

FLOMBEREGNING OG KULVERTDIMENSJONERING

**Vann og Avløp
September 1992**



SINTEF
NHL



SINTEF NHL
Norsk hydroteknisk laboratorium

Postadresse: 7034 Trondheim
Besøksadresse: Klæbuveien 153
Telefon: (07) 59 23 00
Telefax: (07) 59 23 76
Telex: 55 435 nhl n

RAPPORT

TITTEL


FLOMBEREGNING OG KULVERTDIMENSJONERING

FORFATTER(E)

Arve Berg, Trygve Lunde, Gunnar Mosevoll

OPPDRAGSGIVER(E)

Statens Naturskadefond, Kommuner, Vegkontorer (se forord)

ARKIVKODE	GRADERING	OPPDRAGSGIVERS REF.	
604860.00	Åpen	A. Leine	
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTNR.	ANTALL SIDER OG BILAG
ABR\KULVERT.rfs\kbl		604860.00	89 s + 1 b
ISBN	PRISGRUPPE	FAGLIG ANSVARLIG	
82-595-7415-2		Arve Berg	
RAPPORTNR.	DATO	ANSVARLIG SIGNATUR	
STF60 A92101	1992-09-14	Arve Berg 	

SAMMENDRAG

Etter initiativ fra Statens Naturskadefond er det laget en håndbok om flomberegning og kulvertdimensjonering felles for vegvesenet, landbruksetatene, kommunenes tekniske etater, NVE og Naturskadefondet. Dagens kunnskap er samlet og systematisert for å være lettere tilgjengelig.

Målet har vært å tilrettelegge forbedrede metoder for beregning av dimensjonerende flom i små nedbørfelt med areal opp til 10 km² og viser forbedrede metoder for utforming og hydraulisk dimensjonering av kulverter med diameter opp til 2 m, dvs de største fabrikkproduserte dimensjonene.

Det er et håp at rapporten kan bidra til å redusere de flomskader som de senere årene har oppstått på grunn av at kulverter ikke har hatt tilstrekkelig kapasitet eller har gått tett under flom.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Hydroteknikk	Hydraulic Engineering
GRUPPE 2	Vegteknikk	Highway Construction
EGENVALGTE	Kulvert	Culvert
	Dimensjonerende flom	Design Flood
	Erosjon	Erosion

FORORD

Initiativ fra
Statens
Naturskadefond

Statens Naturskadefond rettet i desember 1988 en forespørsel til Landbruksdepartementet om "standard/forskrifter for utførelse/sikring av innløp til stikkrenner og kulverter i forbindelse med veganlegg, skogsveger, dyrkningsfelt etc".

I svarbrev fra Landbruksdepartementet ble det foreslått å sette ned en arbeidsgruppe med representanter for berørte parter, bl a kommuner, vegmyndigheter, landbruksmyndigheter, vassdragsmyndigheter m fl. Gruppens oppgave skulle være å samle og systematisere dagens kunnskap, slik at denne ble lettere tilgjengelig.

Landbruksdepartementet tok så i mai 1989 kontakt med NVE Forbygningsavdelingen som påtok seg å kalle inn til et første orienterende møte. Møtet ble holdt i desember 1989 hos NVE. Dette møtet skulle gi grunnlag for utarbeidelse av mandat for arbeidsgruppa, hvem som burde delta, sekretariatsfunksjon og budsjett. Her deltok representanter fra Statens Naturskadefond, NVE Forbygningsavdelingen, Landbruksdepartementet, Vegdirektoratet (Veglaboratoriet, Bruavdelingen, Buskerud Vegkontor) og Norsk hydroteknisk laboratorium (NHL). Møtet besluttet å sette ned følgende arbeidsgruppe:

Arbeidsgruppe

Øystein Myhre, Veglaboratoriet
Anders Leine, Jordbruksavd, Landbruksdep.
Tor Inderberg, Skogbruksavd, Landbruksdep.
Einar Beheim, Vassdragssavd, NVE
Steinar Myrabø, Hydrologisk avd, NVE
Arve Berg, SINTEF NHL

Første møte i arbeidsgruppa ble holdt 4 januar 1990. Her ble man enige om å lage en håndbok om flomberegning og kulvertdimensjonering felles for vegvesenet, landbruksetatene, kommunenes tekniske etater, NVE og Naturskadefondet.

Arbeidsgruppa bad NHL lage et prosjektforslag med kostnadsoverslag. Videre måtte arbeidsfordelingen mellom NHL og NVEs Hydrologiske avdeling avklares.

I prosjektperioden har Statens Vegvesen arbeidet parallelt med revidering av Håndbok 018 - Vegbygging og informasjon er utvekslet mellom de to prosjektene.

Finansiering

Utarbeidelse av håndboka i flomberegning og kulvert-dimensjonering er finansiert av følgende institusjoner:

Statens Naturskadefond (50%)
Vegdirektoratet/Veglaboratoriet
Akershus Vegkontor
Sør-Trøndelag Vegkontor
Nord-Trøndelag Vegkontor
Aust-Agder Vegkontor
Drammen kommune
Trondheim kommune
Bergen kommune
Stavanger kommune

I tillegg har NVE Hydrologisk avdeling lagt ned en betydelig egeninnsats. Dette har resultert i en egen rapport /9/ som er en vesentlig del av grunnlaget for kapittel 3 i denne rapporten.

NVE Vassdragsavdelingen har gitt viktige innspill til kapittel 2.2 Juridiske forhold.

SINTEF NHL har også lagt ned en betydelig egeninnsats i prosjektet. Arbeidet ved NHL har vært ledet av Arve Berg med Gunnar Mosevoll som faglig rådgiver for hydraulisk utforming og dimensjonering. Tekstbehandling er utført av Kirsti Blomsøy.

INNHOOLDSLISTE

	side
FORORD	I
	II
INNHOOLDSLISTE	III
1. INNLEDNING	1
2. PLANLEGGING AV KULVERTER OG STIKKRENNER	3
2.1. Funksjonskrav	3
2.2. Juridiske forhold	4
2.3. Valg av risikonivå	6
2.4. Alternativ flomveg	7
2.5. Minimumsdimensjoner	8
3. FLOMBEREGNING	9
3.1. Datagrunnlag - avløp i småfelt	10
3.2. Flomberegning på grunnlag av målt nedbør (den rasjonelle formel)	20
3.3. Flomberegning på grunnlag av målt avrenning	24
3.4. Metoder for flomberegning - usikkerhet	25
4. HYDRAULISK DIMENSJONERING OG UTFORMING	29
4.1. Hva bestemmer kapasiteten	29
4.2. Kulverthelning mhp selvrensing og anleggsteknisk utførelse	33
4.3. Kapasitetsberegning for kulverter med innløpskontroll	34
4.4. Kulverter med akselerasjonszone (bratt innløpsdel) ..	38
4.5. Kapasitetsberegning for kulverter med utløpskontroll	41
4.6. Kulvert lagt i svinger	42
4.7. Beregning av reservekapasitet ved fylte kulverter med innløpskontroll	43
4.8. Beregning av fylte kulverter med utløpskontroll	49
5. RISTER OG ANNEN SIKRING AV INNLØP	55
5.1. Stående rister	57
5.2. Kombinasjon av liggende og stående rist	59
5.3. Kombinasjon av lav stående rist og liggende/stående rist	60
5.4. Nødvendig ristareal	62
5.5. Konstruksjonsregler for rister	63

INNHOLDSLISTE forts

	side
6. EROSJONSSIKRING	65
6.1. Utløpshastigheter og erosjonsfare	66
6.2. Erosjonssikring ved utløp	69
6.3. Sikring av kjørebane, vegggrøfter og skråninger mot flomerosjon	72
7. TERSKLER FOR FISKEOPPGANG	75
8. RØRMATERIALER	79
8.1. Betongrør	79
8.2. Plastrør	81
8.3. Stålrør	83
8.4. Høye fyllinger	84
9. LITTERATURLISTE	87

VEDLEGG Datablad over utførte kulverter i Sør Trøndelag

1. INNLEDNING

I de senere år har det vært flere større flomskader på grunn av at kulverter i forbindelse med veganlegg, skogsbilveger, dyrkingsfelt etc ikke har vært store nok eller har gått tett under flom. Det er derfor et sterkt behov for å samle og systematisere dagens kunnskap, slik at denne blir lettere tilgjengelig. Målet med prosjektet har vært:

- Tilrettelegging av forbedrede metoder for beregning av dimensjonerende flom i små nedbørsfelt.
- Forbedrede metoder for utforming og hydraulisk dimensjonering av kulvertanlegg.

Rapporten omhandler flomberegning i nedbørsfelt med areal opp til 10 km² og kulverter med diameter opp til 2 m, dvs de største fabrikkproduserte dimensjoner.

Rapporten omhandler ikke drenering av veger generelt. For dette henvises det til andre håndbøker, spesielt "Håndbok 018 Vegbygging" utgitt av Statens Vegvesen i 1992. Siden hensikten med rapporten er å beskrive tiltak for å unngå og begrense skadene i forbindelse med flommer, har vi imidlertid tatt med en del stoff om sikring av avrenning fra kjørebane/skuldre, og sikring av veggrøfter og skråninger.

2. PLANLEGGING AV KULVERTER OG STIKKRENNER

2.1. Funksjonskrav

Allmenne krav

Veganlegg skal ikke unødige forandre forholdene i naturlige drencsystemer. Det er ønskelig å unngå endringer i vannstand, vannføring, fall og grunnvannsnivå ved eksisterende bekker og elver. Kulverter bør heller ikke forårsake erosjon med etterfølgende masseføring og forurensning. Kulverter og stikkrenner skal være rimelig funksjonsdyktige under aktuelle vær- og klimaforhold året gjennom.

Vanlige funksjonskrav og tiltak for å tilfredsstille disse allmenne kravene er beskrevet i det følgende:

Kapasitet

- Kulverter og stikkrenner skal ha tilstrekkelig kapasitet, dvs alltid kunne ta unna dimensjonerende flom.

Fare for folk og fe

- Kulverter og stikkrenner skal ikke gjøre vanlig ferdsel langs vassdraget nevneverdig farligere. Det betyr at inntaket i lange, bratte kulverter bør sikres.

Materialtransport

- Kulverter og stikkrenner skal ikke skades av sand, grus og stein som følger vannet, og de bør være selvrensende. Innløpet til kulverter bør erosjons-sikres slik at ikke unødige store mengder grus og stein dras inn i kulverten.

Stein som dras med inn i kulverter, fører i beste fall til nedsatt kapasitet, i verste fall til betydelig slitasje på kulverten.

Bygningsmessig kvalitet

- Kulverter og stikkrenner må bygges slik at de tåler jordtrykk og andre belastninger.

Levetid

- Kulverter og stikkrenner skal ha rimelig teknisk levetid. For anlegg som er kostbare å skifte ut, bør en forutsette en teknisk levetid på minst 100 år.

Fornyelse

- Kulverter som har stor overdekning bør utformes slik at de kan fornyes og vedlikeholdes uten oppgraving.

Erosjonssikring

- Erosjon må forhindres både ved innløpet og ved utløpet av en kulvert.

