	162,20	131,43	111,89	167,84	167,84
H2 (90)	200,84	160,21	154,39	231,59	231,59
H3 (110)	279,37	287,71	248,95	373,43	373,43
Hø1 (80)	132,49	109,40	125,98	167,98	–
Hø2 (60)	80,25	76,51	61,62	82,16	–

Tabell 36: Resultatet for Danmark

Det kun Hø1 ved Danske Amin som oppfyller ikke miste estetiske kravet, ellers så oppfyller resultatet på de andre alle estetiske og kjøredynamiske kravene.

Sammenlikning av Resultat Danmark–Norge:

Resultatene fra Danmark blir sammenlignet med Norske resultatene fra tabell 31.



Figur 55: Sammenlikning av beregningsresultatet for Minsteklotoideparameter mellom Norge og Danmark

Resultatet for A_{\min} med norske $L_{0,\min}$ (Mørkgrå farge) ligger nær det norske verdiene med små forskjeller ved klasse H1 og H3. A_{\min} med danske L_{ved} (lysgrå) ligger under ved alle klassene men linjen følger det norske ganske stabilt.

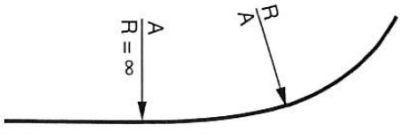
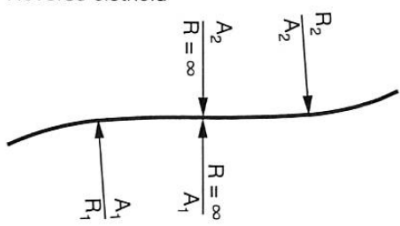
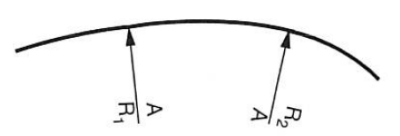
- Tyskland:

Klotoide informasjonen hentes fra Road and Transportation Research Association sin håndbok «Guidelines for the Design of Motorways RAA» fra Kapittel 5.2.3 og Appendix 4

Overgangskurve skal fullføre det samme målene som brukes i Norge og andreland. Den skal være i form av klotoide og kravene som stilles til klotoiden skal hjelpe med å få en overgangskurve som når de målene som forventes av den.

I Tyskland er overgangskurver nødvendig å bruke i alle type motorveger. Det eneste unntaket er ved forhold der vinkelen av kurven (γ er mindre enn 9 grader, flat kurve) gjør det vanskelig å ha en klotoide følget av etter med en kurve så en annen klotoide. I slike forhold skal minimums kurve lengde L_{min} være 300m.

Her er de forskjellige kurvekombinasjonene som klotoiden blir brukt på

Link	
Straight with circular curve	Simple clothoid 
Two circular curves	Reverse clothoid 
	'Broken-back' clothoid 

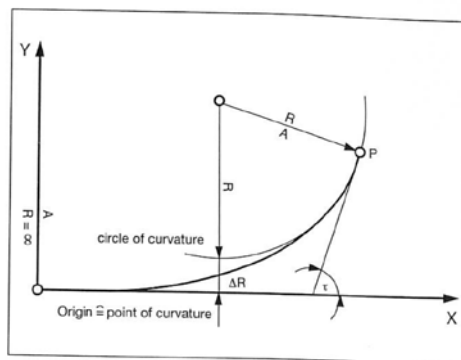
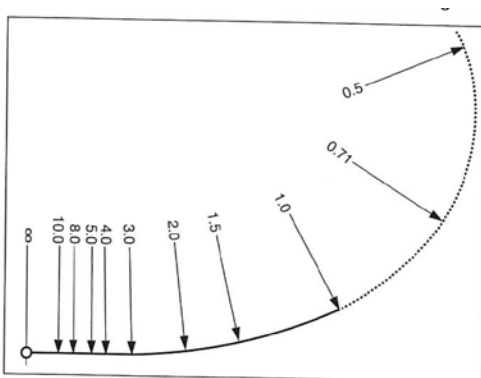
Figur 56: Klotoide ved ulike kurvekombinasjonene (Road and Transportation Research Association, 2008/Trans. 2011)

- Førstefigur: enkelklotoide mellom en rettlinje og en kurve
- Andrefigur: Sammenstøtt klotoide er to klotoider som går motsatt retning for å koble sammen to motsatt kurver. Begge to sammen skal fullføre betegnelsen av en enkel klotoide. For å få til en stabil forandring bør begge klotoidene ha en lignende parameter. Men hvis parameterne ikke er det samme og A_2 er mindre eller lik 300 m bør denne kondisjonen brukes

$$A_1 \leq 1.5 \cdot A_2$$

- Tredjefigur: «Brokenback» klotoide er en klotoide mellom to kurver der begge kurvene svinger til samme retning. Sirkel kurvene må ikke nå hverandre og kan ha forskjellig senter punkter. For å sikre at klotoiden er merkbar bør endringen i retningen være større eller lik 3,1 grader.

Alle klotoider er geometrisk likt, det er derfor den samme grade endring av retning og den samme form verdien eller forhold ($r/a=R/A$ osv.) skjer i samme form punktet (Karakteristiske punktet av klotoiden). De er unikt beskrevet ved radiusen r til uniform klotoiden ($r=1$) for alle klotoider (figur 57 og tabell 37). Geometriske prinsippet til klotoiden er vist i figur 58.



Figur 57: Karakteristiske punktet av klotoiden Figur 58: Geometrien av klotoide (Road and Transportation Research Association, 2008/Trans. 2011)

Character- istic point r	τ [gon]	τ [rad]	A		R		L	
1	31.83	0.50	1.00R	1.00L	1.00A	1.00L	1.00A	1.00R
1.5	14.16	0.22	0.67R	1.50L	1.50A	2.25L	0.67A	0.45R
2	7.96	0.13	0.50R	2.00L	2.00A	4.00L	0.50A	0.25R
3	3.54	0.06	0.33R	3.00L	3.00A	9.00L	0.33A	0.11R
4	1.99	0.03	0.25R	4.00L	4.00A	16.00L	0.25A	0.06R
5	1.27	0.02	0.20R	5.00L	5.00A	25.00L	0.20A	0.04R
6	0.89	0.01	0.17R	6.00L	6.00A	36.00L	0.17A	0.03R
∞	0.00	0.00	0.00		∞		0.00	0.00
$\frac{R}{A}$	$\frac{100}{r^2 \cdot \pi}$	$\frac{1}{2 \cdot r^2}$	$\frac{R}{r}$	$r \cdot L$	$r \cdot A$	$r^2 \cdot L$	$\frac{A}{r}$	$\frac{R}{r^2}$

