

TRACERING AF VEJE I ÅBENT LAND.

Af Lars Juhl Poulsen.

I gamle dage - og det vil her sige indtil for et par hundrede år siden - var tracering et ukendt begreb i forbindelse med vejbygning. Den gamle verdens anlagte veje var stort set retlinede og lå direkte på det eksisterende terræn. De retlinede forløb var begrundet i, at den rette linie jo gav den korteste vejlængde, og i at gamle dages vogne normalt ikke var forsynet med drejelig foraksel og derfor heller ikke egnet til kurvækørsel. Endelig gav de åbne retlinede stræk skarnsfolk dårlige arbejdsbetin- gelser.

Med starten på det europæiske jernbanenets udbygning i begyndelsen af for- rige århundrede var den rette linie ikke længere tilstrækkelig som eneste linieføringsselement. Knækkene mellem de retlinede delstrækninger måtte af kørselsdynamiske årsager nødvendigvis afrundes med kurver, og det viste sig hurtigt, at en cirkelbue alene ikke var nok, idet jernbanetogene ikke momentant kunne køre fra en ret linie (med krumningen = 0) og ind i en cirkelbue (med konstant krumning større end 0). Overgangskurver var nød- vendige for gradvis at ændre krumningen fra 0 til cirkelbuens krumning. Parablen blev den mest benyttede overgangskurve inden for jernbanebygning- gen. - Endvidere var det med jernbanernes fremkomst ikke længere muligt slavisk at følge det eksisterende terræn, - jernbanerne måtte have deres eget udjavnede længdeprofil. En ny teknisk disciplin, tracering, var op- stået.

Inden for vejbygningen klarede man sig dog fortsat med den gamle tids geo- metriske traditioner gennem hele 1800-tallet. Men med bilernes stigende antal og øgede hastigheder i årene mellem 1. og 2. Verdenskrig blev det nødvendigt at overføre de kørselsdynamiske principper fra jernbanebygning- gen til vejbygningen. Samtidig fandt man i Tyskland på, at man kunne spare vejlængde ved i stedet for små, korte cirkelbuer at benytte store, lange cirkelbuer som afrunding mellem de (på grund af terrænets stigende antal hindringer) efterhånden mange retlinede delstrækninger. Og sparet vejlæng- de var også sparet transport, - og den slags argumenter havde vægt i Wei- marrepublikkens økonomiske armod. I kølvandet på disse betragtninger fulg- te så en stigende interesse for at skabe vejanlæg, som harmonerede med landskabets kurvede linier. Kravet om arkitektonisk bearbejdning blev i datidens Tyskland lige så naturligt for vejanlæg som for bygværker. Og her

kom de kørselsdynamiske og de æstetiske betragtninger til at gå hånd i hånd: et stort indslag af store, lange cirkelbuer samt brug af overgangskurver tilgodeså begge hensyn under ét. Den rette linie var ikke længere dominerende i den moderne vejs linieføring. Som overgangskurve mellem den rette linie og cirkelbuen valgte man klotoiden, fordi denne - som bekendt - har den egenskab, at den lineært ændrer krumningen fra den rette linies krumning = 0 til cirkelbuens konstante krumning.

Men det harmoniske vejforløb var ikke gjort med disse nye linieføringsprincipper. Det blev hurtigt klart, at også længdeprofilets udformning var af stor betydning for vejilledet. Og til en rigelighed måtte man ydermere erkende, at en rigtig sammensætning af linieføring og længdeprofil var helt afgørende for et harmonisk vejforløb. Traceringsdisciplinen var nu blevet til et spørgsmål om at udforme og sammensætte linieføring og længdeprofil, så man fik en flydende og optisk god vejføring, der harmonerede med landskabets linier og elementer. Denne udvikling tog fart i Tyskland under 2. Verdenskrig og kom til udtryk i efterkrigstidens smukke tyske vejanlæg. Uden for Tyskland var man opmærksom på de nye tider, men det kneb med den dybere forståelse for metoderne til at opnå de æstetisk gunstige resultater, - og det gør det stadigvæk. Så her står vi altså nu.

Årsagen hertil er formentlig, at der i vejregler og lærebøger uden for Tyskland kun ofres meget lidt plads på emnet. Viljen til korrekt tracering kommer ellers ofte nok til udtryk i florumvundne indledninger til de sparsomme afsnit, men når det gælder egentlige regler og læresætninger, som kan hjælpe den stakkels ingeniør til at opnå det vidtløftige mål, er oplysningerne ikke bare få og ufuldstændige, men også forskellige og tilfældige. Nu skal det dog retfærdigvis medgives, at tracering er en vanskelig disciplin, og at der ikke kan opstilles et samlet sæt regler, der automatisk sikrer et 100% gunstigt resultat. Men en del regler kan der gives, - regler som gør det muligt at "skyde sig godt ind på" en god løsning, og som gør det lettere at analysere det edb-udtegnede perspektivbillede med henblik på forbedringer.

I det følgende gennemgås de traceringsregler, man kan stykke sammen ved at søge i diverse vej- og projekteringsregler, vejbygningslærebøger m.v.

Da de måske kan virke lidt uigennemskuelige og til dels også er ufuldstændige, vil de blive kommenteret, uddybet og suppleret.

LINIEFØRING.

Den rette linie.

1. Der bør vises tilbageholdenhed ved anvendelsen af lange rette linier. Disse bør kun være nogle få kilometer, afpasset efter terrænet.
2. Man bør være opmærksom på, at retlinier normalt er vanskelige at tilpasse landskabsformerne.

I fladt terræn kan dette linieføringsselement være motiveret, især langs retlinede skovbryn eller andre rette linier i landskabet.

Ligeledes kan en retlinet linieføring være velbegrundet på damninger eller på storbroer over åbent vand.

Lange, retlinede strækninger synes at forøge ulykkesrisikoen, fordi de virker trættende og hæmmer afstands- og fartsbedømmelsen. Korte, retlinede strækninger mellem ensvendte kurver giver en æstetisk uheldig linieføring.

3. Faste retningslinier for, hvor korte eller hvor lange de retlinede strækninger bør være, kan ikke gives. Det kan dog eksempelvis nævnes, at man i Tyskland stræber efter at holde de retlinede strækninger inden for de grænser, der fremkommer ved multiplikation af dimensionsringshastigheden i km/time, udtrykt som rent tal, med henholdsvis 6 og 20. Resultatet angiver ydergrænserne for længden af en retlinet strækning i meter.

På de senest udførte tyske motorveje ses dog ikke retlinede strækninger over en kilometers længde.

4. Man må være opmærksom på, at rette linier ofte virker stærkt opdeltende på landskabet; kurver lader sig lettere indpasse.