Hastigheten i en kulvert er som regel vesentlig høyere enn den naturlige vannhastigheten i elven eller bekken. Er det løsmasse ved kulvertutløpet, vil en i de fleste tilfeller få erosjon. For å hindre erosjon er to tiltak aktuelle:

- Forsterke elvebunnen, f eks ved å plastre den med større stein.
- Bygge en energidreper som reduserer vannhastigheten til et naturlig nivå som elveleiet tåler.

Erosjonssikring og energidreperer er nærmere beskrevet i kapittel 6.

Isdannelse

I mange vassdrag danner det seg bunnis om vinteren. I slike vassdrag vil en særlig i kulvertinntaket kunne få bygd opp tykke islag. Isen kan nedsette kulvertens kapasitet betydelig. Før en kulvert bygges, må det undersøkes hvor mye bunnis som vanligvis dannes i vassdraget. Da det er svært tidkrevende å tine slik is, anbefales det å velge så stor kulvertdiameter at bunnisen ikke skaper noen kapasitetsproblemer.

Kulverter bør dessuten utformes slik at de i minst mulig grad danner hindringer under eventuelle isganger.

Fiskens "frie gang"

- Kulverter skal ikke hindre fiskens "frie gang" i vassdraget, jfr vassdragsloven. Dette gjelder særlig i større bekker, men også "overraskende" små bekker kan ha gyteplasser for f eks ørret.

Landskap

- Kulverter bør utformes slik at både kulverten, elveleiet og det strømmende vannet bidrar positivt til landskapsbildet.

Alternativ flomveg

Det er en viss sannsynlighet for at kulverter ikke klarer å ta unna tilrenningen, enten på grunn av at tilrenningen er større enn dimensjonerende flom eller på grunn av at risten er gått tett. Noe av vannet vil da ta en annen veg. For å hindre større skader bør denne alternative flomvegen planlegges, se pkt 2.4.

Risikonivå

Sannsynligheten for kapasitetsoverskridelse uttrykkes ved risikonivå (gjentaksintervall) ved fastsetting av dimensjonerende vannføring, se pkt 2.3.

2.2. Juridiske forhold

Lovverket som skal ivareta private og allmenne interesser i tilknytning til kulverter finnes hovedsaklig i "Lov om vassdragene" av 1940-03-15 (Vassdragsloven) og ellers i "Plan- og bygningsloven" av 1985-06-14. Ellers kan også nevnes "Lov om rettshøve mellom grannar", (Granelova) av 1961-06-16.

Vassdragsloven

Loven gjelder for alle "elver, bekker, innsjøer og andre vassdragssamlinger", jfr bl a § 1. En må derfor forutsette at loven i prinsippet gjelder for alle kulverter, stor eller liten. I det etterfølgende nevnes de mest sentrale paragrafer i denne forbindelse:

- § 8, gir de grunnleggende retningslinjer for all "bygging i eller over vassdrag".
- § 25 angir den enkeltes muligheter og rett til å berøre annen manns eiendom for å bli kvitt skadelig vann. Likeledes hvorledes en skal forholde seg ved kryssing av offentlig vei eller jernbane.

- § 104 (og 105) angir hvilke hensyn en plikter å ta ved bygging i eller over vassdrag av hensyn til allmenne interesser, spesielt ferdsel og fiskens frie gang. Antas tiltaket å medføre skade av betydning i så henseende, kreves tillatelse av Kongen (myndigheten er nå delegert til NVE). Se også § 112 hvordan en kan få slike ting avklart på forhånd ved skjønn.
- Angående evt behandling etter § 104 og 105, se lovens § 125.

Av andre, - noe mer perifere paragrafer i kulvertsammenheng - kan nevnes:

- § 114, om reaksjonsmåter i tilfelle selvtekt.
- § 115, om vedlikeholdsansvar.
- § 117, (mulighet for endring), se spesielt pkt 4.
- § 120, NVEs påleggsrett ved misligholdelse av vassdragsanlegg.

Vassdragslovens § 47 pålegger i utgangspunktet anleggseieren et objektivt ansvar for oversvømmelse når ledningskapasiteten er for liten. Vassdragslovens § 115 påbyr anleggseieren vedlikeholdsplikt og pålegger han et objektivt erstatningsansvar for skade som skyldes feil på anleggene. Det vil si at anleggseieren blir erstatningsansvarlig selv om skadeårsaken ikke kan lastes han.

Vassdragslovens § 8 forbyr det meste av inngrep og påvirkninger som ikke uttrykkelig er hjemlet i lov eller "særlig avtale". Endring av vannføringen, f eks ved at det legges en overvannsledning som lett skaper oversvømmelse, er da i utgangspunktet forbudt. Dette gir grunnlag for et vesentlig unntak m h t det objektive ansvaret i § 47. Hvis en underkapasitet skyldes at det ledes inn nytt vann, skal ikke anleggseieren være erstatningsansvarlig, men den som leder inn det nye vannet.

Det har vært vanlig å innfortolke en "force majeure"-begrensning i anleggseierens objektive erstatningsansvar, dvs at ekstraordinære flomforhold ikke kan lastes anleggseieren /8/.

Granneloven

Granneloven av 1961 kan også komme til anvendelse hvis det voldes skade eller skapes fare for skade på nabo-eiendom, f eks ved utløpet av en stikkrenne.

Fra denne lov kan nevnes:

- § 6, om nabovarsel.
- § 14, om skade på annenmanns grunn.
- § 18 (og § 7), om naboskjønn.

Plan- og
bygningsloven

I tettbygde strøk kan en del paragrafer i Plan- og bygningsloven være aktuelle. Det presiseres i § 1, 1. ledd at loven også gjelder vassdrag. Følgelig må en ta hensyn til de aktuelle paragrafer i denne lov når det gjelder bygging, vedlikehold m v for kulverter. Spesielt bør nevnes §§ 68, 84 og 93. Etter § 25 nr 6 kan det reguleres spesialområder som bl a kan være til avrenningsformål, se kapittel 2.4.

PBL § 68 omhandler byggegrunn og miljøforhold som inkluderer drenering og bortledning av overvann. I henhold til denne paragrafen kan Bygningsrådet gi nærmere bestemmelser om drenering og bortledning av overvann.

Vegloven

Planlegging av større veger har hittil skjedd med hjemmel i Vegloven. Fra 1 juli 1994 vil dette bli endret slik at all vegplanlegging vil skje med hjemmel i Plan- og Bygningsloven. I byer og delvis også i større tettsteder ble imidlertid Plan- og bygningsloven tatt i bruk for mange år siden også for riksveger.

2.3. Valg av risikonivå

Det er neppe riktig og i praksis umulig å dimensjonere kulverter og stikkrenner etter de mest ekstreme nedbør-avrennings-forhold, som inntreffer svært sjelden.

Minst mulig
samfunnsmessig
kostnad

Der det ikke er fare for menneskeliv, bør kostnadene ved å dimensjonere for en større vannføring som opptrer sjelden i prinsippet veies opp mot kostnadene og ulempene ved manglende kapasitet slik at en oppnår de lavest mulige kostnader totalt sett. Summen av kostnadene til anlegg, drift, vedlikehold og kostnader ved oversvømmelse inkl eventuelle skadeutbetalinger bør være lavest mulig.

Returperiode,
gjentaksintervall

Returperiode eller gjentaksintervall er et uttrykk for hvor ofte (hvert n-te år) det inntreffer en viss flomintensitet. De fastsettes ut fra statistisk vurdering av vannføringer. Når konsekvensene av oversvømmelse er små, kan det velges kort returperiode for dimensjonerende vannmengde, dvs hyppig overskridelse av kapasiteten.

Hvis en oversvømmelse derimot kan medføre fare for menneskeliv, bebyggelse, varelager, blokkering av viktige trafikkårer eller skade på vegkonstruksjonen, må det velges en lengre returperiode. Anbefalte returperioder for riksveger er vist i tabell 2.1.

Tabell 2.1.

Anbefalte returperioder for riksveger (Statens Vegvesen). /23/.

Type	Små konsekvenser	Store konsekvenser
Kulvert der oppstuvning er akseptabelt	25 år	50 år
Kulvert u/mulighet for stigehøgde	50 år	50 år
Ømfintlig vegkonstruksjon f eks fylling av EPS	100 år	100 år

Øke gjentaksintervallet?

Utifra flomfrekvensanalysene (kapittel 3) vil en økning i returperioden resultere i følgende økning av dimensjonerende vannføring:

10 → 25 år: 18% (10 - 27%) økning
 25 → 50 år: 13% (7 - 20%) økning
 50 → 100 år: 10% (5 - 15%) økning

De laveste verdiene er for de feltene som har størst innsjøareal (%).

Øke rørdiameteren?

Til sammenligning vil en økning av rørdiameteren fra en standarddimensjon til nærmeste overliggende øke kapasiteten med 60 - 100% for $D \leq 800$ mm og med 40 - 70% for $D \geq 1000$ mm, jfr tabell 4.3. Kapasitetsøkningen ved "å gå opp en dimensjon" er m a o mye større enn økningen i dimensjonerende vannmengde når returperioden dobles. Siden en ved dimensjonering som regel går opp til nærmeste overliggende standarddimensjon betyr dette at en dobling av returperioden bare fører til økte dimensjoner i 20 - 30% av tilfellene.

2.4. Alternativ flomveg

Definisjon

Med alternativ flomveg menes den vegen som vannet følger når kapasiteten til stikkrenna/kulverten overskrides eller når stikkrenna går tett.

Alternativ flomveg må sikres

Alternativ flomveg bør alltid vurderes i forbindelse med planlegging og dimensjonering av kulverter. Den alternative flomvegen må sikres. Dette er spesielt viktig der det velges korte gjentaksinterval. Ofte kan den alternative flomvegen være veggrøfta. Det er mange eksempler på flomskader som skyldes dårlig erosjonssikring av veggrøfter. Sand benyttet som dekklag i veggrøftene gir som regel for dårlig erosjonssikring.

Plan- og
bygningslov

Etter plan- og bygningsloven av 1986 kan det ved utforming av reguleringsplan tas hensyn til avrenningsforhold. Etter PBL § 25 om reguleringsformål kan det etter nr 6 (spesialområder) avsettes arealer til avrenningsformål. Denne muligheten kan benyttes når alternative flomveger skal planlegges gjennom tettbygde områder.

2.5. Minimumsdimensjoner

Hindre tilstopping

Av hensyn til vedlikehold og fare for tiltetting bør stikkrenner ha en viss minste dimensjon. Dette er også hensiktsmessig for de etater som bør ha et visst lagerhold av rør. Anbefalte minimumsdimensjoner for de ulike vegtyper er vist i tabell 2.2.

Tabell 2.2.

Minimumsdimensjoner for stikkrenner.

Vegtype	Minimumsstørrelse
Hovedveg og samleveg	600 mm
Adkomstveg og gang- og sykkelveg	400 mm
Avkjørsler, skogsbilveger/gårdsveger	300 mm

Kapasitet

Minimumsdimensjonering benyttes for å ta unna avrenning fra små områder. Hvor store arealer de ulike kulvertdimensjoner kan ta unna avrenningen fra, er vist i tabell 2.3. Tabellen er veiledende og beregning bør gjøres i hvert enkelt tilfelle.

Tabell 2.3.