Tabell 37: Verdier av klotoidens Karakteristiske punktet (Road and Transportation Research Association, 2008/Trans. 2011)

Forklaringen på formlene i tabell 37:

The formation law of the clothoid is:

$$A^2 = R \cdot L \quad (\text{A } 23)$$

$$\tau \text{ [rad]} = \frac{L}{2 \cdot R} \quad (\text{A } 24)$$

$$\tau \text{ [gon]} = \frac{L}{2 \cdot R} \cdot \frac{200 \text{ gon}}{\pi} \quad (\text{A } 25)$$

$$X = \int_0^L \cos \frac{L^2}{2 \cdot R^2} dL \quad (\text{A } 26)$$

$$Y = \int_0^L \sin \frac{L^2}{2 \cdot R^2} dL \quad (\text{A } 27)$$

where

R [m] = radius of the circle of curvature at point P on the clothoid

A [m] = clothoid parameter

L [m] = length of the clothoid from the origin to point P

τ = angle between the tangents at the starting point and at point P

X, Y = rectangular co-ordinates of the point P

X_M = abscissa of the centre of the circle

ΔR [m] = distance of the circle of curvature from the tangent at the origin

For approximate calculations, the following approximation formulae expressed in L and R suffice for X, Y, and ΔR :

$$X \approx L \quad (\text{A } 28)$$

$$Y \approx \frac{L^2}{6 \cdot R} \quad (\text{A } 29)$$

$$\Delta R \approx \frac{L^2}{24 \cdot R} \quad (\text{A } 30)$$

$$A_{min} = \sqrt{R_{h,min} \cdot L_{o,min}}$$

Minsteklotoide regnes ut med denne formelen

Horisontal kurven regnes ut med denne formelen

$$\min R = \frac{V^2}{3,6^2 \cdot g \cdot (\max f_R \cdot n + q)} = \frac{V^2}{127 \cdot (\max f_R \cdot n + q)}$$

Formelen blir den samme som brukes i Norge når den blir forenklet

der: sidefriksjon $f_k = \max f_R \cdot n$

$$R_{h,\min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{\max} + f_k)}$$

Lengden L blir den samme som $L_{v,\min}$ som regnes ut med denne formelen

$$\min L_v = \frac{q_e - q_a}{\max \Delta s} a$$

$\min L_v$ = minste lengden av overhøydeoppbyggingen i m.

q_e = overhøyde i kurven %

q_a = helning i starten av oppbyggingen i %

a = distansen mellom vegkant og rotasjonsakse i m

$\max \Delta s$ = maks relativ helning i %

Klotoiden har to krav som den må oppfylle, en estetisk karv i form av:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

Og en minimumskrav fra Tabellen under

Design class	min A [m]
EKA 1 A	300
EKA 1 B	240
EKA 2	160
EKA 3	90

Tabell 38: minimumsklotoide

Beregning:

To Minste klotoideparameter A_{\min} skal regnes ut med verdiene som ble funnet tidligere for minstehorizontalkurve og minste lengde for overhøyeoppbygging $L_{o,\min}$ og $L_{v,\min}$. Verdiene hentes fra tabell 16 i Kapittel 4 -Tyskland.

$$A_{\min} = \sqrt{R_{h,\min} \cdot L_{o,\min}}$$

$$R_{h,\min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{maks} + f_k)}, \quad L_{o,\min} = \frac{b \cdot V \cdot e_d}{3,6 \cdot v_{vf}} \quad \text{og} \quad \min L_V = \frac{q_e - q_a}{\max \Delta s} a$$

Dimensjoneringsklasse (fartsgrense (km/t))	Minstehorizontalkurve $R_{h,\min}$	$L_{o,\min}$	$L_{v,\min}$
H1 (80)	372,98	78,38	37,8
H2 (90)	499,79	87,08	37,8
H3 (110)	751,80	104,5	66,1
Hø1 (80)	282,48	69,67	34,0
Hø2 (60)	146,72	52,25	34,0

Tabell 39: Resultatet fra beregningen i Kapittel 4 Tyskland.

Estetiske kravet:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

Detaljert beregning er med på beregningsvedlegget

Resultatet på beregningen:

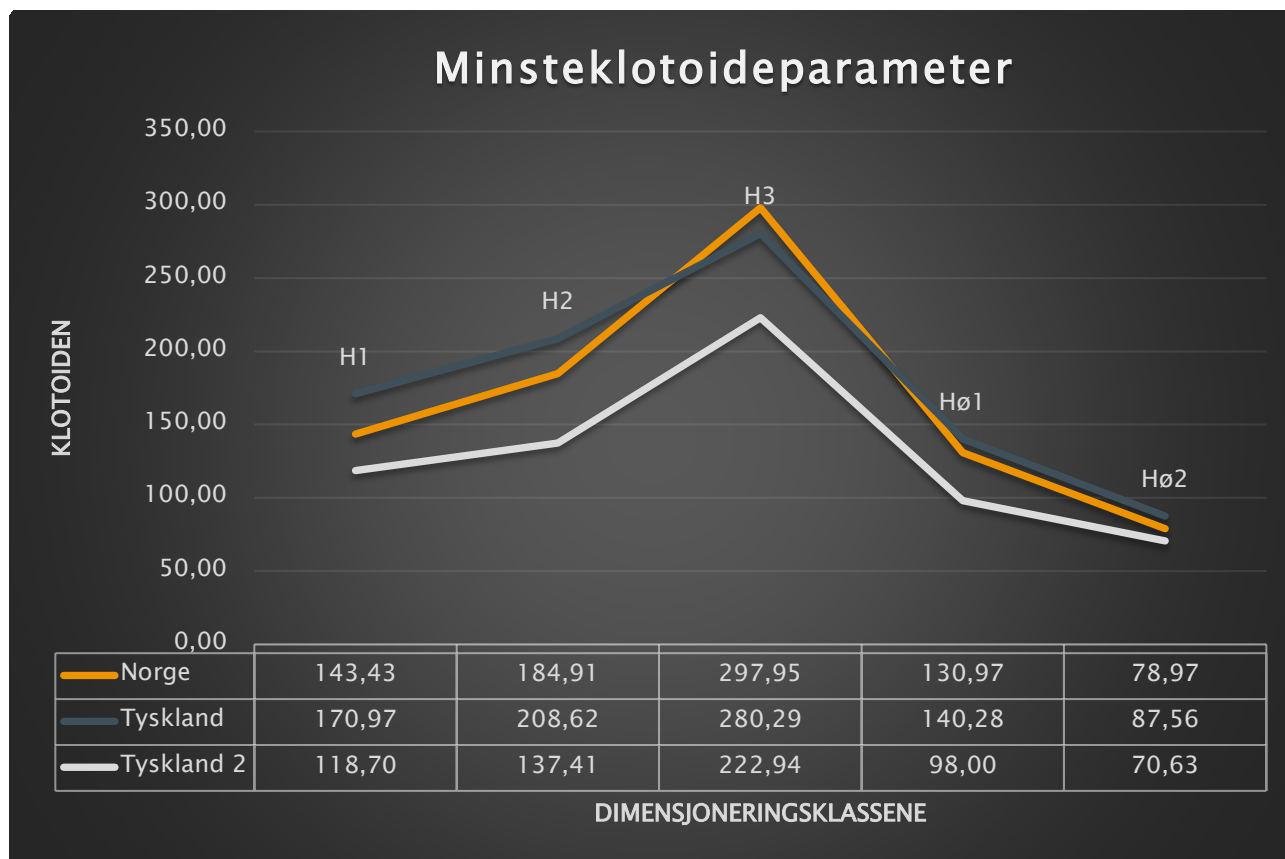
Dimensjoneringsklasse	Amin	Tyskland Amin	Estetisk kravet	
			1/3 R < A < R	
H1 (80)	170,97	118,70	124,33	372,98
H2 (90)	208,62	137,41	166,60	499,79
H3 (110)	280,29	222,94	250,60	751,8
Hø1 (80)	140,28	98,00	94,16	282,48
Hø2 (60)	87,56	70,63	48,91	146,72