At fastlægge øvre og nedre grænser for rette liniers længde anses ikke muligt; det afhænger af den landskabelige situation og af vurderingen af vejbilledet.

Parallellitet med stærkt dominerende rette linier i topografien kan være en acceptabel begrundelse og ligeså kan en orientering imod væsentlige orienteringspunkter. Endvidere kan rette linier eller kurve med stor radius være begrundede på strækninger med til- og frakørsler.

5. Hvis man overhovedet skal projekttere retlinede vejstrækninger, så må de erfaringsmæssigt ikke under noget påskud være over et minut lange, og i princippet bør man som grund have f.eks., at vejen skal rettes ind efter et fjernpunkt, som alle bør se, hvad man så vil gøre i den anden retning, må afgøres i hvert enkelt tilfælde. En anden grund, der er knap så håndgribelig, og i sig selv rummer en fare for at blive misbrugt - hvilket dog ikke forhindrer dens berettigelse - er afveksling fra forudgående kurvede stræk.
6. En flydende linieføring består i almindelighed af kurver og contra-kurver. Man bruger kun rette linier i exceptionelle tilfælde.

Som det ses, har fortidens suveræne tracersselement mistet sin dominans i moderne tracering. Og dette er af flere grunde helt berettiget. Men den modvilje mod rette linier, der tydeligt anes i pkt. 4, 5 og 6, og som en overgang var ved at udvikle sig til et regulært felttog mod den rette linie, er urimelig. Den rette linie har bestemt sin berettigelse som ligeværdigt tracersselement. Problemet er, at den landskabssituation, hvor den rette linie med fordel kan bruges, ikke optræder særlig hyppigt, fordi landskabets egne linier jo i regelen er kurvede. Men hvor der i forvejen findes markante menneskeskabte rette linier af en vis udstrækning (vel 0,5 - 2 km) i et fladt landskab, bør den rette linie absolut komme på tale. Det kan f.eks. være langs med store retlinede højspændingsledninger, lange retlinede skovbryn, hegn, diger, jernbaner, kanaler m.v. Her er den ikke bare "acceptabel" (jf. pkt. 4), - her er den på forhånd favorit, hvis den kan anlægges på de samme 0,5 - 2 km som nævnt ovenfor, og hvis den ydermere kan kombineres med et længdeprofil, der gør, at man kan se den retlinede strækning på hele det fælles forløb langs med højspændingsledningen, skovbrynet eller hvad det nu er. - Skal man projekttere to-sporede veje, har den rette linie jo sine ubestridelige fordele i overhalingssammenhæng, og man vil derfor være fristet til at bruge rette linier i højere grad end landskabet tilsiger. Men prøv, om ikke de retlinede stræk kan lægges langs andre lige linier i terrænet, dog i hvert fald i de fladere dele af landskabet, så store gennemskæringer og dæmninger eller "vaskebræt-længdeprofiler" undgås. Indlæg eventuelt de retlinede stræk ved at forlænge overgangskurverne mellem modsat rettede cirkelbuer. Nogle få hun-

drede meter er ofte nok af hensyn til overhalingsmulighederne, og en sådan løsning er ikke nødvendigvis en æstetisk ulempe (mere herom senere). Glem i øvrigt ikke, at overhalingssigt også kan klares med store cirkelbuer.

For så vidt angår den "rigtige" længde af den retlinede strækning kan der ikke siges noget bestemt. Det er den enkelte landskabssituation og til dels vejens kronebredde, der afgør den rigtige længde. Det er dog nok de færreste steder, man slipper godt fra at anlægge en retlinet strækning, som er mere end et par km lang. Bliver den længere, begynder de sikkerhedsmæssige ulemper at veje tungt: for høj fart, svigtende koncentration, kedsommelighed. Det under pkt. 3 anførte om grænserne for den rette linies minimale og maksimale længde skal ikke tillægges for megen værdi, - bl.a. fordi der i det anførte er tale om en fejltolkning af de tyske vejregler (faktorerne 6 og 20 gælder for to helt forskellige måder at bruge den rette linie på og kan derfor ikke umiddelbart sammenstilles).

Endelig skal man være opmærksom på, at det er uheldigt at indlægge en kort retlinet strækning mellem to ensvendte cirkelbuer.

Cirkelbuen.

7. Af æstetiske grunde bør kurvelængden ved vinkeldrejninger på mindre end 5° ikke gøres kortere end 30 gange kronebredden.
8. Man skal undgå at anvende så store radier, at kurverne ligner dårligt afsatte rette linier. Radier over 20 km bør kun anvendes efter nøje undersøgelse.

Reglen i pkt. 7 stammer fra den moderne tracerings barndom, hvor den havde til formål at sikre mod "tommestoktracering" i en tid, hvor den rette linie stadig var det basale linieføringselement. Reglen skulle sikre en vis mindste længde af kurverne i linieføringen for at få et mere flydende forløb. En god lille regel, som stadig er værd at huske. Se fig. 1 og 2.



Fig. 1. "Tommestoktraceringens" små kurver giver indtryk af knæk mellem de retlinede delstrækninger.



Fig. 2. De længere kurver mellem de retlinede stræk giver et mere flydende og "landskabsvenligt" forløb.

I øvrigt bør man være forsigtig med at anvende så små vinkeldrejninger, som anført i pkt. 7. De kan i flade og storliniede landskaber give anledning til et "flimret" vejforløb. Bedst er det, hvis vinkeldrejningen kan komme over ca. 15° . Generelt er det sådan, at jo mindre vinkeldrejningen er, jo større radius skal cirkelbuen have. Men hvor stor en radius kan man egentlig anvende? Den i pkt. 8 angivne maksimumsradius på 20.000 m er nok ikke helt gal, men igen er det landskabssituationen, der afgør sagen. De store radier kræver dog ikke bare flade eller storliniede landskaber; man skal også være opmærksom på, at den synlige del af kurven skal have en vinkeldrejning på mindst ca. 5° . For en radius 20.000 m medfører dette krav, at kurven skal være synlig mindst 1745 m frem(!).

Om cirkelbuernes radius i øvrigt kan generelt siges, at det i regelen er landskabets konturer, der bestemmer radierne. Det vil kun sjældent være de sikkerheds- og komfortmæssige krav til minimumsradius, der bliver bestemmende.

Dog skal man være opmærksom på, at kurveradierne - mest af sikkerhedsmæssige grunde - i et linieforløb ikke må ændres for brat, - især ikke på veje med mindre radier. En cirkelbues radius skal være mindst halvt så stor som nabokurvens radius.

Overgangskurven.