Maksimum areal (dekar) som kan tilknytttes ulike minimumsdimensjoner.

Diameter mm	Naturlig felt da	Urbant felt da
300	5	2
400	15	5
500	25	10
600	50	15

Avlast veggrøfta!

Minimumsdimensjoner benyttes også der en ønsker å avlaste veggrøfta for transport av vann langs vegen. Dette er spesielt viktig når veggrøfta har stor helning. Hvis avstanden mellom stikkrennene blir for stor, fører dette lett til erosjonsproblemer.

3. FLOMBERECNING

Dimensjonerende
flom

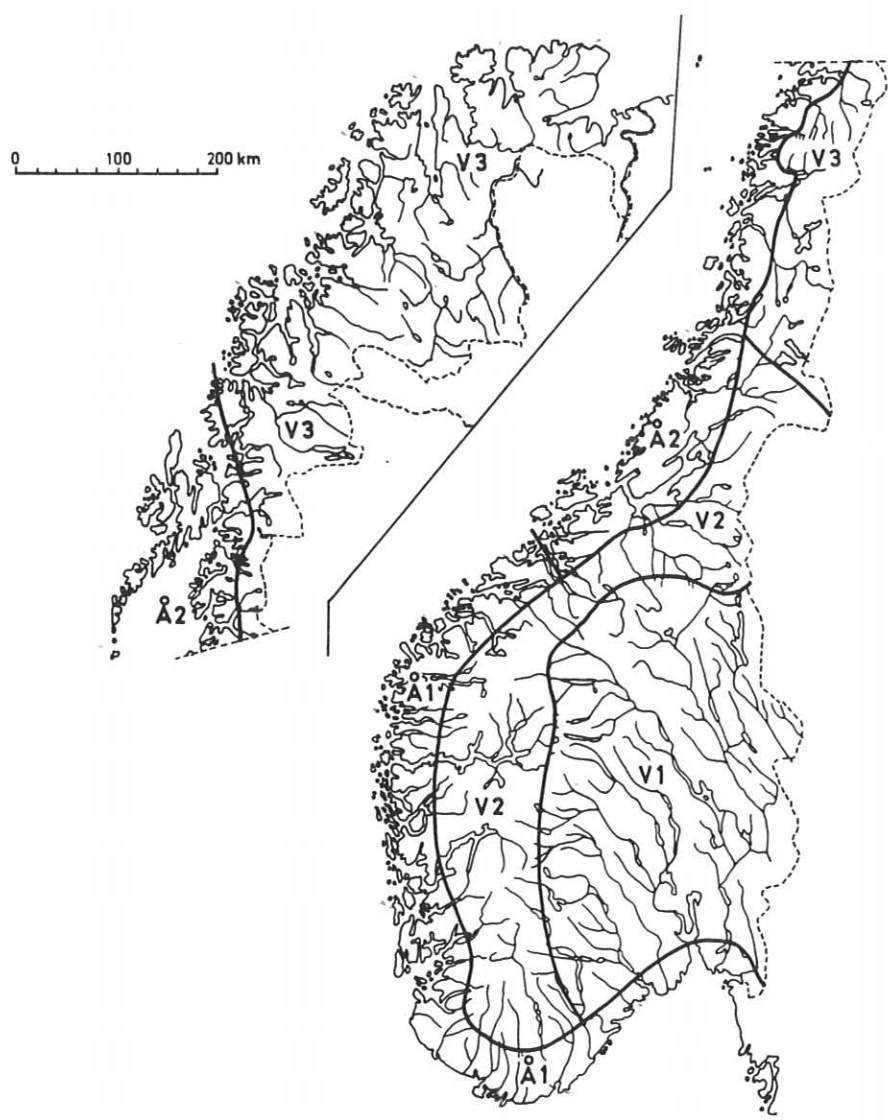
Dimensjonerende flomintensitet ($l/s/km^2$) er avhengig av en rekke forhold, hvorav de viktigste er:

- Klimatiske forhold.
- Nedbørfeltets størrelse.
- Den relative størrelsen på vann og innsjøer, samt plassering av disse.
- Jordsmonn og vegetasjon.
- Andel tette flater (bart fjell, asfalt etc) og vannmettet areal.
- Nedbørfeltets form, samt helning og høydeforskjell i feltet.

Klimatiske
forhold

Landet kan grovt deles inn i to klimatiske soner:

- Kystklima (område Å1 og Å2 på figur 3.1)
- Innlandsklima (område V1, V2 og V3 på figur 3.1.)



Figur 3.1.

Grov inndeling i flomregioner /14/.

Innlandsklima er karakterisert ved kalde vintre og varme somre. Den årlige nedbørmengden er forholdsvis liten og mesteparten faller om sommeren. I små felt kan intense regnskyl om sommeren være dimensjonerende for overvannsanlegg.

Kystklima er karakterisert ved milde vintre og kjølige somre. Lufta er som regel fuktig, og den årlige nedbørmengden er stor. Det er størst nedbør om høsten og vinteren. De største flommene opptrer gjerne om høsten og vinteren.

Regn/snøsmelting

Ved økende feltstørrelse får langtidsregn og kombinasjonen regn/snøsmelting økende betydning for flomforholdene. Ved hvilken feltstørrelse høst- og vintersituasjonen med langtidsnedbør og kombinasjonen regn/snøsmelting blir dimensjonerende, varierer med feltforholdene.

I store deler av Finnmark kan også ren snøsmelting gi svært høy flom. Det kan skje om våren når hele feltet er dekket av snø og det blåser en mild vind (fra sør/sør-øst).

Metoder for flomberegning

For flomberegning i små felt skiller en mellom to metoder:

- Flomberegning på grunnlag av målt regnintensitet ("korttids-nedbør") og avrenningskoeffisienter. (Den rasjonelle formel.) $Q = C \cdot i \cdot A$ (Nedbør $< 5 \text{ km}^2$ = 500 ha = 50000 ar = 5000000 m^2 = 50000000 m^2 / $a = 100 \text{ km}^2$)
- Flomberegning på grunnlag av målt avrenning i vassdraget eller nærliggende (lignende) vassdrag.

$> 5 \text{ km}^2$:

Kan bruke empiriske formel.

Den første metoden er særlig mye brukt i nedbørfelt i tettbygde strøk. For tettbygde områder opptil 3 - 4 km^2 har en brukbare erfaringstall for avrenningsforholdene, og flommer kan beregnes med rimelig god nøyaktighet. For små naturlige felt er den rasjonelle formel testet ut ved NVE Hydrologisk avdeling /9/.

For felt der langtidsregn og kombinasjonen regn/snøsmelting er dimensjonerende, bør flomberegningene helst baseres på observerte vannføringsdata.

3.1. Datagrunnlag - avløp i små felt

Det er et relativt begrenset antall målestasjoner for små felt her i landet. For å kunne benyttes til kulvertdimensjonering må tidsoppløsningen være bedre enn et døgn, helst også bedre enn en time.

23 småfelt

Fra NVE Hydrologisk avdelings dataarkiv er det valgt ut 23 stasjoner med feltareal under 10 km² og rimelig lengde på perioden med fin tidsoppløsning /9/. Den geografiske plassering til feltene er vist i figur 3.2. Sørlandet (Vest-Agder), Indre Østlandet (Hedmark) og Nord-Norge (Troms og Finnmark) er dårlig representert i datagrunnlaget.

Stasjonsnavn og en del sentrale feltparametre er vist i tabell 3.1. Stasjonene er ordnet regionsvis.

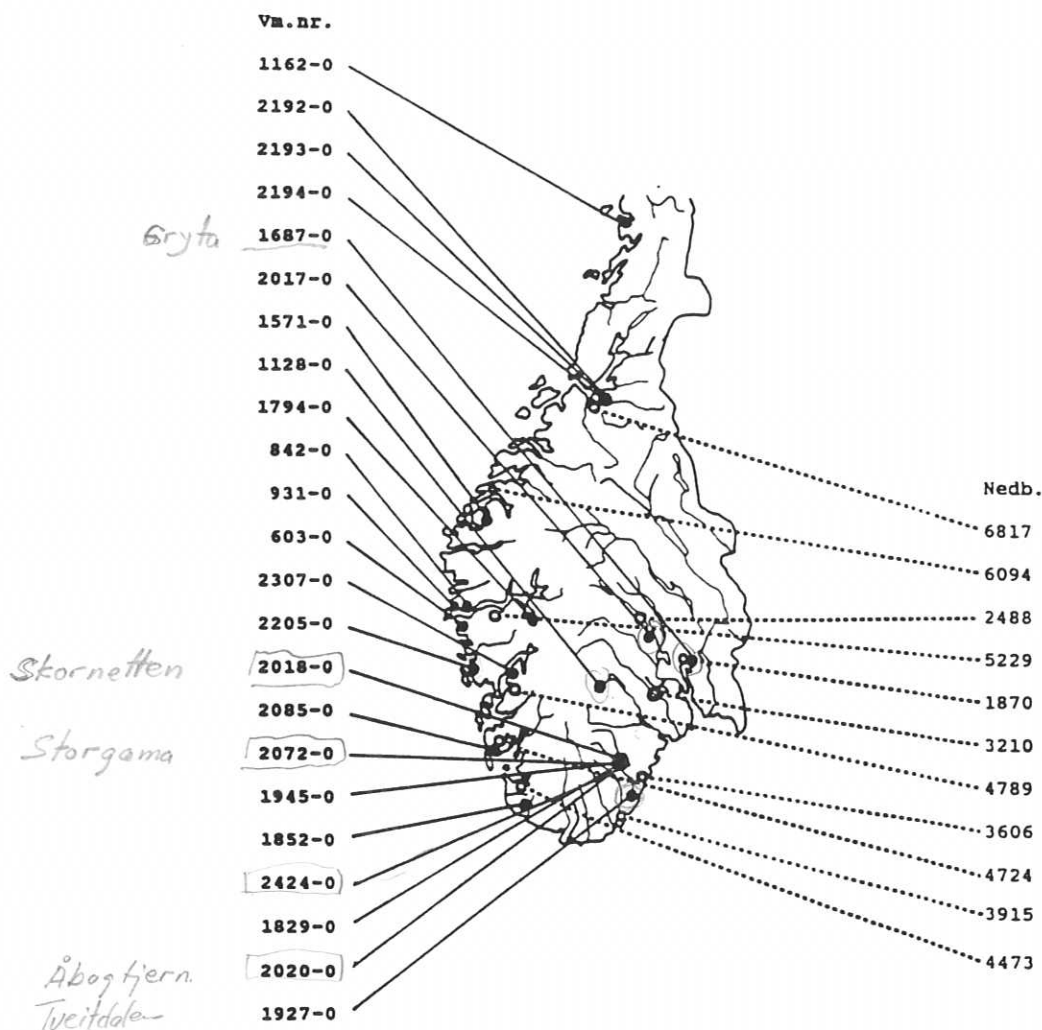
Effektivt innsjøareal

En av parametrene i tabellen er effektivt sjøareal (%) som beregnes ved:

$$A_{se} = \Sigma(A_i \cdot a_i) / A^2$$

der a_i = innsjø i's overflateareal, km²
 A_i = tilsigsarealet til samme innsjø, km²
 A = totalfeltets areal, km²

Ved bruk av A_{se} får en tatt hensyn til at innsjøer langt nede i feltet har større effekt på flomdempning enn innsjøer nær vannskillet.