Tabell 40: Resultatet for Tyskland

Alle klassene ved Amin med norske $L_{0,min}$ oppfyller estetisk kravet mens kun klassene Hø1 og 2 oppfyller det for Amin med tyske $L_{v,min}$, dette kan skyldes kjørebreddene fra norske dimensjoneringsklassene som ble brukt fra tabell 5 for å regne ut $L_{v,min}$.

Sammenlikning av Resultat Tyskland–Norge:

Resultatene fra Tyskland blir sammenliknet med Norske resultatene fra tabell 31.



Figur 59: Sammenlikning av beregningsresultatet for Minsteklotoideparameter mellom Norge og Tyskland

Resultatet for A_{\min} med norske $L_{o,\min}$ formel (Mørkgrå farge) ligger nær det norske verdiene med små forskjeller ved klasse H1 og H3. A_{\min} med Tyske $L_{v,\min}$ (lysgrå) ligger under ved alle klassene. Her er forskjellen større enn det som var med danske og svenske metode, som betyr at tyske beregnings metode gir mindre verdier for minsteklotoide areal.

- Storbritannia:

Klotoideparameter informasjonen hentes ifra publikasjon «Highways link design» kapitel 3.15–3.16.

Overgangskurver skal brukes på strekninger der kurveradiusen er mindre enn minimumsradius $R_{h,min}$ som er ønsket i tabellen under.

DESIGN SPEED kph	120	100	85	70	60	50	V ² /R
STOPPING SIGHT DISTANCE m							
Desirable Minimum	295	215	160	120	90	70	
One Step below Desirable Minimum	215	160	120	90	70	50	
HORIZONTAL CURVATURE m.							
Minimum R* without elimination of Adverse Camber and Transitions	2880	2040	1440	1020	720	520	5
Minimum R* with Superelevation of 2.5%	2040	1440	1020	720	510	360	7.07
Minimum R* with Superelevation of 3.5%	1440	1020	720	510	360	255	10
Desirable Minimum R with Superelevation of 5%	1020	720	510	360	255	180	14.14
One Step below Desirable Minimum R with Superelevation of 7%	720	510	360	255	180	127	20
Two Steps below Desirable Minimum Radius with Superelevation of 7%	510	360	255	180	127	90	28.28
VERTICAL CURVATURE							
Desirable Minimum* Crest K Value	182	100	55	30	17	10	
One Step below Desirable Min Crest K Value	100	55	30	17	10	6.5	
Absolute Minimum Sag K Value	37	26	20	20	13	9	
OVERTAKING SIGHT DISTANCES							
Full Overtaking Sight Distance FOSD m.	*	580	490	410	345	290	
FOSD Overtaking Crest K Value	*	400	285	200	142	100	

Tabell 41: Minimums horisontalkurveradius som er ønsket i forhold til overhøyde og designhastighet. (The Highways Agency/Scottish executive development department/The National Assembly for Wales/The department for regional development Northern Ireland, 2002)

Lengden av overgangskurven regnes ut med samme formelen for lengden av minste lengde for overhøydeoppbygging

$$L = \frac{V^3}{46.7 \times q \times R}$$

Where:

L = Length of transition (m)

V = Design Speed (kph)

q = Rate of increase of centripetal acceleration (m/sec³)
travelling along curve at constant speed V(kph)

R = Radius of curve (m)

Generelt vil overhøyden bygges opp under lengden til grunnleggende overgangen/klotoide som passer til designhastigheten, men den lengden vil imidlertid ofte resultere i utilstrekkelig overgangs lengde for å imøtekomme overhøydeoppbygging og det vil derfor være nødvendig å gi lengre overganger for å matche overhøydeoppbygging.

Det stilles ikke noe mer krav til overgangskurver og formelen for minste klotoideparameter brukes ikke i Storbritannia, det er kun lengden av overgangen som brukes.

$$A_{\min} = \sqrt{R_{h,\min} \cdot L_{o,\min}}$$

Beregning:

To Minste klotoideparameter A_{\min} skal regnes ut med verdiene som ble funnet tidligere for to minstehorisontalkurvene og minste lengde for overhøydeoppbygging $L_{o,\min}$ og L . Verdiene hentes fra tabell 20 i Kapittel 4 – Storbritannia.

$$R_{h,\min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{\max} + f_k)}, \quad L_{o,\min} = \frac{b \cdot V \cdot e_d}{3,6 \cdot v_{vf}} \quad \text{og} \quad S = \frac{V^2}{2,828 \times R},$$

$$L = \frac{V^3}{46,7 \times q \times R}$$

Dimensjonering klasse (km/t)	Minstehorisontal kurve $R_{h,\min}$	$L_{o,\min}$	Storbritannia Minstehorisontal kurve, R_h	L
H1 (80)	355,56	74,02	364,97	120,10
H2 (90)	518,65	87,08	505,15	141,30
H3 (110)	746,85	104,50	727,42	169,56
Hø1 (80)	355,56	74,02	364,97	120,10
Hø2 (60)	177,17	52,25	181,85	84,78

Tabell 42: Resultatet fra beregningen i Kapittel 4 Storbritannia.