Som tidligere nævnt blev den kørselsdynamiske nødvendighed af at indlægge overgangskurver mellem de rette linier og cirkelbuerne erkendt allerede under anlægget af de første jernbaner. Et tog kunne ikke momentant køre fra en ret linie med krumningen 0 og ind i en cirkelbue med en konstant krumning $\neq 0$. Det var nødvendigt at indlægge en overgangskurve, som gradvist forøgede krumningen. - For bilerne gælder naturligvis de samme kørselsdynamiske love, men på grund af kørebanearealernes "overbredde" er det

muligt for bilerne at følge de naturlovgivne overgangskurver også på veje, hvor der ikke er benyttet overgangskurver i linieføringen. Men selv om det forholder sig således, er det dog en indlysende kørselsdynamisk (og dermed også komfort- og sikkerhedsmæssig) fordel at benytte overgangskurver i linieføringen, så bilerne får mulighed for at følge køresporsmidterne også ved ind- og udkørsel af kurverne.

Set fra et æstetisk synspunkt er overgangskurverne også fordelagtige. På fig. 3 ses overgangen fra en ret linie til en cirkelbue uden brug af overgangskurve. Den bratte "knækagtige" overgang forstærkes af, at der skal etableres overhøjde (ensidigt tværfald) inden kurven, hvilket i det perspektiviske billede medfører et udadgående knæk i den yderste kørebane kant (modkrumning i denne lige inden kurven).



Fig. 3. Uden overgangskurve.

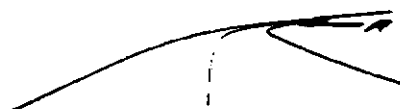


Fig. 4. Med overgangskurve.

Ved at indlægge en overgangskurve fås en meget blødere overgang til cirkelbuen (fig. 4), og ved at opbygge overhøjden i overgangskurven kan den negative virkning heraf på det perspektiviske billede modvirkes.

Der er altså al mulig grund til at benytte overgangskurver i sin linieføring. Og ikke bare på de store veje, - også på de små veje og stierne. Med de moderne edb-programmer er det ikke engang besværligt, så der er absolut ingen gyldige grunde til at udelade overgangskurverne.

Som overgangskurve i vejbygningen benyttes den bekendte klotoid. Den kørselsdynamiske fordel ved klotoiden består i, at krumningen tiltager lineært gennem klotoiden, hvilket svarer til en køremåde, hvor man drejer på rattet med konstant vinkelhastighed; - en køremåde, der stemmer særdeles godt med praksis. Den lineært tiltagende krumning medfører, at også sideaccelerationen tiltager lineært, og det eneste kørselsdynamiske krav, der stilles til klotoiden, knytter sig til den "hastighed", hvormed sideaccelerationen tiltager, - det såkaldte ryk, som ikke må være for stort. Dette vil dog i praksis altid være tilstrækkeligt lavt, når de nedenfor anførte æstetiske krav til klotoideparameteren er opfyldt.

De æstetiske krav til klotoiden går på, at den visuelle virkning skal være tydelig. Dette sikres ved, at klotoidparameteren A har en vis passende størrelse, sammenholdt med cirkelbuens radius R . Vedrørende dette kan nedenstående sætninger tages som repræsentative for den gængse vejbygningslitteraturs behandling af emnet:

9. Klotoidparameteren bør normalt ligge i intervallet fra $1/4 R$ og til $1/2 R$.
10. Tangentvinkeldrejningen gennem en overgangskurve bør være mindst $2 - 3^{\circ}$, således at man undgår indtrykket af et knæk mellem de to linieføringslementer, der forbindes af overgangskurven. Dette svarer til, at parameteren A skal være større end $1/4 R - 1/3 R$.
11. Klotoiden skal have en passende vinkeldrejning, hvilket er mindst 3° , svarende til $A \geq 1/3 R$.

Det er karakteristisk, at der ikke skelnes mellem, om R er lille eller stor. Dette er egentlig en mangel, for i virkeligheden bør klotoidparameteren vælges relativt større, jo mindre cirkelbuens radius er. Som vejledning kan benyttes følgende:

For $R < 300 - 400$ m	vælges $1/2 R \leq A \leq 2/3 R$
For $300 - 400$ m $< R < 4000 - 5000$ m	vælges $1/3 R \leq A \leq 1/2 R$
For $R > 4000 - 5000$ m	vælges $1/5 R \leq A \leq 1/3 R$

For $R < 300 - 400$ m er der ikke bare æstetiske grunde til, at A skal være relativt stor. Også det kørselsdynamiske krav om, at rykket ikke må være for stort, fordrer, at $A \geq 1/2 R$. Klotoider af denne størrelse bliver dog relativt lange og kræver derfor megen "plads" i linieføringen, - et forhold man skal være opmærksom på, når man tracerer på mindre veje.

For $R > 4000 - 5000$ m vil brug af større klotoidparametre end de ovennævnte medføre meget lange næsten retlinede stræk i nærheden af klotoidernes uendelighedspunkter. Dette vil være særlig udtalt ved vendeklotoider mellem store modsat vendte cirkelbuer, og da det både er æstetisk tvivlsomt og endvidere giver problemer med at finde det rette sted for vending af vejens tværfald, bør man vælge klotoidparametrene passende små som ovenfor anført. Der kan dog så i flade eller storliniede landskaber opstå det problem, at en vendeklotoid bliver for kort, hvorved vejforløbet kom-

mer til at fremtræde stærkt slynget ("proptrækkervirkning"). For at give linien det rette "flow" kan man så indlægge en kort retlinet strækning - nogle få hundrede meter lang - mellem de to modsat vendte klotoider, og den retlignede strækning udføres med tagformet tværprofil (så har man også tacklet problemet med tværfaldet på en god måde). Længden af den retlignede strækning bestemmes af, at de to modsat rettede cirkelbuers indbyrdes placering fastlægges (og fastholdes) ud fra så store klotoidparametre i vendekurven, at det rette "flow" må antages at være sikret.

Eksempel:

To modsat rettede $R = 6000$ m i et fladt landskab kan sikres det rette flow i linieføreløbet ved at indlægge en vendeklotoid med to $A = 2000$ m. Af de ovennævnte grunde vælges i stedet to $A = 1500$ m med en ret linie imellem. Fastholdes cirkelbuernes beliggenhed svarende til de to $A = 2000$ m, bliver den retlignede strækning mellem de to $A = 1500$ m ca. 363,7 m lang.