Figur 3.2.

Geografisk plassering til de 23 avløpsstasjonene fra NVEs arkiv samt nærliggende nedbørstasjoner /9/.

Tabell 3.1.

Karakteristiske data for avløpsstasjonene.

Vmnr	Stasjonsnavn	Periode Findata	Effek- tive regist- rering år	Felt- areal km ²	Felt- lengde km	Høyde- diffe- ranse m	Effek- tivt sjø- areal %	Midlere spesi- fikt avløp l/s·km ²
1571	Skjaastad	1966-90	22	9,7	5,1	1289	0,0	70
842	Ullebøelv	1982-90	8	8,6	5,7	575	1,3	90
931	Herviksvatn	1985-90	5	7,0	5,5	435	17,4	60
1794	Hielva	1974-90	16	9,4	6,2	1000	1,2	64
603	Kløvtveitvatn	1972-89	18	4,3	2,3	232	21,3	141
2205	Dyrdalsvatn	1978-89	12	3,2	2,3	372	4,2	122
2307	Fønnerdalsvatn	1980-90	9	6,8*	5,0	1031	2,3	145
2085	Tysvær	1986-90	5	3,0	2,6	50	20,3	35
1852	Saglandsvatn	1974-89	16	1,9	1,8	186	20,3	39
1927	Tveitdalen	1973-89	17	0,4	0,8	80	0,0	36
1829	Gravå	1970-90	16	6,3	4,4	690	0,0	20
1945	Rauåna	1972-90	13	8,6	5,8	541	0,0	23
2018	Skornetten	1974-89	16	2,6	2,7	344	0,0	26
2020	Åbogtjern	1974-85	11	1,2	1,3	218	4,0	30
2424	Tjelling- tjernbekk	1985-89	6	1,9	2,3	257	0,1	32
2072	Storgama	1974-91	14	0,6	1,4	122	5,5	28
1687	Gryta	1967-90	23	7,6	3,6	277	0,5	18
1128	Grosettjern	1953-90	23	5,9	2,9	182	2,7	22
2017	Langtjørnbekk	1974-90	14	4,9	3,1	246	5,4	20
2192	Hokfossen	1969-85	17	8,0	3,4	260	4,0	28
2193	Svarttjøn- bekken	1969-85	17	3,4	1,7	240	3,0	26
2194	Hestsjøbekken	1969-85	17	1,8	1,8	220	0,0	30
1162	Sørra	1952-90	29	6,0	2,3	132	0,0	42

* 50% bre

En legger merke til at antall effektive registreringsår ofte er mye kortere enn observasjonsperioden. Årsaken til dette er hull i seriene for fin oppløsning.

Frekvensanalyse

For alle de 23 feltene har NVE Hydrologisk avdeling utført frekvensanalyse på årlige maksimalflommer både for spissverdier og midlere verdi over et døgn /9/. Det er spissverdiene som må benyttes ved dimensjonering av kulverter. Spissverdiene er gjengitt i tabell 3.2 som spesifikke vannføringer (l/s·km²).

Verdiene i tabellen viser at når en ser på spissverdier, så spiller feltegenskapene for små felt en stor rolle for størrelsen på flomvannføringer. De forskjellige feltparametrene som fører til vannmettet overflateavrenning under flom er av overordnet betydning.

Tabell 3.2.

Frekvensanalyse for målt avløp, spissverdier ($l/s \cdot km^2$).

Vmnr	Stasjonsnavn	Middelflom	Gjentaksintervall (år)				
			5	10	25	50	100
1571	Skjaastad	594	765	885	1049	1171	1291
842	Ullebøelv	1615	1821	1944	2079	2171	2255
931	Herviksvatn	265	296	323	358	384	409
1794	Hielva	1434	1916	2376	2987	3464	3957
603	Kløvtveitvatn	521	594	653	727	782	837
2205	Dyrdalsvatn	2137	2497	2781	3147	3419	3688
2307	Fønnerdalsvatn	1842	2448	2978	3669	4198	4739
2085	Tysvær	216	248	273	307	330	354
1852	Saglandvatn	209	281	327	385	428	472
1927	Tveitdalen	1828	2393	2858	3448	3883	4318
1829	Gravå	249	269	317	402	488	599
1945	Rauåna	643	859	1031	1248	1409	1569
2018	Skornetten	842	988	1077	1192	1269	1318
2020	Åbogtjern	523	710	920	1040	1270	1420
2424	Tjellingtjernbekk	843	1222	1542	1946	2246	2544
2072	Storgama	614	764	889	1047	1164	1280
1687	Gryta	260	353	445	570	669	772
1128	Grosettjern	295	382	452	539	604	669
2017	Langtjørnbekk	181	216	231	243	249	253
2192	Hokfossen	449	607	741	876	1057	1198
2193	Svarttjønnbekken	609	797	960	1120	1349	1493
2194	Hestsjøbekken	889	1142	1349	1548	1823	1892
1162	Sørre	1208	1553	1954	2552	3072	3538

Enkelte av verdiene er noe usikre pga at en har benyttet ulike fordelinger ved frekvensanalysen og at findataene har mange hull. Dette fører til at en mister en del spissverdier av flomtopper. For døgndata derimot blir som regel manglende flomdata rekonstruert. Observasjonsperiodene for findataene og døgndataene er heller ikke sammenfallende. Enkelte av de største døgntflommene kan dessuten være spissverdier i perioder med døgnlig avlesning. Dette er lett å se spesielt for de stasjonene som får nesten lik eller større døgntflom enn spissflom, jfr tabell 3.3.

For feltene Ullebøelv, Hielva, Tysvær og Langtjørnbekk er målt maksimal døgntflom større enn målt maksimal spissverdi. Dette skyldes at tidsseriene for findata for disse stasjonene er kort og/eller har mye "hull".

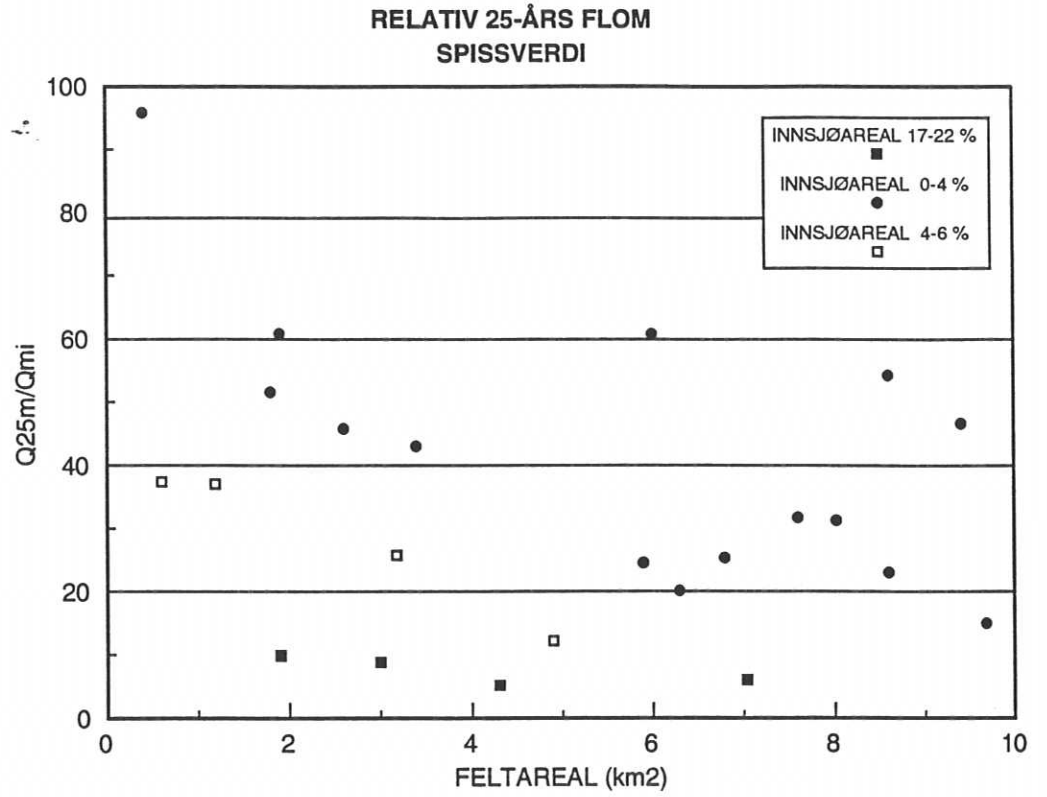
Tabell 3.3.

Målte maksimalflommer, døgnmiddel og spissverdier
(l/s·km²).

Vmnr	Stasjonsnavn	Døgnmiddel		Spissverdi	
		Periode	Q _{maks}	Periode	Q _{maks}
1571	Skjaastad	1967-87	412	1966-90	1107
842	Ullebøelv	1957-90	2941	1982-90	1783
931	Herviksvatn	1934-89	343	1985-90	364
1794	Hielva	1974-90	6010	1974-90	2097
603	Kløvtveitvatn	1922-90	582	1972-89	621
2205	Dyrdalsvatn	1978-89	1656	1978-89	2885
2307	Fønnerdalsvatn	1980-90	1470	1980-90	3463
2085	Tysvær	1974-90	299	1986-90	257
1852	Saglandvatn	1971-85	294	1974-89	346
1927	Tveitdalen	1979-90	3000	1973-89	3450
1829	Gravå	1970-90	270	1970-90	460
1945	Rauåna	1972-90	442	1972-90	1053
2018	Skornetten	1974-89	538	1974-89	1190
2020	Åbogtjern	1973-83	500	1974-85	788
2424	Tjellingtjernbekk	1981-89	684	1985-89	1878
2072	Storgama	1974-91	667	1974-91	1648
1687	Gryta	1967-90	368	1967-90	773
1128	Grosettjern	1949-90	542	1953-90	549
2017	Langtjørbekk	1972-90	286	1974-90	243
2192	Hokfossen	1969-80	413	1969-85	864
2193	Svarttjønnbekken	1971-80	382	1969-85	1351
2194	Hestsjøbekken	1972-80	500	1969-85	1436
1162	Sørørra	1952-88	2233	1952-90	4714