Begge horisontalkurve resultatene oppfyller kravet til tabell 41 men Hø1 og 2 for Storbritannias R_h er på grensen.

Detaljert beregning er med på beregningsvedlegget

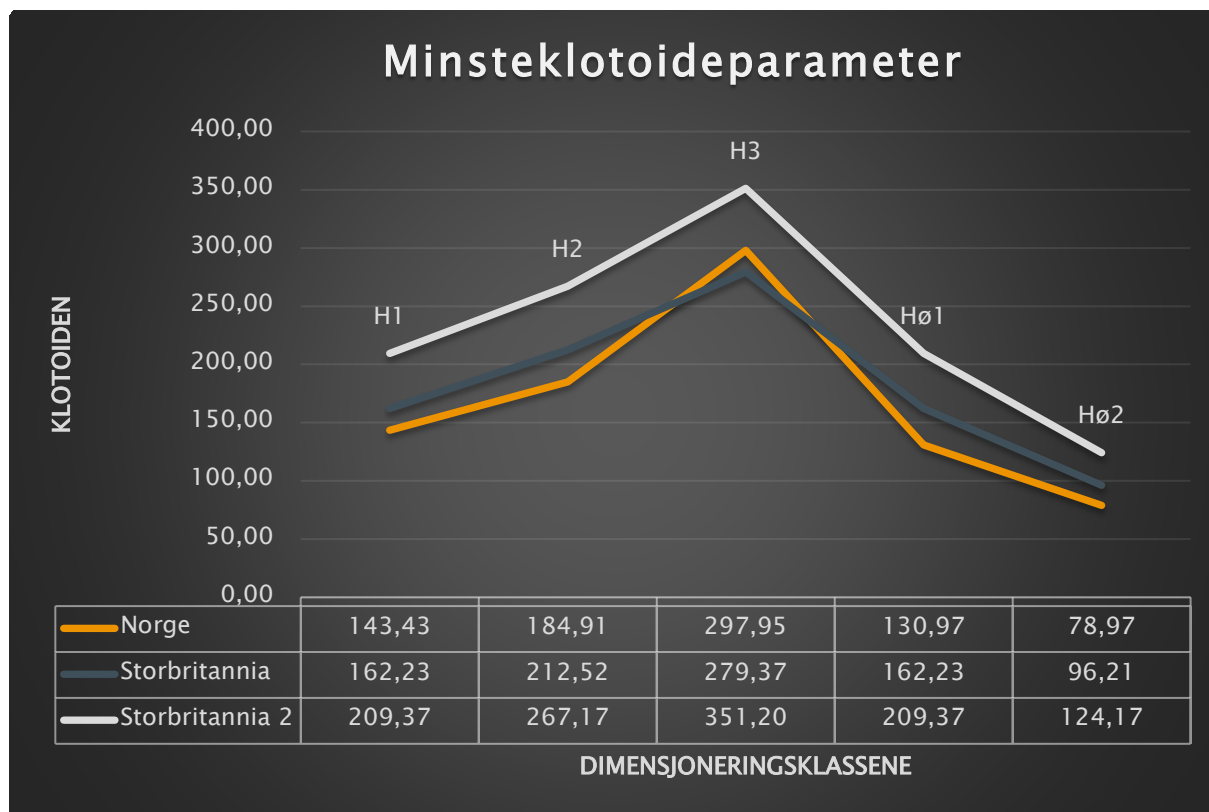
Resultatet på beregningen:

Dimensjoneringsklasse	Storbritannias	
	A_{min}	A_{min}
H1 (80)	162,23	209,37
H2 (90)	212,52	267,17
H3 (110)	279,37	351,20
Hø1 (80)	162,23	209,37
Hø2 (60)	96,21	124,17

Tabell 43: Resultatet for Storbritannia

Sammenligning av Resultat Storbritannia–Norge:

Resultatene fra Storbritannia blir sammenlignet med Norske resultatene fra tabell 31.



Figur 60: Sammenlikning av beregningsresultatet for Minsteklotoideparameter mellom Norge og Storbritannia

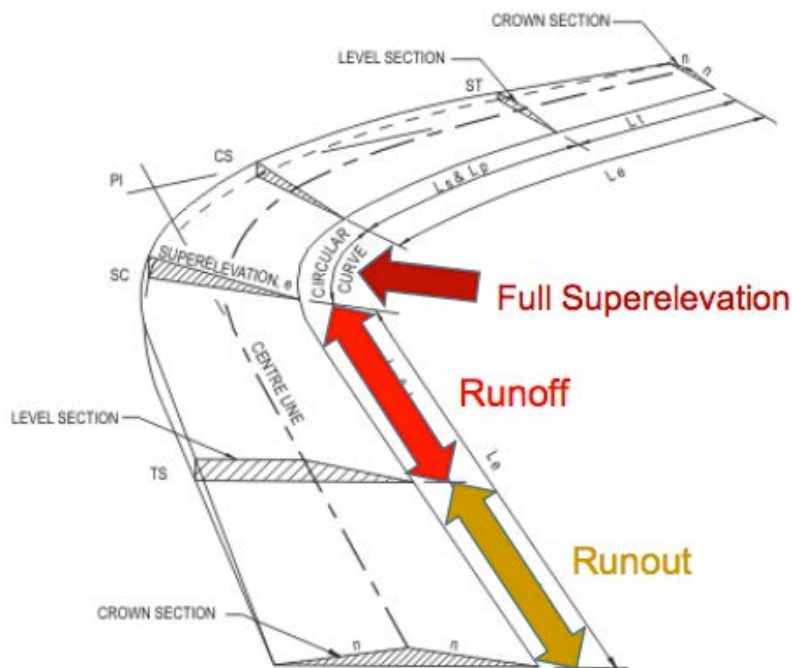
Resultatet for A_{\min} med norske $L_{o,\min}$ formel (Mørkgrå farge) ligger nær det norske verdiene med små forskjeller. A_{\min} med Storbritannias R_h og L (lysgrå) ligger høyre opp i forhold til de to andre fordi verdien på L er større enn de andre lengdene.