Endelig skal nævnes, at man på veje med lidt større radier (vel $R \geq 1000$ m) sagtens kan anvende klotoiden som en slags selvstændigt trace-ringselement ved at lade klotoidparameteren være så stor som $A = R$. På veje med meget små radier ($R \leq$ ca. 200 - 300 m) kan det derimod være sikkerhedsmæssigt uheldigt at anvende så store klotoidparametre: klotoiden ser tilforladelig ud i starten, så man nedsætter måske ikke farten synderligt, - man opdager måske ikke, at klotoiden bliver ved med at krumme mere og mere hen imod en lille kurveradius, og så kan det gå galt.

Endelig kan en meget stor klotoidparameter i nogle tilfælde føre til, at den efterfølgende cirkelbue bliver meget kort, hvis den også efterfølgende "rettes ud" af en meget stor klotoid, og dette vil være æstetisk uheldigt, fordi det set fra vejen giver indtryk af et knæk i linieføringen på det sted, hvor den korte cirkelbue ligger.

Mellem ensvendte cirkelbuer bør man også indlægge en overgangskurve - en ægklotoid, - i hvert fald hvis forholdet mellem radierne er mindre end ca. 0,7. Klotoidparameteren vælges her i intervallet $1/2 R < A < R$, hvor R betegner radius for den mindste af cirkelbuerne.

LÆNGDEPROFIL.

Om længdeprofilet er der isoleret set ikke meget at sige i relation til æstetiske betragtninger. Længdeprofilets udformning må ses i sammenhæng med den linieføring, det skal kombineres med. Men inden vi bevæger os over i dette emne, er der grund til at ramme en pæl igennem et par af de sætninger, der ses i den gængse vejbygningslitteratur vedrørende længdeprofilets udformning set ud fra et æstetisk synspunkt.

12. Mindste vertikalradius (m) $R_{\min} = \frac{V}{\alpha}$, hvor V er dimensionerings-
hastigheden (km/t) og α er stigningsændringen (rent tal).
13. En konkav og en konvex kurve kan ved større radier sammensættes direkte uden mellemliggende ret linie.
14. Der bør aldrig indføres et kort retlinet stykke i længdeprofilet mellem to ensvendte kurver. Den rette linie bør erstattes af en eller flere cirkelbuer.

Regelen i pkt. 12 stammer formentlig fra den moderne tracerings barndom og har til formål at sikre en passende stor vertikalradius. Men regelen er helt utilstrækkelig (læs: ubrugelig), - vertikalradius kan ikke fastlægges isoleret, men skal altid fastlægges i relation til den tilhørende linieføring.

Regelen i pkt. 13 skal der ligeledes advares imod. Også i længdeprofilet er der brug for overgangsstrækninger mellem modsat rettede cirkelbuer for at sikre det flydende forløb ("flow'et") og for at modvirke risikoen for, at vejen i det perspektiviske billede forsvinder på en delstrækning. Da længdeprofilets radier er meget større end linieføringens, er det tilstrækkeligt at bruge rette linier som overgangsstrækninger mellem længdeprofilets cirkelbuer. De rette linier og cirkelbuerne kan passende udgøre omtrent lige store dele af længdeprofilet. De retlinede stræk i længdeprofilet skal dog som minimum dække tilstrækkeligt store dele af linieføringens vendeklotoider (herom senere).

Regelen i pkt. 14 har ikke universel gyldighed. Den gælder, hvor linieføringen er en ret linie eller en cirkelbue, men ikke ubetinget hvor linieføringen ligger i vendeklotoider (herom senere).

TRACÉ.

Tracéen er som bekendt den rumkurve, der fremkommer, når linieføring og længdeprofil kombineres. Og denne rumkurve kan - set fra vejen - tage sig ganske anderledes ud end man umiddelbart forestiller sig, når man sidder ved skrivebordet og betragter sin optegnede linieføring på en plantegning. Længdeprofilets form har afgørende indflydelse på det optiske forløb (vejbilledet, perspektivet). Husk derfor, at en linieføring **aldrig** må frigives, før det er dokumenteret, at der kan udføres et tilhørende længdeprofil, som sikrer et harmonisk, optisk godt (og dermed trafiksikkert) vejforløb. Udtegn perspektiver på steder, hvor der er den mindste tvivl og korriger om nødvendigt linieføring og/eller længdeprofil.

Men hvordan skal man så kombinere linieføring og længdeprofil? Lad det være sagt med det samme: det kan være svært, fordi landskabets form ofte er en djævelsk modspiller. Traceringen er en - til tider lang - iterationsproces, hvori både linieføringsændringer og længdeprofilændringer indgår. Men ved at følge de nedenfor anførte regler kan man i regelen nå frem til et godt resultat, - og i hvert fald sikre, at intet har været uprøvet som følge af uvidenhed.

Traceringens grundregel, som i lidt forskellige formuleringer kan læses i stort set alle regler og lærebøger, lyder:

15. "En horisontalkurve bør kombineres med en vertikalkurve, og det bør tilstræbes, at horisontalkurven overlejrer vertikalkurven. Horisontalkurven skal med andre ord begynde før og slutte efter vertikalkurven. Er vertikalkurven konkav, må den dog ikke være for kort, da den så kan tage sig ud som en horisontal kontrakurve i vejbilledet".

Eller sagt med andre ord: faserne og faseskiftene skal være sammenfaldende i linieføring og længdeprofil, se fig. 5.

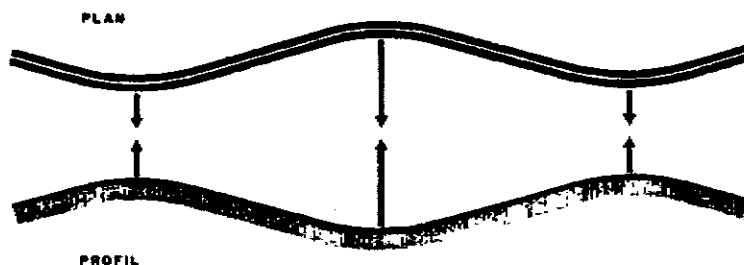


Fig. 5. Rigtig sammensætning af linieføring og længdeprofil. Faser og faseskift er sammenfaldende.

Denne grundregel er fundamentalt rigtig, men ufuldstændig. Der mangler den meget væsentlige tilføjelse, at vertikalradius skal være meget større end den tilhørende horisontalradius. Skal man være på den sikre side, skal der gælde

$$R_V \geq 10 \times R_H,$$

hvor R_V er vertikalradius og R_H er horisontalradius. Men hvorfor nu det, og hvor er "grænsen"? Betragt hertil fig. 6.