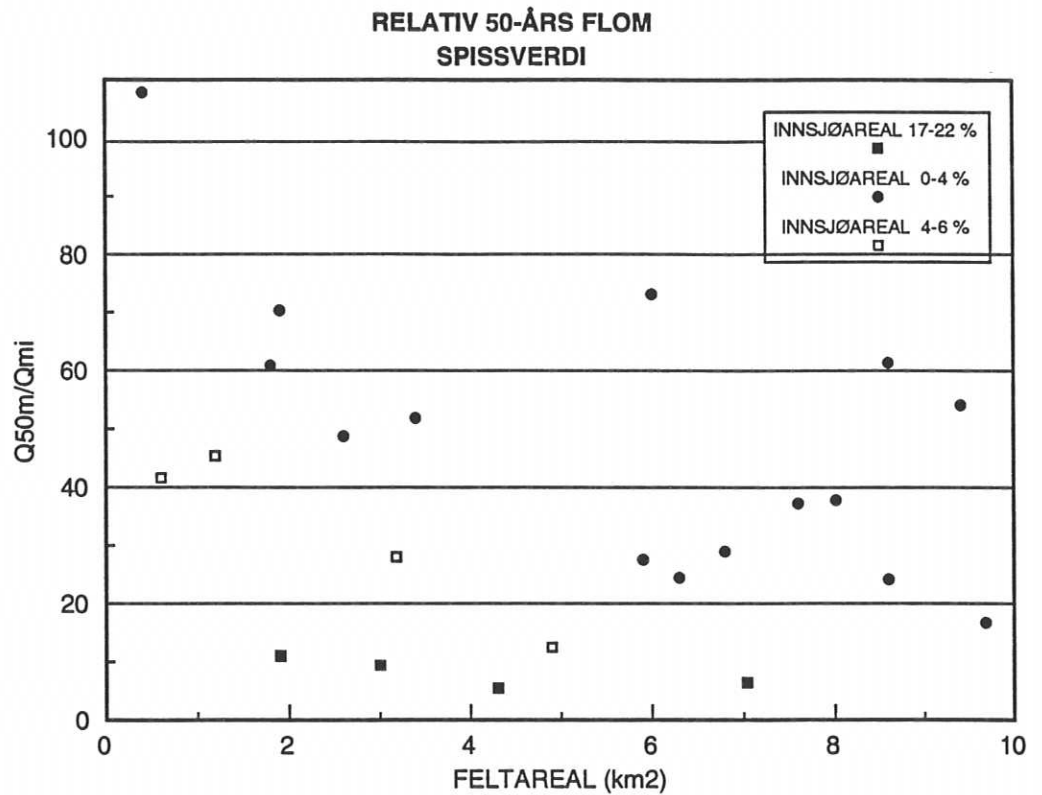
For feltene Storgama, Gryta og Sørørra er målt spissverdi større enn beregnet 100-årsflom (spissverdi) jfr tabell 3.2.

I figurene 3.3 og 3.4 er spissverdiene vist som forholdet mellom flomvannføring og middelvannføring for forskjellige gjentaksintervall.



Figur 3.3.

Relativ 25-årsflom (spissverdi) for de 23 feltene.



Figur 3.4.

Relativ 50-årsflom (spissverdi) for de 23 feltene.

Det kreves en omfattende analyse for å forklare de enkelte feltparametres betydning for flomforholdene. Til dette er foreliggende datamateriale for lite. Det kan derfor ikke trekkes noen klare konklusjoner vedr flomforholdenes avhengighet av de ulike feltparametre. Fra datamaterialet kan vi likevel se følgende tendenser.

Det er tydelig at feltstørrelse og effektiv sjøprosent slår sterkt ut mens regionstilhørighet har liten innvirkning på de relative flomtallene.

Klimatiske forhold

De relative flomtallene, dvs forholdet mellom flomvannføring og middelvannføring er omtrent de samme i alle landsdeler.

Sjøprosent

Vi ser av tabell 3.2 og figurene 3.3 og 3.4 at feltene med stor effektiv sjøprosent; Herviksvatn, Kløvtveitvatn, Tysvær og Saglandsvatn skiller seg klart ut med stor flomdempning. Momentan 25-årsflom er bare 5 til 10 ganger middelvannføringen.

Feltstørrelse

Ved Jonsvatnet i Trondheim ligger Sagelva hydrologiske forsøksfelt. Nedslagsfeltet består av skog og myr. Tre delfelter i Sagelva er inkludert i datamaterialet. Datagrunnlaget for de tre delfeltene egner seg godt til å illustrere avløpets avhengighet av feltarealet i små felt under ellers tilnærmet like forhold, jfr figur 3.5 Det er en klar tendens til at de relative flomverdiene avtar med økende feltareal. Her må en imidlertid være oppmerksom på at effektiv innsjøprosent øker med økende feltstørrelse for disse tre feltene, jfr tabell 3.1.

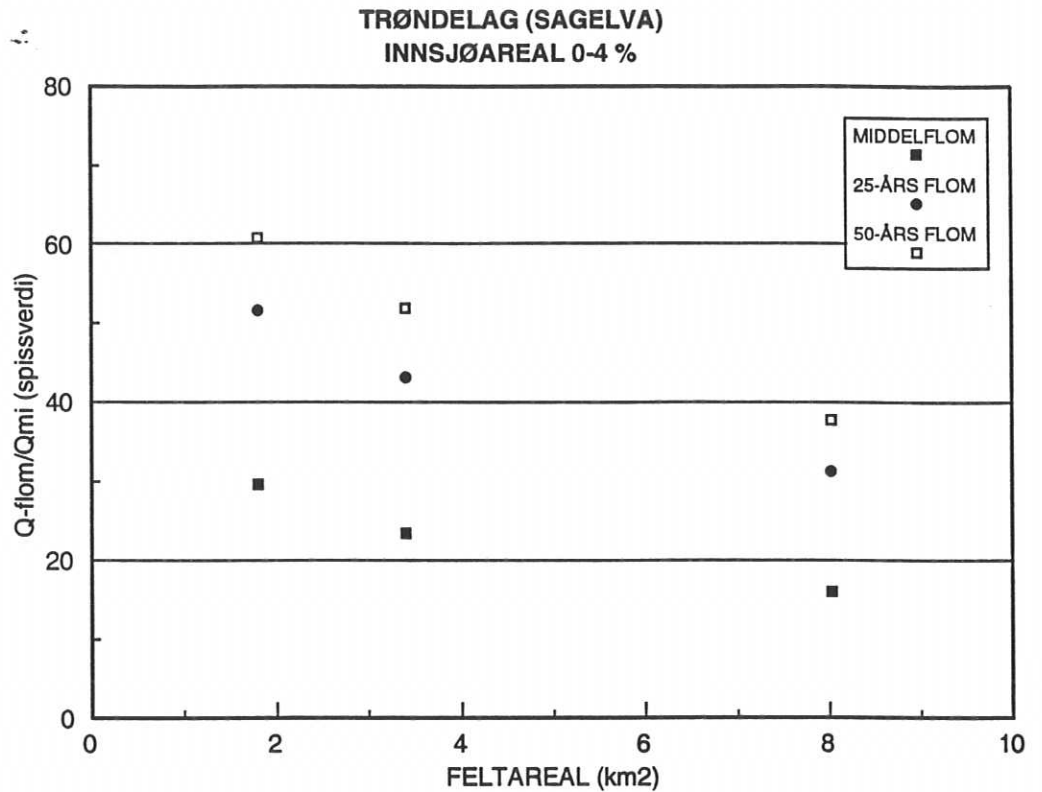
Vi regner med at flomverdiene vil avta med økende feltareal også i andre regioner, men formen på avhengigheten kan variere sterkt.

Det minste feltet i analysen, Tveitdalen (0,4 km²), er det feltet som har de største relative flomverdiene.

Andre parametre

Feltene er litt for like i lengde og helning til at man kan se virkningen av disse feltparametrene.

Ikke uventet viser stigningsforholdet på frekvenskurvene store avvik opp til 100-årsflommen. Men dette må man regne med når analysen er utført på så korte serier. Spesielt tidsseriene for Herviksvatn, Tjellingtjernbekk og Tysvær er svært korte.

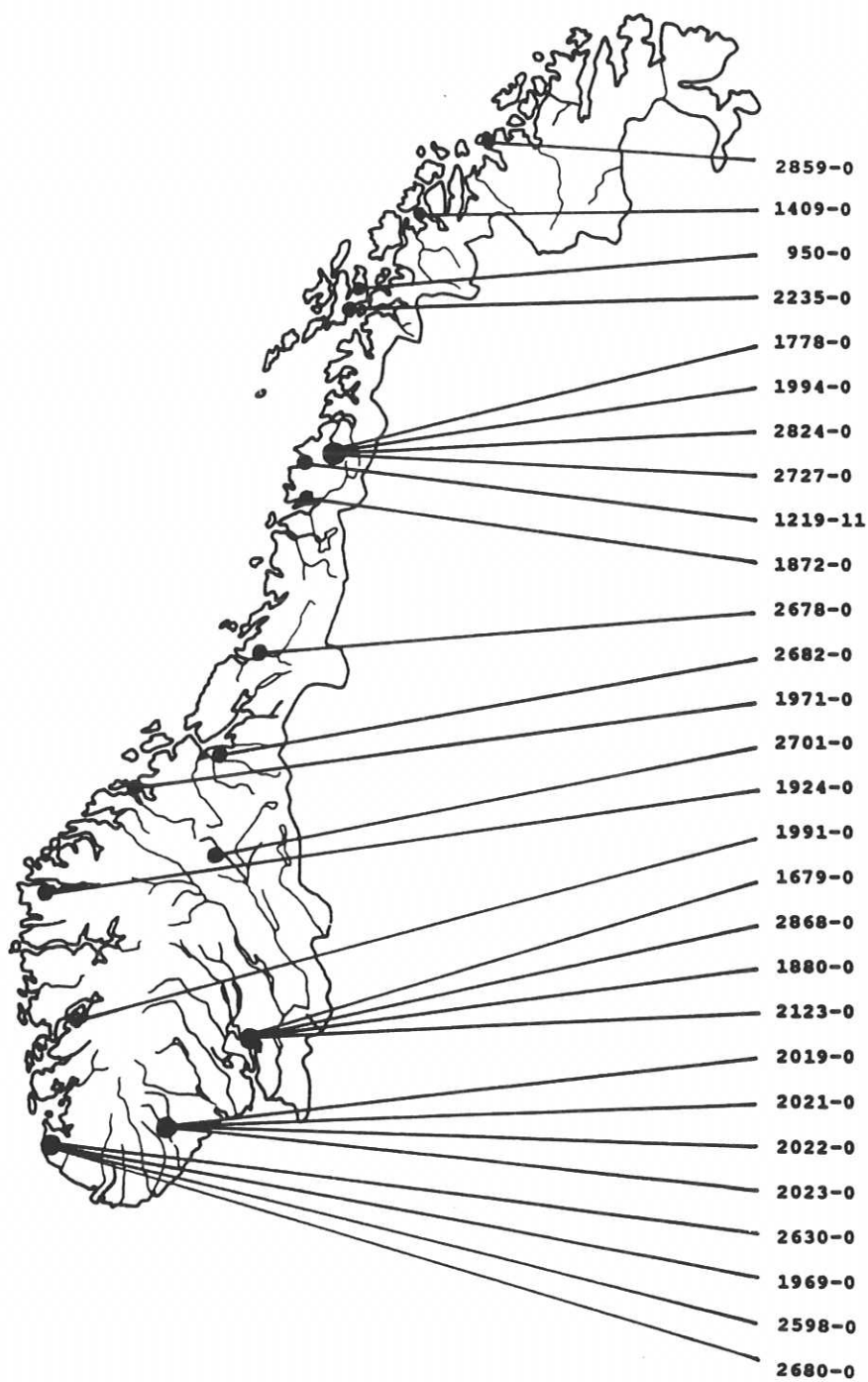


Figur 3.5.

Avløpsdata for Sagelva ved Jonsvatnet i Sør-Trøndelag.