- USA:

Informasjonen av Klotoideparameteren hentes fra håndboken til American Association of State Highway and Transportation Officials « A Policy on Geometric Design of Highways and streets » fra Kapittel 3.3.8

I USA er det to overgangs metoder som brukes i de forskjellige veikombinasjonene, den først metode er referert til som overhøydeovergang og andre metode refereres til som justeringsovergang.

Overhøydeovergang kalles «Tangen to Curve transition» og er en direkte overgang uten bruk av en overgangskurve/klotoide. Den består av to deler, 'Runoff' L_r og 'Runout' L_t .



Figur 61: «Tangen to Curve transition» (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

Runoff er der overhøyden bygges opp fra 0% til ønsket overhøyde, runout er der overhøyden går fra den opprinnelige overhøyde til 0%.

Lengden av runoff regnes ut fra formelen:

$$L_r = \frac{(wn_1)e_d}{\Delta} (b_w)$$

L_r = minste lengde av runoff i m

w = bredden av kjørefelt i m, (vanligvis 3,6m)

n_1 = antall felt som endres

e_d = overhøyde i %

b_w = justeringsfaktor for antall kjørefelt

Δ = maks relativ gradient i %

Lengden av runout regnes ut fra formelen:

$$L_t = \frac{e_{NC}}{e_d} L_r$$

L_t = minste lengde av runout i m

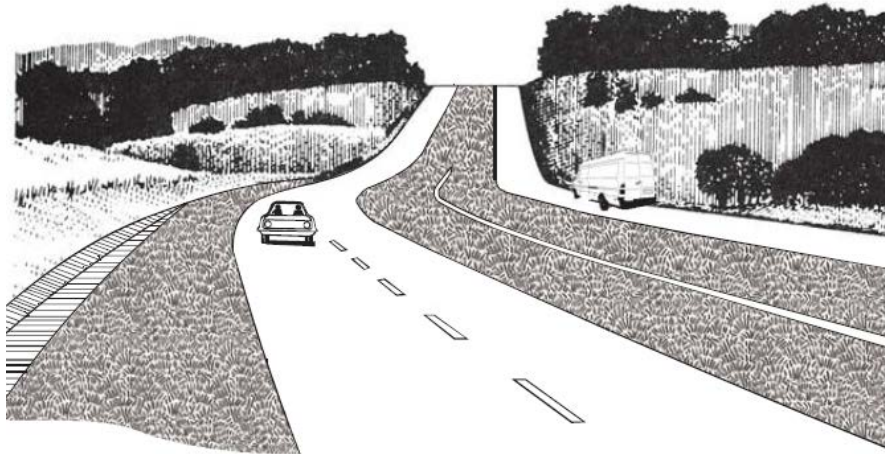
e_{NC} = normal helling i %

e_d = Overhøyde i %

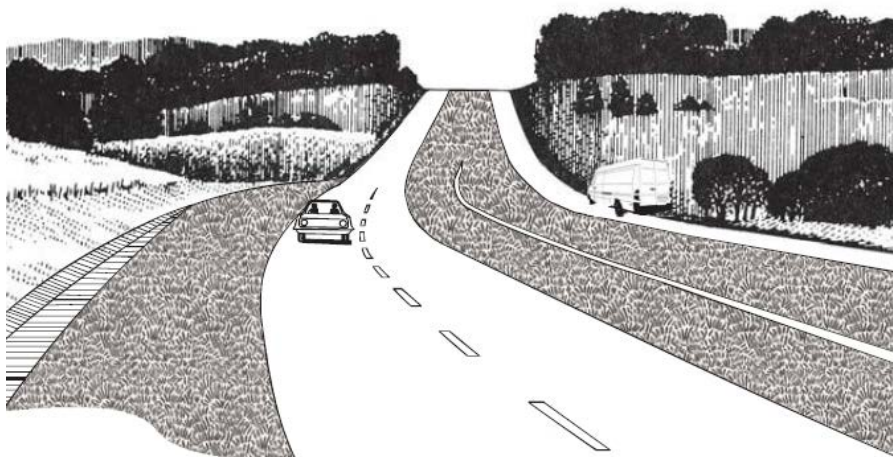
L_r = minste lengde av runoff i m

Overhøyden bygges over legden av begge to.

Justeringsovergangen er overgangskurve metoden der en klotoide brukes mellom en rettlinje og en kurve eller mellom to kurver.



Without Spiral Transition Curves
- A -



With Spiral Transition Curves
- B -

Figur 62: Illustrasjon av veg med og uten klotoide (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

Dette er den generelle formelen for beregning av klotoide lengden

$$L = \frac{0.0214V^3}{RC}$$

R= Radius av kurven

V= Design hastighet

C= Maksimal endringshastighet ved sideakselerasjon (1,2 m/s³)

USA har ikke en standard for bruk av overgangskurver og ulike veiledningene har ikke en konsistent metode. Men normalen "A Policy on Geometric Design of Highways and streets" identifiserer at generelt foreslår mye av veiledningene at en maksimalgrense på kurveradius kan etableres og at det er mer sannsynlig for å oppnå sikkerhet og operasjonelle fordeler ved å bruke overgangskurver på radier under denne grensen.

Tabellen under gir instruksjon på radius størrelser som bør ikke overstiges ved bruk av overgangskurve men tabellen er ikke ment å brukes som krav.

Metric		U.S. Customary	
Design speed (km/h)	Maximum radius (m)	Design speed (mph)	Maximum radius (ft)
20	24	15	114
30	54	20	203
40	95	25	317
50	148	30	456
60	213	35	620
70	290	40	810
80	379	45	1025
90	480	50	1265
100	592	55	1531
110	716	60	1822
120	852	65	2138
130	1000	70	2479
		75	2846
		80	3238

Tabell 44: Maksimumradius ved bruk av klotoider (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

Flere byråer definerer en minimumslengde av klotoide basert på vurdering av sjåførens komfort og forskyvning i kjøretøyets sideveisposisjon.

Minste legden av klotoiden kan regnes ut med to formler og den største verdi mellom de to skal brukes.

$$L_{s,\min} = \sqrt{24(p_{\min})R} \quad , \quad L_{s,\min} = 0.0214 \frac{V^3}{RC}$$

$L_{s,\min}$ = Minste klotoide lengde

P_{\min} = Minimum sideforskyvning mellom tangent og sirkulær kurve (0,20 m)

R= Radius av kurven

V= Design hastighet

C= Maksimal endringshastighet ved sideakselerasjon (1,2 m/s³)

En maksimalt lengde for overgangskurve er også anbefalt slik Klotoiden blir ikke så lange (i forhold til lengden på den sirkulære kurven) at føreren blir villedet om skarpheten av den nærliggende kurven.