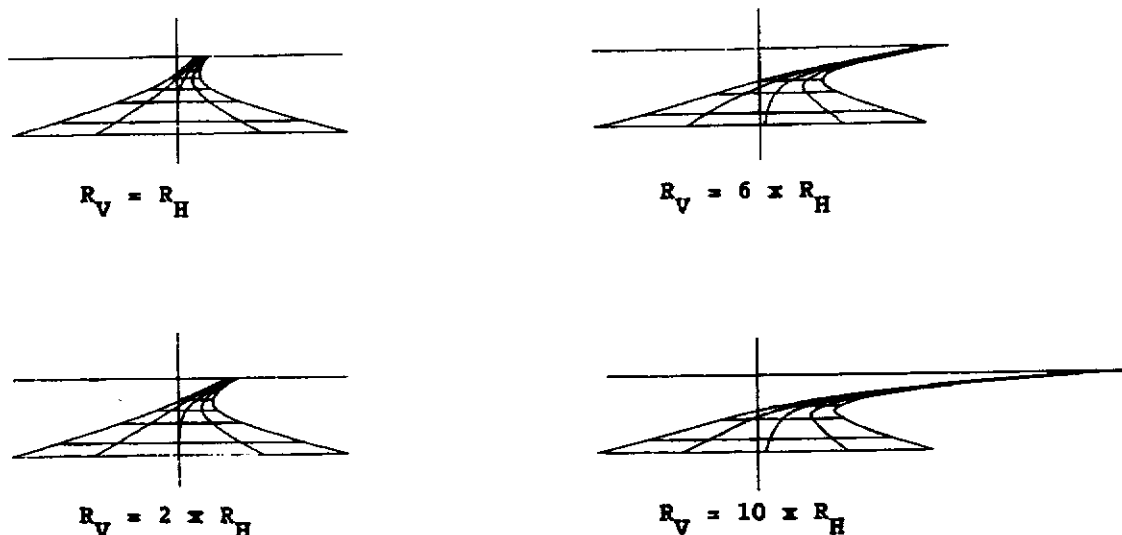


Fig. 6. For små vertikalradier ændrer opfattelsen af horisontalkrumningen.

For $R_V = R_H$ og $R_V = 2 \times R_H$ er det ikke særlig tydeligt, at man befinder sig i en højredrejende horisontalkurve. Det er længdeprofilets krumning man ser, - ikke så meget linieføringens. Det er så at sige længdeprofilet, der her "tegner" vejbilledet. Bemærk specielt, at ydersiden af kurven (venstre side) krummer modsat linieføringen. For $R_V = 10 \times R_H$ er længdeprofilets indflydelse på vejbilledet elimineret. Grænsen ligger et sted mellem $R_V = 6 \times R_H$ og $R_V = 8 \times R_H$. Bruger man en for lille R_V - og er den oven i købet kort - får man et vejbillede, som vist på fig. 7. Man ser tydeligt modkrumningen i vejens yderside og det uharmoniske forløb af vejens inderside.



Fig. 7. Vertikalkurve med for lille radius beliggende i en noget længere horisontalkurve. Vejbilledet udviser en $\frac{1}{2}$ modkrumning på den strækning, hvor vertikalkurven ligger. . . ven ligger

De ovennævnte betragtninger har handlet om konkave vertikalkurver, men regelen $R_V \geq 10 \times R_H$ gælder også for konvekse vertikalkurver, og også her ligger grænsen et sted mellem $R_V = 6 \times R_H$ og $R_V = 8 \times R_H$. Benyttes man mindre vertikalradier vil man i vejbilledet få indtryk af, at vejen er "skåret af" forude, den forsvinder pludselig, - man ser ikke horisontalkrumningen "til ende" (fig. 8 til venstre).



Fig. 8. Til venstre: for lille vertikalradius "skærer vejen af". Til højre: tilstrækkelig stor vertikalradius giver det korrekte vejbillede.

Overføres de ovennævnte betragtninger på klotoiden, vil det være klart, at man kommer på glatis, hvis man lader længdeprofilet krumme over hele klotoidens længde, fordi klotoidens radius jo stiger og stiger hen imod uendelighedspunktet. Sagt med andre ord: længdeprofilet skal være retlinet hen over klotoiden (og heri er så en af grundene til, at der skal være retlinede overgangsstrækninger i længdeprofilet). Lad os se på nogle eksempler (fig. 9):