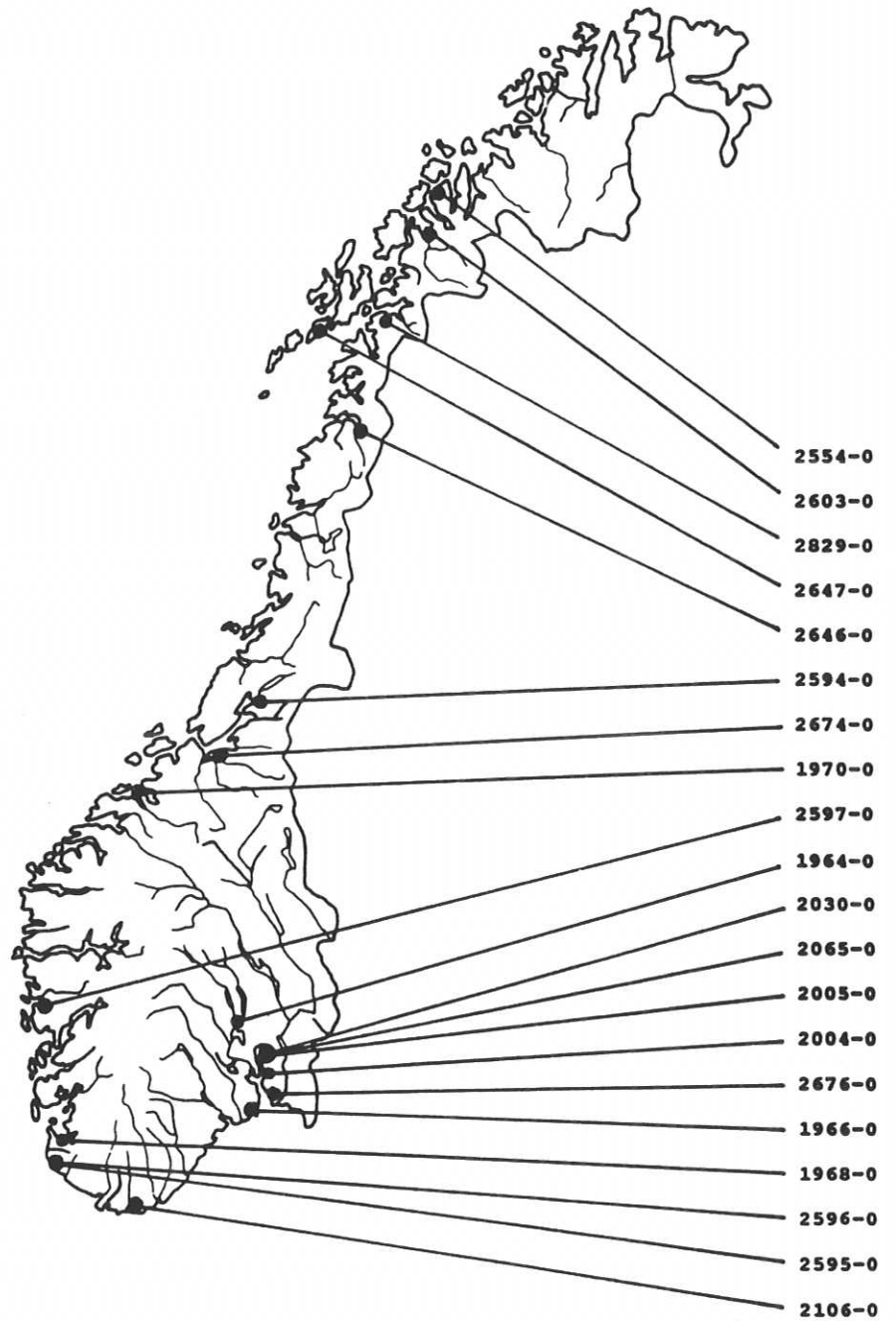
Det finnes data fra flere småfelt i NVEs arkiver, men de øvrige har enten for kort observasjonsperiode for å kunne analyseres eller de krever at man digitaliserer limnigram for å få fram data med fin tidsoppløsning. Den geografiske plassering av disse feltene er vist på figur 3.6.

I tillegg eksisterer det også data fra små felt hos universitet, høyskoler, forskningsinstitusjoner og kommuner. Det eksisterer også en del målestasjoner i små felt i bebygde områder. De fleste dataene fra slike urbane målestasjoner finnes i NVEs arkiver, jfr figur 3.7.



Figur 3.6.

Geografisk plassering av andre små felt som ikke er med i denne analysen (data finnes i NVEs arkiv).



Figur 3.7.

Geografisk plassering av urbanhydrologiske stasjoner med data i NVEs arkiv.

3.2. Flomberegning på grunnlag av målt nedbør (den rasjonelle formel)

Rasjonell
formel

Beregningsmetoden er basert på målt nedbør. Avrenningen (Q) er gitt ved:

$$Q = C \cdot i \cdot A;$$

der C = avrenningsfaktor, dimensjonsløs
i = dimensjonerende nedbørintensitet,
1/(s·ha)
A = feltareal, ha (100 ha = 1 km²)

Feltareal

Feltarealet beregnes ved planimetrering på kart, evt etter feltbefaring.

Avrenningsfaktor

Avrenningsfaktoren (C) er et mål for hvor mye av den totale nedbør som dreneres gjennom det aktuelle stedet. Valget av C avhenger av flere forhold ved nedslagsfeltet, som terrengtype og vegetasjon, helning og sannsynligheten for overflateavrenning ut av feltet. Den C som velges skal være en middelvei for feltet. Tabell 3.4 gir noen veiledende verdier for C.

Tabell 3.4.

Avrenningsfaktor C for ufrosset overflate (n = 10 år).

Terrengtype	C
Betong, asfalt, bart fjell o l	0,6 - 0,9
Grusveier	0,3 - 0,7
Dyrket mark og parkområder	0,2 - 0,4
Skogsområder	0,2 - 0,5

→ NB!

Variasjonsområdet for hver terrengtype skyldes i stor grad forskjeller i muligheten for rask avrenning fra feltet. (F eks vil stor utbredelse av mettede areal og jevnt over liten avstand ned til grunnvannspeilet under flomforhold gi maksimum C. Relativt store innsjøer i feltet vil derimot dempe flommen, og C blir mindre):

1. For flate og permeable overflater med stor avstand ned til grunnvannet brukes de laveste verdiene i tabellen. For bratte og tette overflater og der grunnvannsspeilet ofte går opp til overflaten og gir mettet overflateavrenning, brukes de høyeste verdiene.
2. For flom med gjentaksintervall høyere enn n = 10 år økes verdiene i tabellen etter følgende retningslinjer (opp til en maksimums koeffisient på C = 0,95) /9/:

25 år - legg til 10%
50 år - legg til 20%
100 år - legg til 25%

Retningslinjer for valg av C-verdier mangler foreløpig for frosset eller islagt område og innsjøer.

Gjentaksintervall	Valg av dimensjonerende gjentaksintervall, se kapittel 2.3.
Nedbørintensitet	<p>Dimensjonerende nedbørintensitet (i) bestemmes for et gitt gjentaksintervall (n) og varighet lik feltets konsentrasjonstid (tidsfaktor) (t_c). Konsentrasjonstiden er den tiden vannet bruker fra ytterst i feltet og fram til utløpet (kulverten).</p> <p>For å komme frem til i, benyttes nedbørintensitet/varighet-frekvenskurve for den mest representative nedbørstasjonen i nærheten. Inngangsparametrene er n og t_c.</p>
Målestasjoner for korttidsnedbør	<p>Alle landsdeler i Norge har i dag frekvenskurver for en eller flere nedbørstasjoner med nedbørmålere av typen Plumatic. Det nasjonale stasjonsnett har ca 45 slike korttids nedbørsstasjoner. Pga frostproblemer tas disse ut av drift i vinterhalvåret. Det finnes derfor ikke nedbørdata med god tidsopløsning for vinterhalvåret for Plumatic-stasjoner. Enkelte av målestasjonene for korttidsnedbør har oppvarmede målere. For disse stasjonene har en også vintermålinger.</p>

Intensitet/varighet-frekvenskurve for den mest representative nedbørstasjonen i nærheten kan skaffes til veie ved henvendelse til DNMI (Det norske meteorologiske institutt) eller Hydrologisk avdeling NVE. Nedbørintensiteter for noen utvalgte stasjoner er vist i tabell 3.5 og 3.6.

Hydrologisk avdeling, NVE har arbeidet med videreutvikling og testing av den rasjonelle formel for små naturlige felt og utviklet formler for beregning av konsentrasjonstid /9/.

Konsentrasjonstid

Ved beregning av konsentrasjonstiden, t_c , må en skille mellom naturlige og urbane (bebygde) felt, da disse feltenes responstid på nedbør er helt forskjellig (hhv timer og minutter) /9/.

Konsentrasjonstid i naturlig felt, i minutter:

$$t_c = 0,6 \cdot L/H^{0.5} + 3000 \cdot A_{se}$$

Konsentrasjonstid i bebygde felt, i minutter:

$$t_c = 0,02 \cdot L^{1.15}/H^{0.39}$$

der L = lengden av feltet, m

H = høydeforskjellen i feltet, m

A_{se} = effektivt innsjøareal i feltet, *Se s. 11*
angitt i andel, $0 < A_{se} < 1$

Lengden og høydeforskjellen i feltet regnes fra hhv fjerneste punkt i feltet til utløpet og fra høyeste punkt i feltet til utløpet.

Tabell 3.5.

Nedbørintensitet for noen utvalgte nedbørstasjoner ved gjentaksintervall 10 og 25 år i l/s/ha.