Maksimal klotoide lengde regnes ut med denne formelen

$$L_{s,max} = \sqrt{24(p_{max})R}$$

P_{min}= Maksimum sideforskyvning mellom tangent og sirkulær kurve (1,0 m)

R= Radius av kurven

Tabellen under viser ellers noen generelle ønsket lengder av klotoiden

Metric		U.S. Customary	
Design Speed (km/h)	Spiral Length (m)	Design Speed (mph)	Spiral Length (ft)
20	11	15	44
30	17	20	59
40	22	25	74
50	28	30	88
60	33	35	103
70	39	40	117
80	44	45	132
90	50	50	147
100	56	55	161
110	61	60	176
120	67	65	191
130	72	70	205
		75	220
		80	235

Tabell 45: Ønsket lengde for klotoiden for de ulike Design Speed (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011)

Formelen for minsteklotoide brukes ikke I USA

$$A_{\min} = \sqrt{R_{h,\min} \cdot L_{o,\min}}$$

Det er kun lengden det ses på.

Beregning:

To Minste klotoideparameter A_{\min} skal regnes ut pluss A_{\max} med samme formelen som brukes for minimum bare at $L_{s,\max}$ erstatter L_{\min} .

A_{\min} regnes ut med verdiene som ble funnet tidligere for minstehorisontalkurve og minste lengde for overhøydeoppbygging $L_{o,\min}$. Verdiene hentes fra tabell 26 i Kapittel 4 -USA. Minste lengde av klotoiden L_s hentes fra der også, den er slått sammen med L_t i tabellen.

$$R_{h,\min} = \frac{V^2}{127 \cdot (e_{maks} + f_k)}, \quad L_{o,\min} = \frac{b \cdot V \cdot e_d}{3,6 \cdot v_{vf}} \quad \text{og} \quad L_{s,\min} = 0.0214 \frac{V^3}{RC}$$

For regne ut A_{\max} må $L_{s,\max}$ regnes ut i tillegg.

Den renes ut med denne formelen:

$$L_{s,\max} = \sqrt{24(p_{\max})R}$$

P_{\max} = Maksimum sideforskyvning mellom tangent og sirkulær kurve (1,0 m)

R = Radius av kurven

Dimensjonerings- klasse (km/t)	Minstehorisontal kurve $R_{h,min}$	$L_{o,min}$	$L_{s,min}$	$L_{s,max}$
H1 (80)	255,12	115,50	50,96	78,25
H2 (90)	343,71	128,33	51,89	90,82
H3 (110)	561,82	154,00	54,85	116,12
Hø1 (80)	193,82	102,67	47,11	68,20
Hø2 (60)	97,75	77,00	39,41	48,43

Tabell 46: Resultatet fra beregningen i Kapittel 4 USA.

Horisontalkurve resultatene er under kravet til tabell 44 og da er det anbefalt å bruke overgangskurve.

Detaljert beregning er med på beregningsvedlegget

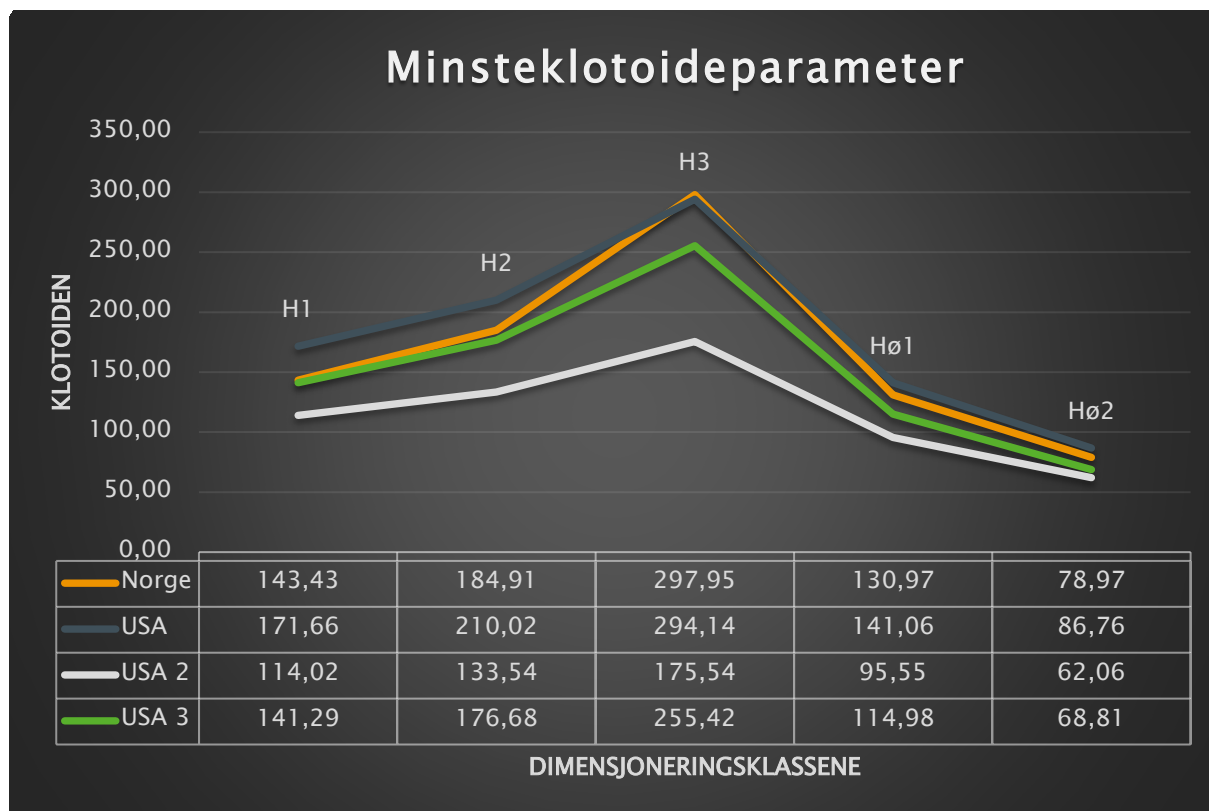
Resultatet på beregningen:

Dimensjoneringsklasse	A_{min}	USA A_{min}	USA
			A_{max}
H1 (80)	171,66	114,02	141,29
H2 (90)	210,02	133,54	176,68
H3 (110)	294,14	175,54	255,42
Hø1 (80)	141,06	95,55	114,98
Hø2 (60)	86,76	62,06	68,81

Tabell 47: Resultatet for USA

Sammenlikning av Resultat USA–Norge:

Resultatene fra USA blir sammenlignet med Norske resultatene fra tabell 31.