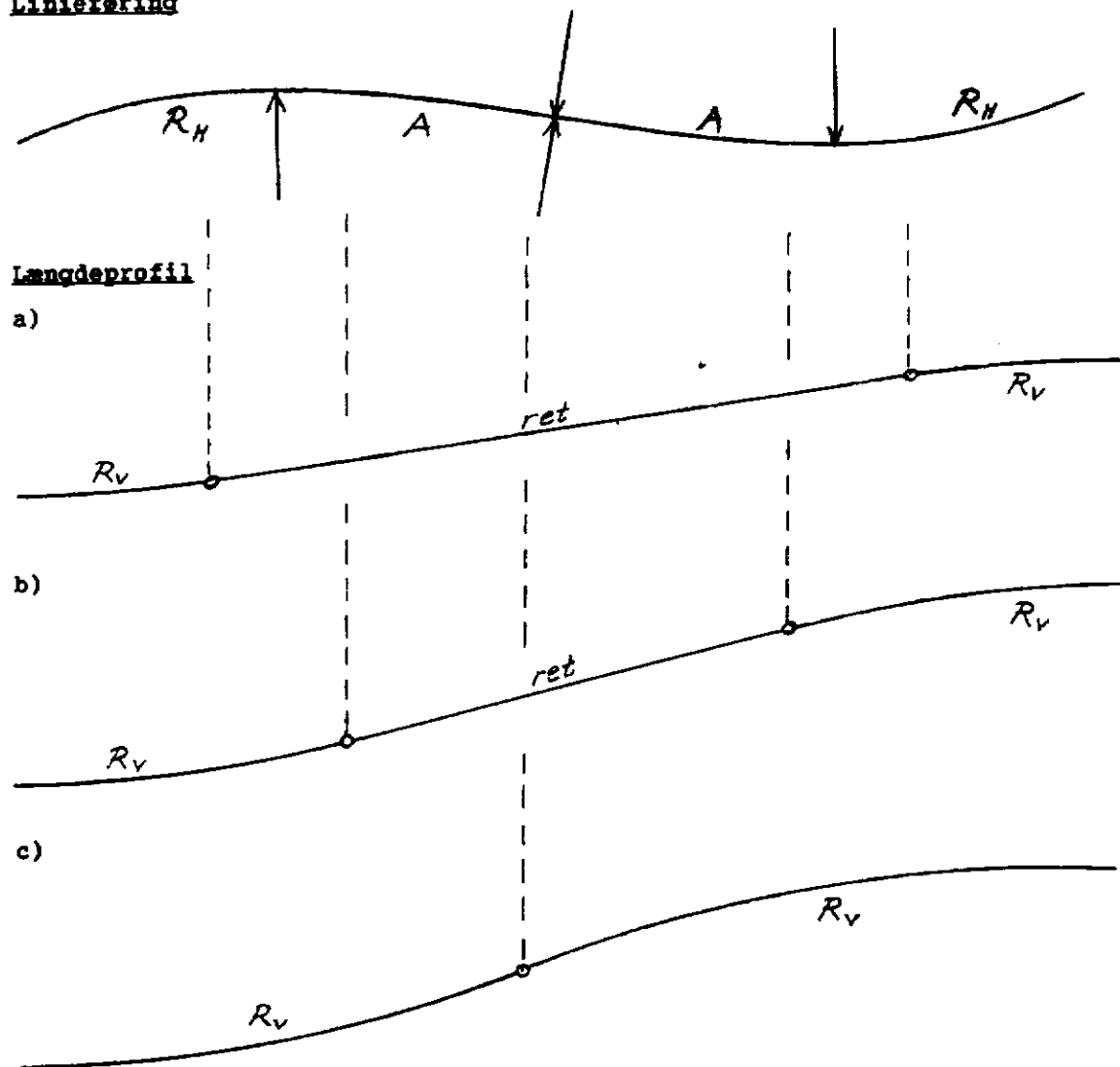
Linieføring

Fig. 9. Længdeprofillet i vendeklotoide. a) og b) går godt, men c) gør ikke.

Længdeprofil a) går selvsagt fint, når blot $R_V \geq 10 \times R_H$.

Længdeprofil b) går også fint, når $R_V \geq 10 \times R_H$ og R_V ikke rækker længere ind over klotoiden end $1/3$ af klotoidelængden. Her er klotoidens radius jo nemlig $3/2 \times R_H$, svarende til at R_V stadig er større end 6,67 gange klotoidens radius, - og det er jo godt nok.

Længdeprofil c) krummer hen over klotoidernes uendelighedspunkter. Det går ikke, - vejbilledet bliver uforudsigeligt omkring vendepunktet, og der er risiko for, at vejen forsvinder på en del af vendestrækningen.

Det kan nu og da være svært at sikre fasesammenfaldet mellem linieføringen og længdeprofillet. Tracéen skal jo også passe til landskabet. Hvis man er i

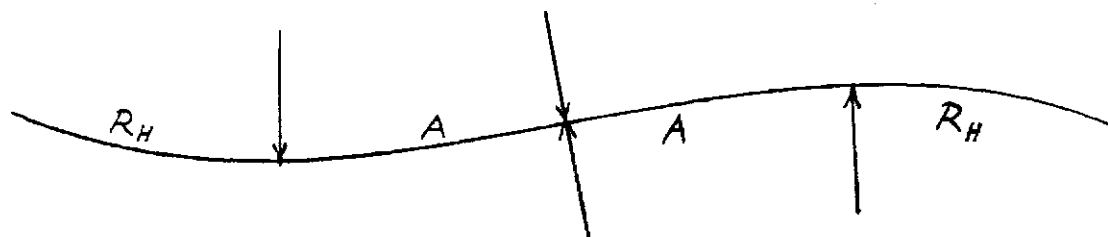
en sådan situation, skal man prøve at undgå, at længdeprofillet ændres i flere punkter end linieføringen. Det vil ofte føre til et uroligt, springende eller i bedste fald bølget vejforløb. Man kan lidt hyppigere slippe godt fra, at linieføringen ændres i flere punkter end længdeprofillet. De situationer, man så kommer i, er

- a) retlinet længdeprofil over flere linieføringselementer,
- b) stor og lang konkav kurve over vendeklotoide,
- c) stor og lang konveks kurve over vendeklotoide.

a) giver ikke nogen problemer med det optiske forløb i sig selv, men der er fare for flimmer eller uotiverede sving i vej billedet.

b) er undtagelsen, der bekræfter regelen om, at længdeprofillet skal være retlinet hen over en klotoide. Situationen fremgår af fig. 10, og som det ses, opnås der et flydende og harmonisk vej billedet.

Linieføring



Længdeprofil



Vejbilledet



Fig. 10. Stor konkav R_V over vendeklotoide. Den modkrumning, der i vej billedet så småt opstår hen imod den første klotoides slutning (pilen) glider fint over i den begyndende, modsat rettede krumning af den anden klotoide. I vej billedet ser man vendepunktet som liggende før det virkelige vendepunkt (som altså ligger ved pilen).

c) fremgår af fig. 11, og som det ses giver denne kombination et uheldigt vej-billede: vejen "forsvinder" i vendepunktet (og drejer herefter til mod-sat side, hvad man ikke kan se).

Linieføring



Længdeprofil



Vejbillede



Fig. 11. Stor konveks R_v over vendeklotoide giver et uheldigt vej-billede. Vejen "forsvinder" i vendepunktet. Jf. i øvrigt fig. 8 (til venstre).

Det uheldige vej-billede i fig. 11 kan ændres til det bedre ved at udføre længdeprofilet som i fig. 12. Her er længdeprofilet retlinet hen over klo-toiderne, så trafikanten kan se vendestrækningen.

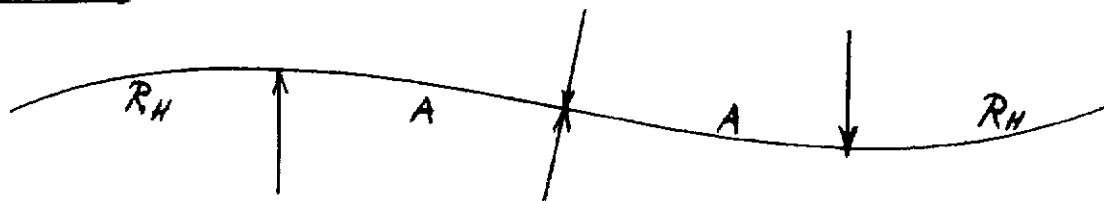
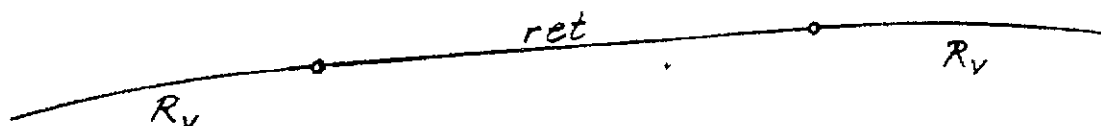
LinieføringLængdeprofilVejbillede

Fig. 12. Længdeprofilet i fig. 11 er her ændret med et bedre optisk vejforløb til følge.