		n = 10 år							n = 25 år						
FYLKE	Stasj. nr. og navn iht. DNMI's arkiv	tidsfaktor t_c (minutt)							tidsfaktor t_c (minutt)						
		5	10	20	45	90	180	360	5	10	20	45	90	180	360
Østfold	0303 Fredrikstad	268	209	151	97	57	29	16	310	246	179	117	68	33	19
	0383 Askim II	269	196	133	83	48	28	14	317	233	158	100	58	32	15
Akershus	1949 Gjetsum	262	199	137	91	66	38	19	309	235	161	110	84	47	23
	0478 Gardermoen	292	217	136	67	38	22	13	345	259	160	77	44	25	14
Oslo	1870 Blindern	322	224	161	100	47	29	18	395	273	198	123	55	34	22
Hedmark	1229 Hamar	265	175	105	54	28	17	13	317	207	124	63	32	19	14
Oppland	5473 Varden-Filefjell	128	85	66	39	24	15	8	151	97	76	44	27	17	8
	1162 Gjøvik-Sogstad	206	156	114	69	44	24	14	240	182	138	82	52	28	16
Buskerud	2488 Nesbyen-Skoglund	156	106	70	45	28	16	12	177	121	79	52	32	19	14
	2689 Drammen-Marienlyst	244	200	130	64	37	25	18	285	240	156	75	42	27	21
Vestfold	2747 Torp	273	227	147	78	49	31	20	325	274	176	92	56	37	23
Telemark	3031 Skien-Klosterskogen	222	166	129	78	55	33	20	247	187	150	91	65	39	24
	3210 Gvarv	302	217	159	84	46	23	17	363	259	196	102	54	26	19
Aust-Agder	3606 Arendal br. st.	275	228	155	85	45	30	20	330	279	189	102	51	33	22
Vest-Agder	3915 Kr.sand-Sømskleiva	227	162	113	85	67	46	34	262	187	130	99	80	55	41
Rogaland	4724 Karmøy-Brekkevann	202	129	92	55	35	23	18	234	147	103	62	39	26	20
Hordaland	4789 Opstveit	223	165	117	72	60	46	33	257	191	135	81	69	51	36
Sogn og Fjordane	5870 Oppstryn	99	74	52	30	19	16	13	121	90	63	34	21	18	14
Møre og Romsdal	6094 Ålesund-Spjelkavik	115	74	53	35	26	19	16	128	81	59	38	28	20	17
	6342 Sunndalsøra	131	100	60	34	23	18	13	160	122	72	38	25	21	15
Sør-Trøndelag	6683 Sæter i Kvikne	139	117	95	74	46	21	12	152	133	112	91	58	25	13
	6817 Trondheim-Tyholt	181	120	74	44	30	20	13	221	145	87	52	35	24	15
Nord-Trøndelag	7285 Høylandet	264	185	108	53	28	15	13	326	231	133	63	32	17	14
Nordland	7349 Nordli-Brattvold	183	115	77	42	31	19	10	221	138	92	49	38	23	12
	8162 Øvre Saltdal	101	73	57	38	22	14	11	113	83	65	44	25	16	12
Troms	8935 Bardufoss	159	124	87	48	29	17	8	196	154	109	59	35	21	9
Finnmark	9725 Karasjok	187	139	109	57	27	17	12	222	164	134	69	32	20	14
	9937 Kirkenes	188	143	90	57	37	27	10	227	117	111	71	45	35	12

Tabell 3.6.

Nedbørintensitet for noen utvalgte nedbørstasjoner ved gjentaksintervall 50 og 100 år i l/s/ha/.

		n = 50 år							n = 100 år						
FYLKE	Stasj. nr. og navn iht. DNMI's arkiv	tidsfaktor t_c (minutt)							tidsfaktor t_c (minutt)						
		5	10	20	45	90	180	360	5	10	20	45	90	180	360
Østfold	0303 Fredrikstad	341	273	199	132	77	37	21	372	300	229	147	85	41	24
	0383 Askim II	353	260	176	113	65	36	16	389	287	195	126	72	40	17
Akershus	1949 Gjøttum	344	261	179	125	87	53	26	379	287	197	140	109	60	29
	0478 Gardermoen	385	291	178	85	48	27	15	425	322	196	92	52	29	16
Oslo	1870 Blindern	449	309	226	140	61	37	24	502	345	253	158	67	41	27
Hedmark	1229 Hamar	355	231	139	69	35	22	16	393	254	154	76	37	23	18
Oppland	5473 Varden-Filefjell	169	106	84	49	30	19	9	186	114	91	53	32	20	9
	1162 Gjøvik-Sogstad	266	202	155	91	58	32	18	291	221	172	101	64	35	19
Buskerud	2488 Nesbyen-Skoglund	193	131	86	57	36	20	15	208	142	93	63	39	22	17
	2689 Drammen-Marienlyst	316	270	175	82	45	30	23	346	300	193	90	48	32	25
Vestfold	2747 Torp	363	308	197	102	62	42	25	401	343	219	113	68	46	26
Telemark	3031 Skien-Klosterskogen	266	202	166	100	72	43	26	285	217	181	109	80	47	28
	3210 Gvarv	406	290	222	115	60	28	21	451	321	249	129	66	30	23
Aust-Agder	3606 Arendal br. st.	371	317	214	114	55	35	23	411	355	239	126	59	37	24
Vest-Agder	3915 Kr.sand-Sømskleiva	288	206	143	110	90	61	46	314	225	155	121	100	68	51
Rogaland	4724 Karmøy-Brekkevann	258	160	112	67	42	28	22	282	173	120	73	45	29	23
Hordaland	4789 Opstveit	282	211	149	88	76	55	39	306	230	162	95	82	59	41
Sogn og Fjordane	5870 Oppstryn	137	102	71	37	22	19	15	153	113	79	40	23	20	16
Møre og Romsdal	6094 Ålesund-Spjelkavik	138	86	63	41	30	21	18	148	91	67	44	32	22	20
	6342 Sunndalsøra	182	138	80	42	27	22	16	203	154	88	45	29	24	17
Sør-Trøndelag	6683 Sæter i Kvikne	162	144	124	104	66	28	14	172	156	136	117	75	31	16
	6817 Trondheim-Tyholt	251	163	97	58	39	27	16	281	182	107	64	43	29	17
Nord-Trøndelag	7285 Høylandet	373	265	152	71	36	18	16	419	298	171	79	39	19	17
Nordland	7349 Nordli-Brattvold	250	155	103	54	43	26	13	278	172	114	59	49	29	15
	8162 Øvre Saltdal	123	90	72	49	27	17	13	132	98	78	53	29	18	14
Troms	8935 Bardufoss	223	176	125	66	39	23	10	251	198	141	74	44	26	11
Finnmark	9725 Karasjok	248	183	152	77	35	22	15	274	202	170	86	38	24	17
	9937 Kirkenes	255	201	126	81	52	40	13	283	225	142	92	58	45	14

Ved sammensatte felt beregnes Q for hvert enkelt delfelt ved at en finner C og t_c for de enkelte delene. Avrenningen fra det totale feltet blir da en sum av de enkelte delfeltene ($Q = \sum Q_i$). Hvis det er stor forskjell i t_c mellom delfeltene må en finne den felles t_c som gir største Q og derved er dimensjonerende for hele feltet.

Store felt

Ved felt større enn ca 5 km² kan NVEs nedbør/avløpsmodell for flommer benyttes. Forutsetningen er at en har representative nedbørdata tilgjengelig i eller nær feltet. Modellen er tilgjengelig med retningslinjer og brukerveiledning ved henvendelse til Hydrologisk avdeling NVE /21/.

Flom-modellen kan, med visse modifikasjoner, benyttes i felt helt uten avløpsregistreringer. Modellen er enkel å bruke og trenger kun 4 parametre (areal, helningsparameter, effektiv sjøprosent, normalavløp). Flom-modellen er spesialisert for å simulere enkeltflommer (maks flom) og kan ikke benyttes til å simulere avløpsforholdene over lengre tidsperioder. Den maksimale tidsopløsnigen er en time som kan være noe grovt for de minste feltene.

3.3. Flomberegning på grunnlag av målt avrenning

Dimensjonerende flomvannføring kan beregnes på grunnlag av målt avrenning i vassdraget eller i nærliggende, lignende vassdrag.

Metoden baserer seg på flomfrekvensanalyse av vannføringen på en representativ/nærliggende målestasjon. Utifra den funne fordelingsfunksjonene bestemmes en "relativ flomavrenning". Dette er et ubenevnt forholdstall som fås ved å dividere flomvannføringene med midlere avrenning, jfr figurene 3.3 og 3.4. Den relative flomavrenningen kan så brukes i andre felt ved å skalere ved hjelp av areal og spesifikk middelavrenning.

Feltareal

Feltarealet beregnes ved planimetrering på kart, evt etter feltbefaring.

Data fra f eks NVEs avrenningskart over Norge /13/ kan brukes til å bestemme middelavrenningen.

Fordelen med denne metoden er at de aktuelle dataene og den fordelingsfunksjon som der er funnet for flom i små felt, benyttes direkte. Metoden er enkel og krever kun at man kjenner areal og middelavrenning i feltet.

Ulempen er at metoden kun bør/kan anvendes i felt hvor felt- og klimaforholdene "ligner" på forholdene i feltet hvor dataene hentes fra.

Eksempel

En kulvert i Trondheimsområdet skal dimensjoneres. Flomberegningen utføres ved bruk av data fra Sagelva. Det forutsettes at feltforholdene er lik forholdene i Sagelva. Feltet er 4 km². Midlere spesifikk avrenning er 25 l/s/km² og kulverten skal dimensjoneres for 25-års flom. Ved å benytte figur 3.5 finner vi at dimensjonerende flomvannføring blir $39 \cdot 25 (1/s/km^2) \cdot 4 (km^2)$, dvs 3,9 m³/s.

Det er dessverre kun for Sagelva at det i dag er datagrunnlag for å vurdere feltarealets betydning for de relative flomtallene. Det er imidlertid et område i Telemark/Aust-Agder med mange målestasjoner i samme område. Dataene fra disse stasjonene bør bearbejdes for å få fram areal-avhengigheten også for dette området.

3.4. Metoder for flomberegning - usikkerhet

Det er knyttet usikkerhet både til den rasjonelle metoden og metoden basert på målt avrenning og en bør velge den metode som gir lavest total usikkerhet. Valget må gjøres utifra hvilket datagrunnlag som er tilgjengelig og en vurdering av hva som er dimensjonerende; korte intense regnskyl eller langvarig nedbør med avløp fra mett grunn og snøsmelting.

Usikkerheten ved bruk av den rasjonelle metoden

Usikkerheten i flomberegning på grunnlag av målt regnintensitet og avrenningskoeffisienter skyldes følgende forhold:

- Usikkerhet i frekvenskurvene for nedbørsintensitet.
- Usikkerhet i overføring av frekvenskurver for nedbørsintensitet fra nedbørstasjon til aktuelt felt.
- Usikkerhet i fastsettelse av avrenningskoeffisient.
- Usikkerhet fordi frekvenskurvene for nedbør er forskjellige fra frekvenskurvene for avløp (stor nedbørsintensitet behøver ikke å gi stor avrenning og vice versa).

Usikkerheten i frekvenskurvene for nedbørsintensitet skyldes både måleusikkerhet generelt, usikkerhet i nedbørsdata for den kalde årstid (data mangler) og usikkerhet i frekvenskurven for lange gjentakintervall (korte dataserier).

Et inntrykk av usikkerhet i overføring av frekvenskurver fra målestasjon til aktuelt felt kan vi få ved å sammenligne nedbørintensiteter for nærliggende målestasjoner, jfr tabellene 3.5 og 3.6 (se f eks gjentakintervall $n = 25$ år og tidsfaktor $t_c = 90 - 180$ og sammenlign stasjonene Gjøvik og Hamar og stasjonene Skien og Gvarv). Utifra disse sammenligningene kan

usikkerheten i overføring av data mellom ulike felt være i størrelsesorden 50%. Usikkerheten kan reduseres noe ved detaljert vurdering av klimatiske forhold.

Usikkerheten i fastsettes av avrenningskoeffisient ser vi av tabell 3.4. For bart fjell er største verdi 50% større enn minste, mens for skogsområder er største verdi 150% større enn minste verdi.

Den samlede usikkerheten i frekvenskurvene for nedbørsintensitet, overføring fra nedbørstasjon til aktuelt felt og usikkerhet fordi frekvenskurvene for avløp er forskjellige fra frekvenskurvene for nedbør får vi et inntrykk av fra testingen av den rasjonelle formel utført av NVE /9/.