Figur 63: Sammenlikning av beregningsresultatet for Minsteklotoideparameter mellom Norge og USA, pluss maksklotoideparameter

Resultatet for A_{\min} med norske $L_{0,\min}$ formel (Mørkgrå farge) ligger nær det norske verdiene med små forskjeller.

Bodde USA A_{\min} (lysgrå) og A_{\max} (grønn) ligger under det norske verdiene, det som er interessant er at A_{\max} ligger også under norske A_{\min} som visser overhøyde (12%) virkningen på klotoideparameteren.

- Samling av resultatene:

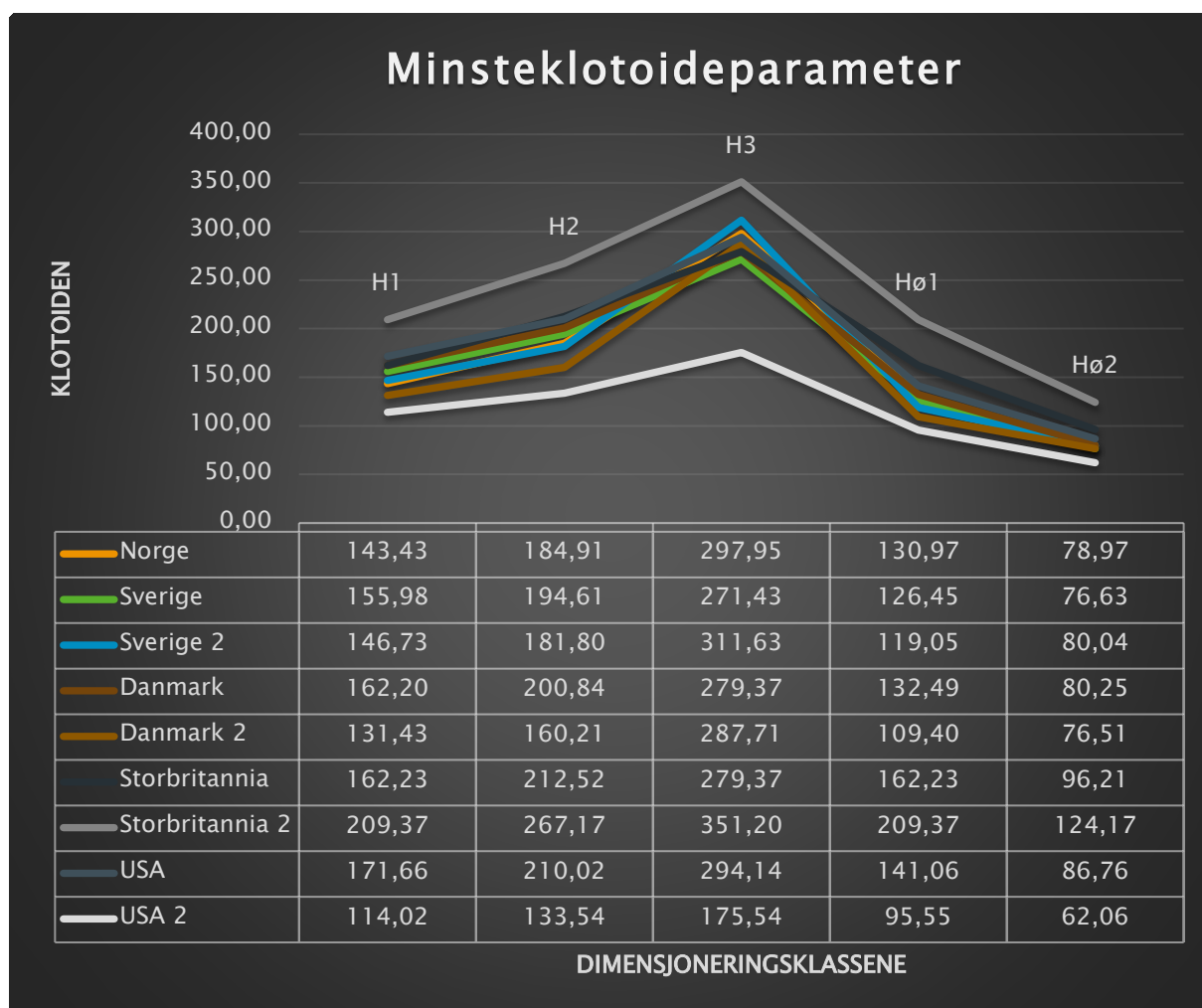
Oversikt over klotoidparameter kravene som ble funnet tidligere i Kapittel 5.

Land	Krav	Formel
Norge	Minste klotoidparameter	$A_{min} = \sqrt{R_{h,min} \cdot L_{o,min}}$
Sverige	Minste klotoidparameter Estetiske krav	$A_{min} = \sqrt{R_{h,min} \cdot L_{o,min}}$ $R/3 < A < R$ <ul style="list-style-type: none"> - $A > R/3$ gjelder store radier - $A < R$ ved små radier
Danmark	Minste klotoidparameter Estetiske krav Kjøredynamiske krav	$A_{min} = \sqrt{R_{h,min} \cdot L_{o,min}}$ $1/2 R_h \leq A \leq 2/3 R_h$ $1/3 R_h \leq A \leq 1/2 R_h$ $1/5 R_h \leq A \leq 1/3 R_h$ $1/2 R_h \leq A \text{ ved } R_h < 300-400\text{m}$
Tyskland	Minste klotoidparameter Estetiske krav	$A_{min} = \sqrt{R_{h,min} \cdot L_{o,min}}$ $\frac{R}{3} \leq A \leq R$

Storbritannia	Legden av klotoiden	$L = \frac{V^3}{46.7 \times q \times R}$
USA	Misteklotoide lengde	$L_{s,\min} = \sqrt{24(p_{\min})R}$
	Maksklotoide lengde	$L_{s,\min} = 0.0214 \frac{V^3}{RC}$ $L_{s,\max} = \sqrt{24(p_{\max})R}$

Tabell 48: kravene på klotoideparameten i de ulike landene

Sammenlikning av Norge–Alle landene:



Figur 64: Sammenlikning av resultatene på minsteklotoideparameter mellom Norge og alle de fem andre landene

Resultatene viser at landene ligger stor sett i nærheten av hverandre, hvor kun USA 2 og Storbritannia 2 står litt ut.