Selv om længdeprofilet i fig. 12 isoleret set kan virke tåbeligt (jf. regelen i pkt. 14), så er det altså den rigtige løsning i den foreliggende situation.

Dette var lidt om længdeprofilets udformning i forbindelse med linieføringens cirkelbuer og klotoider. Men hvilket længdeprofil går bedst til linieføringens retlinede stræk? Her er det sådan, at et retlinet længdeprofil eller en lang konkav vertikalkurve giver det bedste resultat. I det første tilfælde er en nøjagtig udførelse af asfaltkanter, kantbaner og langsgående afstribning dog afgørende for et godt resultat. I det andet tilfælde er det vigtigt, at den konkave vertikalkurve er lang (fig. 13).

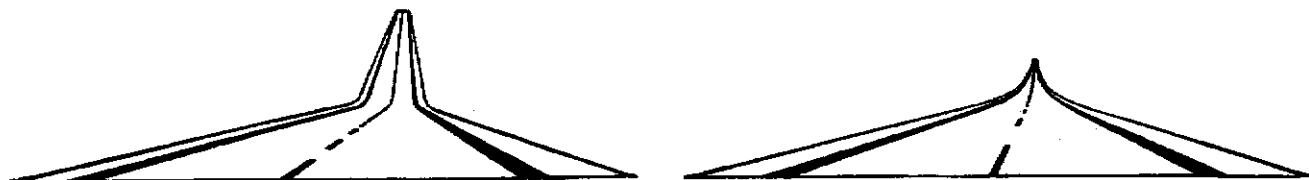
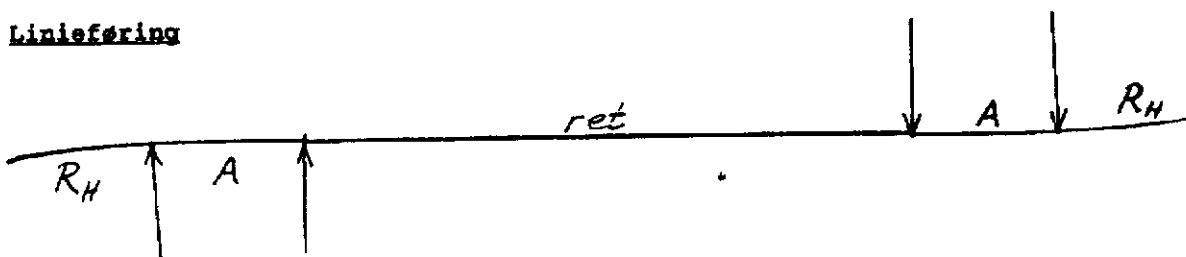


Fig. 13. En kort vertikalkurve fører til et knæk i vejbilledet på den retlinede linieføring (til venstre). Vertikalkurven skal være lang (til højre).

Men hvor lang skal den konkave vertikalkurve så være? Svaret er ikke éntydigt, men det bedste "flow" i tracéen fås formentlig, hvis den konkave vertikalkurve dækker mellem halvdelen og tre fjerdedele af den retlinede strækning i linieføringen, fig. 14.

Linieføring



Længdeprofil



Fig. 14. En lang konkav vertikalkurve giver et godt vejbillede på en retlinet strækning. Bemærk, at længdeprofilet hen over klotoiderne er retlinet, hvilket sikrer, at man ser vejen dreje inden horisonten, - sammenlign. fig. 16.

Kombinerer man den retlinede strækning i linieføringen med en konvex vertikalkurve, er det vanskeligere at opnå et godt vejbillede. Selv ved meget store konvekse vertikalaradier er det svært at undgå, at vejen ser ud, som om den er "skåret af" forude (fig. 15).

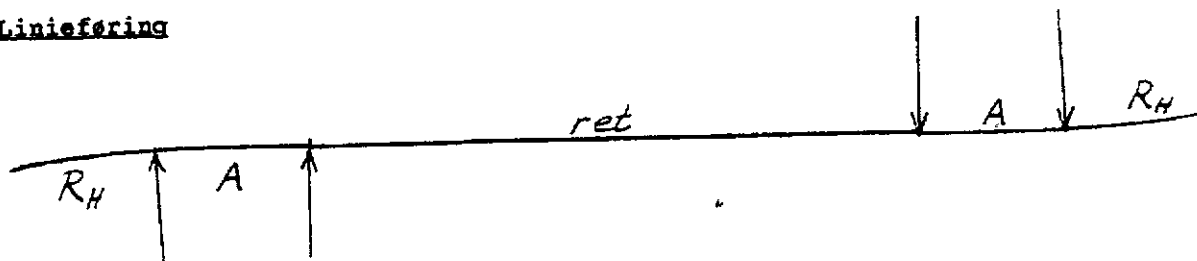
Ved mindre vertikalaradier er der risiko for "vejen til himlen" (fig. 15).



Fig. 15. Selv en meget stor konvex vertikalaradius på en retlinet strækning kan ikke forhindre, at vejen forude ser ud, som om den er "skåret af" (til venstre). Ved mindre vertikalaradier er der risiko for "vejen til himlen" (til højre).

Vender vi tilbage til linieføringen i fig. 14, skal man altså undgå et tilhørende længdeprofil som vist på fig. 16. Vejen forsvinder her "op i himlen", - man når ikke at se den dreje inden horisonten.

Linieføring



Længdeprofil



Fig. 16. Dårlig kombination af linieføring og længdeprofil. Vejen forsvinder "op i himlen", - man når ikke at se den dreje inden horisonten. Der er i øvrigt for mange faseskift i længdeprofilet. Sammenlign. fig. 14.

VEJENS INDPASNING I LANDSKABET.

De emner, der er behandlet i det foregående, omhandler vejens såkaldte indre harmoni. Ved vejens ydre harmoni forstås dens rette indpasning i det landskab, den gennemløber. Også dette kan være en vanskelig disciplin, hvor kunstneriske evner bestemt ikke er nogen hindring. Der kan nemlig heller ikke her opstilles et samlet sæt regler, der sikrer en god løsning i alle tænkelige situationer. Også her er det hver enkelt situation, der bestemmer den rigtige løsning. Det vil dog være fordelagtigt at have de nedenfor anførte betragtninger i erindring, når vejen skal placeres i landskabet.

I flade landskaber vil det - alt andet lige - være en fordel at lægge vejen "højt". Det skal forstås på den måde, at hvis vejen lægges i terræn, da vil det for trafikanterne se ud, som om vejen ligger lidt i afgravning. Lægges den derimod 1 - 1,5 m over terræn, vil det for trafikanterne se ud, som om den ligger i terrænhøjde. En sådan placering lidt over terræn gør det også lettere at holde vejbefæstelsen fri for vand, og endvidere mind-

skes problemerne under snefygning om vinteren. Skulle man ved at lægge vejen højt gå hen og få jordunderskud i sit vejprojekt, kan man jo bl.a. undersøge muligheden for at bruge flyveaske som tilført fyld.

I de flade og storliniede landskaber skal man også tracere "stort", dvs. benytte store kurveradier, hvorimod man i kuperede landskaber ofte må benytte mindre radier afstemt efter terrænets kurvatur. Hertil vil farvelagte højdekurvekort (som i vor barndoms skoleatlas) være til stor hjælp. Er der i det flade landskab allerede i forvejen markante retliniede elementer (lange lige højspændingsledninger, skovbryn, jernbaner, kanaler m.v.), kommer den rette linie som før nævnt på tale som tråceringselement (side 4).

I de mere kuperede landskaber optræder der egentlige afgravninger og påfyldninger, og det vil i den sammenhæng formentlig være overflødigt at nævne, at man selvfølgelig skal udforme længdeprofillet med en konkav vertikalradius på en dæmning over en dal, og med en konvex vertikalradius i en afgravning gennem en bakke (fig. 17).

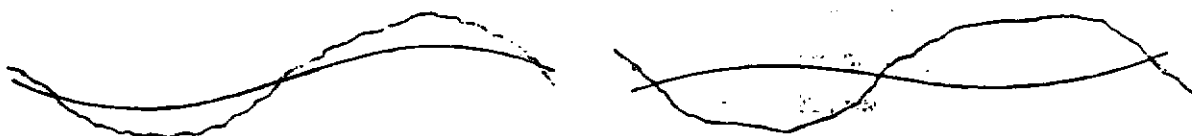


Fig. 17. Til venstre: rigtigt længdeprofil over dal og gennem bakke. Til højre: forkert længdeprofil for den samme situation.

Nutidens landskab bliver i hastigt tempo forsynet med flere og flere menneskeskabte elementer, der til tider kan gøre det nok så vanskeligt at få lagt et nyt vejanlæg rigtigt i landskabet. At man så vidt muligt skal smygge sig uden om bygninger, højspændingsmaster, vindmøller og alskens andre "tekniske" elementer i landskabet er en selvfølge for enhver vejingeniør. Men også skovene, naturområderne og "kulturperlerne" fortjener den allerstørste hensyntagen. Prøv så vidt muligt at undgå skovgennemskæringer, - læg vejen udenom, hvis det overhovedet er muligt. Skovgennemskæringer er ikke bare visuelt uheldige, de er også forstligt meget uheldige, fordi træer der har stået inde i en skov ikke pludselig tåler at blive blotlagt

for sol og vind. Det tager årtier at hele skaderne, hvilket kun kan ske ved at nye skovbryn vokser op. Er det uomgængeligt at skære igennem en skov, så forsøg at krumme linieføringen, så man ikke kan kigge "lige igennem", fig. 18. Hjælp endvidere de ny skovbryn i gang ved tilplantning mellem vejen og de blotlagte stammer (værnskovsplantning).

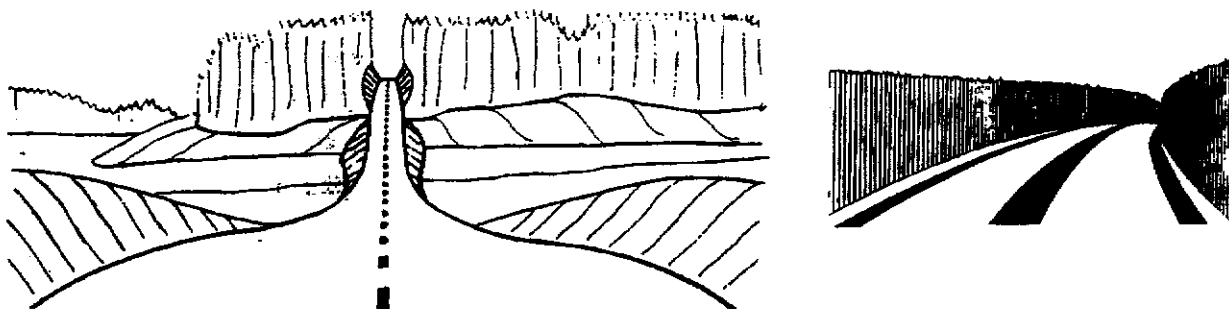


Fig. 18. Til venstre: En retlinet linieføring er uheldig gennem en skov (og også gennem det kuperede landskab i forgrunden). Til højre: Det er bedre at krumme linieføringen gennem skoven, så man ikke kan kigge "lige igennem".

Når det gælder naturområderne og "kulturperlerne" (herregårde, kirker m.v.), er det ikke nok bare at smygge sig lige uden om med vejlinien. Den skal langt udenom, så der efterlades en bufferzone, der eliminerer (eller i det mindste stærkt mildner) generne af det nye vejanlægs "støj, røg og møg" og af det visuelle indgreb i de herligheder, der knytter sig til området og dets omgivelser.

I øvrigt ville det være kærkomment, hvis der kunne udvikle sig en tradition for, at man under traceringsarbejdet forsøger at benytte lejligheden til at "rydde op" i landskabet. Altså har for øje, om det med vejens anlæg kan lade sig gøre at fjerne tidligere menneskeskabte sår i landskabet, - det være sig gamle lossepladser, nedlagte grusgrave, grimme forfaldne bygningsrester o.s.v. - At man rydder op efter sig selv er jo selvfølgelig, - ingen ansvarlig vejingeniør efterlader frivilligt f.eks. aflagte asfaltarealer, ubrugte mulddynger m.v.

Det skal sluttelig nævnes, at man inden for traceringsdisciplinen opererer med begrebet måltracering. Man retter sin retlinede linieføring mod et markant mål i terrænet, f.eks. et kirketårn, og bøjer så af i god tid inden målet (fig. 19). - En god måde at anvende den rette linie på, men van-

skelig i dag, hvor landskabet som før nævnt hastigt fyldes med opragende "fremmedelementer".

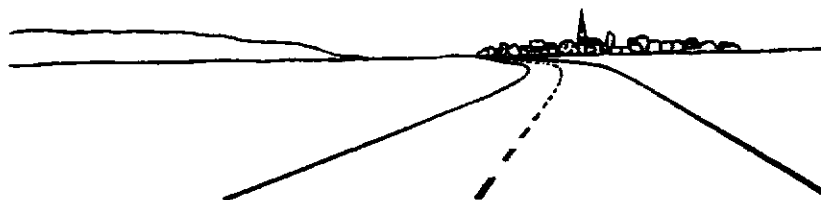


Fig. 19. Måltracering.