6. Konklusjon

- Oppsummering og diskusjon:

Overhøyde:

I første del av oppgaven ble det sett på hvilken overhøyde verdier og formler som brukes i de fem ladene. Ved takkfall bruker fire av landene 2,5% mens USA og Norge er unntaket med 2% og 3%.

Det virker som at det er mulighet å gå fra 3% til 2,5% uten at det har så mye virkning på minste legde av overhøydeoppbygging $L_{0,min}$ og minsteklotoide A_{min} . Fordeler med det blir at det trengs mindre lengde for å bygge opp overhøyden og at det blir likhet på verdien med andre europeisk land. Ulempen med det kan være at veien blir flattere og kan føre til vann problemer.

Ved kurver brukes det varierende verdier for maksoverhøyde i de forskjellige landene. Sverige bruker minste verdien av alle på 5,5% mens Tyskland bruker 6% og både Danmark og Storbritannia bruker 7%. USA bruker største maksoverhøyde mellom landene med 12% men det er 10% som brukes mest og 8% ved områder med snø og is.

For å finne effekten av de forskjellige overhøyde verdiene på minste horisontalkurven R_{min} og minste lengde av overhøydeoppbygging $L_{0,min}$ ble det tatt en beregnings runde for de fem nye dimensjoneringsklassene. Først med norske formler og utalandske forutsetninger for alle landene, så blir det gjort med formlene fra de ulike ladene. Fiksjonen og hastighet verdien i noe tilfeller ble også endret og det gjør at beregningsresultatene blir ikke helt eksakt representerende.

Formelen for minste horisontalkurven er den samme i alle landene bortsett fra Storbritannia som har sin egen formel, denne ble regnet ut også.

Når det gjelder formlene for minste lengde av overhøydeoppbygging så har fire av landene til felles at formlene tar hensyn til bredden av kjørefeltet eller avstanden fra vegkanten til rotasjonsaksen (som blir stor sett det samme).

Norge er den eneste som bruker disse to parameterne a og v_{vf} som står for avstand mellom høyre og venstre hjul og relativ vertikalfart. Dette kan det ses nærmere på for å finne ut hvor disse parameterne har kommet fra og om det er en mulighet å erstatte dem med noe annet som kan være nærmere det som brukes i de andre landene.

Beregningsresultatene for R_{min} og $L_{0,min}$ viser at Danmark og Storbritannia med en overhøyde på 7% ligger ikke så langt fra norske resultatene med 8%. Mens resultatene for Sverige og Tyskland med en overhøyde på 5,5% og 6% gir en større forskjell enn det med 8%. Resultatene fra USA med overhøyde på 12% gir mindre R_{min} og en varierende resultat for $L_{0,min}$

Norge hadde en maksoverhøyde på 7% før det gikk opp til 8% i 1992, resultatene viser at en endring tilbake til 7% har ikke så stor påkjenning på både R_{min} og $L_{0,min}$. Fordelen med det kan være at det blir mindre masser som trenges for å bygge kurvene og det fører til at det blir billigere å bygge veier. Ulempen kan være at terrenget i Norge krever brattere kurver enn det som kan oppnås med 7%.

Klotoideparameter:

I andre delen av oppgaven ble det sett på hvilke krav som stilles til overgangskurven i de forskjellige landene og det ble tatt en beregning av A_{min} for de forskjellige beregningskombinasjoner fra første delen av oppgaven. A_{min} ble også kontrollert imot kravene som stilles i de landene.

Sverige har tabell som viser krav til maksimum størrelsen på R_{min} ved bruk av overgangskurver. Klotoider har to krav, minst klotoideparameter A_{min} og estetiskkrav.

Danmark har tre krav til klotoiden, minst klotoideparameter A_{min} , estetiskkrav som er forskjellige i forhold til de ulike R_{min} størrelsene og en kjøredynamikk krav.

Tyskland har to krav til klotoiden, minst klotoideparameter A_{min} med en minimumsverdi fra en tabell som må oppfylles og en estetiskkrav.

Storbritannia bruker ikke formelen for minst klotoideparameter A_{\min} og har kun krav til klotoidelengden.

USA har krav til maksimal størrelsen på kurveradiusen ved bruk av klotoider. Formelen for minst klotoideparameter A_{\min} brukes ikke men det stilles krav til minsteklotoide lengde og maksklotoide lengde.

Beregningsresultatene viser at landene ligger stor sett i nærheten av hverandre, hvor beregningen med USA sin formel gir minste verdier og med Storbritannias formel gir største verdier. Norge hadde tidligere brukt tre krav i tillegg til minste klotoideparameter A_{\min} , som var kjøredynamikk, kurvelengde og estetikk. Men resultatene viser det er ikke nødvendig for flere siden verdiene havner ganske tett til hverandre.

Konklusjonen:

Konklusjonen på overhøyde delen blir at det kan være mulighet å gå tilbake til 7% (som ble brukt før 1992) uten at det gir så mye effekt på minste horisontal kurve og minste lengden av overhøydeoppbygging, men det kan være noen ulemper med den.

Mens konklusjonen på klotoideparameter delen blir at det å ha flere krav gir ikke nødvendigvis så mye mer nytte enn det som brukes i dag.

Referanser

Statens vegvesen (2014). Håndbok V120

Statens vegvesen (2014). Håndbok N100

Trafikverkets publikation (2015:086). Publikasjonen "Krav för Vägars och gators utformning"

Trafikverkets publikation (2015:090). Publikasjonen "Vägars och gators utformning– Begrepp och grundvärden"

Vejregler (Oktober 2012). Håndbok "Tracering i åbent land–Anlæg og planlegning"

Vejregler (Oktober 2012). Håndbok "Grundlag for udformning af trafikarealer"

Road and Transportation Research Association (2008/Trans. 2011). Håndboken "Guidelines for the Design of Motorways RAA"

The Highways Agency/Scottish executive development department/The National Assembly for Wales/The department for regional development Northern Ireland (2002). Håndboken "Highways link design"

American Association of State Highway and Transportation Officials (2011–6th utgave, Washington DC.). Håndboken "A Policy on Geometric Design of Highways and streets"