Avrenningsfaktorer

Spissverdiene for flommer ved ulikt gjentaksintervall er analysert sammen med nedbørintensiteter for den mest representative nedbørstasjonen i nærheten for å anslå avrenningsfaktoren (C) for ulike gjentaksintervall. I noen av tilfellene har en benyttet en avløpsstasjon som ligger ganske langt unna den aktuelle avløpsstasjonen. Dette skyldes at en har søkt å finne en nedbørstasjon med representativt klima og beliggenhet i terreng, dvs høyde, avstand fra kysten, o l.

Varigheten til nedbørintensiteten for hver enkelt felt ble beregnet ved hjelp av formelen for konsentrasjonstiden, t_c . Resultatene fra analysen er vist i tabell 3.7.

Årsaken til at enkelte av verdiene for C avtar med økt gjentaksintervall og at noen av verdiene kan være små, skyldes i stor grad usikkerheten både i datamaterialet, valg av representativ nedbørstasjon og i interpolasjonen av nedbør og avløp til høye gjentaksintervall.

Tabell 3.7.

Beregnet tidsfaktor og avrenningsfaktor for forskjellig gjentaksintervall for feltene som er med i analysen.

VMNR		t_c timer	C5	C10	C25	C50	C100
1571	Skjaastad	1,4	0,34	0,37	0,40	0,42	0,45
842	Ullebøelv	3,0	0,65	0,65	0,63	0,60	0,59
931	Herviksvatn	11,3	0,23	0,22	0,22	0,21	0,20
1794	Hielva	2,6	0,47	0,52	0,57	0,62	0,66
603	Kløvtveitvatn	12,2	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
2205	Dyrdalsvatn	3,3	0,61	0,62	0,64	0,65	0,64
2307	Fønnerdalsvatn	2,7	0,60	0,65	0,71	0,75	0,79
2085	Tysvær	13,8	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22
1852	Saglandsvatn	11,5	0,20	0,20	0,19	0,19	0,20
1927	Tveitdalen	0,9	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38
1829	Gravå	1,7	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12
1945	Rauåna	2,5	0,41	0,43	0,46	0,45	0,44
2018	Skornetten	1,5	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
2020	Åbogtjern	2,9	0,44	0,44	0,45	0,44	0,46
2424	Tjellingtjernbekk	1,5	0,31	0,36	0,40	0,42	0,45
2072	Storgama	4,0	0,45	0,44	0,48	0,49	0,49
1687	Gryta	2,4	0,14	0,14	0,15	0,17	0,18
1128	Grosettjern	3,5	0,27	0,28	0,28	0,30	0,30
2017	Langtjørnbekk	4,7	0,22	0,19	0,19	0,18	0,16
2192	Hokfossen	4,1	0,40	0,44	0,44	0,48	0,50
2193	Svarttjønnbekken	2,6	0,40	0,44	0,41	0,45	0,45
2194	Hestsjøbekken	1,2	0,39	0,40	0,38	0,41	0,38
1162	Sørøra	2,0	0,58	0,65	0,75	0,83	0,88

Når vi sammenligner tabellene 3.7 og 3.1 ser vi at når det gjelder Vestlandet så har feltene med stort effektivt innsjøareal (Herviksvatn, Kløvtveitvatn, Tysvær og Saglandsvatn) avrenningsfaktorer i området 0,22 - 0,33. Feltene med lite innsjøareal har avrenningsfaktorer i området 0,4 - 0,8. Største verdi er med andre ord henholdsvis 50 og 100% større enn minste verdi.

Feltene som er med i analysen fra Aust-Agder og Telemark, har avrenningsfaktorer i området (0,1) 0,2 - 0,5. Største verdi er 100% større enn minste.

De tre Østlandsfeltene som er med, har avrenningsfaktorer mellom 0,15 og 0,30. Også her er største verdi 100% større enn minste. De tre Trøndelagsfeltene har avrenningsfaktor 0,4 - 0,5.

I dette tilfelle er avrenningskoeffisientene beregnet. Ved dimensjonering må disse fastsettes utifra skjønn og usikkerheten med dette kommer i tillegg. Vi vil derfor anslå den totale usikkerheten ved den rasjonelle metoden til i størrelsesorden 100%.

Usikkerhet i flomberegning på grunnlag av målt avrenning

Usikkerheten i flomberegning på grunnlag av målt avrenning skyldes følgende forhold:

- Usikkerhet i frekvenskurver for avløp på målestasjonene.
- Usikkerhet i overføring av frekvenskurver fra målestasjonen til aktuelt felt.
- Usikkerhet i middelavløp.

Usikkerheten i frekvenskurvene for avløp skyldes generell måleusikkerhet og usikkerhet i frekvenskurvene for lange gjentaksintervall (korte dataserier). Den generelle måleusikkerheten for vannføring regnes vanligvis å være mindre enn generell måleusikkerhet for nedbør. I motsetning til korttids-nedbørstasjonene har avløpsstasjonene dessuten som regel vært i drift hele året slik at usikkerhetene i frekvenskurvene for avløp vanligvis vil være mindre enn usikkerhetene i frekvenskurvene for nedbør. En må imidlertid være oppmerksom på at en del avløpsstasjoner som nevnt tidligere har betydelige hull i dataseriene.

Viktig er det også at en unngår problemet med forskjellige frekvenskurver for nedbør og avrenning.

Usikkerheten i overføring av frekvenskurver fra målestasjon til aktuelt felt får vi et inntrykk av fra variasjonen i relative flomtall, figurene 3.3 og 3.4. For felt med omtrent like stor innsjøprosent og feltstørrelse i samme region er største verdi 50 - 100% større enn minste verdi. Usikkerheten kan reduseres ved detaljert vurdering av de viktigste feltparametre.

Middelavløpet tas fra kart /13/ som etterhvert begynner å bli bra. Med unntak for området med store lokale forskjeller antar vi derfor at usikkerheten i middelavløpet ligger i størrelsesorden 10%.

Den totale usikkerheten ved flomberegning på grunnlag av målt avrenning antar vi ligger i størrelsesorden 50 - 100%.

Risikonivå

Uansett hvilken flomberegningsmetode som velges må en ta hensyn til usikkerheten i flomberegningene ved dimensjonering, jfr avsnitt 2.3

	Retningslinjer for valg av C-verdier mangler foreløpig for frosset eller islagt område og innsjøer.
Gjentaksintervall	Valg av dimensjonerende gjentaksintervall, se kapittel 2.3.
Nedbørintensitet	<p>Dimensjonerende nedbørintensitet (i) bestemmes for et gitt gjentaksintervall (n) og varighet lik feltets konsentrasjonstid (tidsfaktor) (t_c). Konsentrasjonstiden er den tiden vannet bruker fra ytterst i feltet og fram til utløpet (kulverten).</p> <p>For å komme frem til i, benyttes nedbørintensitet/varighet-frekvenskurve for den mest representative nedbørstasjonen i nærheten. Inngangsparametrene er n og t_c.</p>
Målestasjoner for korttidsnedbør	<p>Alle landsdeler i Norge har i dag frekvenskurver for en eller flere nedbørstasjoner med nedbørmålere av typen Plumatic. Det nasjonale stasjonsnett har ca 45 slike korttids nedbørsstasjoner. Pga frostproblemer tas disse ut av drift i vinterhalvåret. Det finnes derfor ikke nedbørdata med god tidsopløsning for vinterhalvåret for Plumatic-stasjoner. Enkelte av målestasjonene for korttidsnedbør har oppvarmede målere. For disse stasjonene har en også vintermålinger.</p> <p>Intensitet/varighet-frekvenskurve for den mest representative nedbørstasjonen i nærheten kan skaffes til veie ved henvendelse til DNMI (Det norske meteorologiske institutt) eller Hydrologisk avdeling NVE. Nedbørintensiteter for noen utvalgte stasjoner er vist i tabell 3.5 og 3.6.</p> <p>Hydrologisk avdeling, NVE har arbeidet med videreutvikling og testing av den rasjonelle formel for små naturlige felt og utviklet formler for beregning av konsentrasjonstid /9/.</p>
Konsentrasjonstid	<p>Ved beregning av konsentrasjonstiden, t_c, må en skille mellom naturlige og urbane (bebygde) felt, da disse feltenes responstid på nedbør er helt forskjellig (hhv timer og minutter) /9/.</p> <p>Konsentrasjonstid i naturlig felt, i minutter:</p> $t_c = 0,6 \cdot L/H^{0.5} + 3000 \cdot A_{se}$ <p>Konsentrasjonstid i bebygde felt, i minutter:</p> $t_c = 0,02 \cdot L^{1.15}/H^{0.39}$ <p>der L = lengden av feltet, m H = høydeforskjellen i feltet, m A_{se} = effektivt innsjøareal i feltet, <i>Se s. 10</i> angitt i andel, $0 < A_{se} < 1$</p> <p>Lengden og høydeforskjellen i feltet regnes fra hhv fjerneste punkt i feltet til utløpet og fra høyeste punkt i feltet til utløpet.</p>

Tabell 3.5.

Nedbørintensitet for noen utvalgte nedbørstasjoner ved gjentaksintervall 10 og 25 år i l/s/ha.

		n = 10 år							n = 25 år						
FYLKE	Stasj. nr. og navn iht. DNMI's arkiv	tidfaktor t_c (minutt)							tidfaktor t_c (minutt)						
		5	10	20	45	90	180	360	5	10	20	45	90	180	360
Østfold	0303 Fredrikstad	268	209	151	97	57	29	16	310	246	179	117	68	33	19
	0383 Askim II	269	196	133	83	48	28	14	317	233	158	100	58	32	15
Akershus	1949 Gjøttum	262	199	137	91	66	38	19	309	235	161	110	84	47	23
	0478 Gardermoen	292	217	136	67	38	22	13	345	259	160	77	44	25	14
Oslo	1870 Blindern	322	224	161	100	47	29	18	395	273	198	123	55	34	22
Hedmark	1229 Hamar	265	175	105	54	28	17	13	317	207	124	63	32	19	14
Oppland	5473 Varden-Filefjell	128	85	66	39	24	15	8	151	97	76	44	27	17	8
	1162 Gjøvik-Sogstad	206	156	114	69	44	24	14	240	182	138	82	52	28	16
Buskerud	2488 Nesbyen-Skoglund	156	106	70	45	28	16	12	177	121	79	52	32	19	14
	2689 Drammen-Marienlyst	244	200	130	64	37	25	18	285	240	156	75	42	27	21
Vestfold	2747 Torp	273	227	147	78	49	31	20	325	274	176	92	56	37	23
Telemark	3031 Skien-Klosterskogen	222	166	129	78	55	33	20	247	187	150	91	65	39	24
	3210 Gvarv	302	217	159	84	46	23	17	363	259	196	102	54	26	19
Aust-Agder	3606 Arendal br. st.	275	228	155	85	45	30	20	330	279	189	102	51	33	22
Vest-Agder	3915 Kr.sand-Sømskleiva	227	162	113	85	67	46	34	262	187	130	99	80	55	41
Rogaland	4724 Karmøy-Brekkevann	202	129	92	55	35	23	18	234	147	103	62	39	26	20
Hordaland	4789 Opstveit	223	165	117	72	60	46	33	257	191	135	81	69	51	36
Sogn og Fjordane	5870 Oppstryn	99	74	52	30	19	16	13	121	90	63	34	21	18	14
Møre og Romsdal	6094 Ålesund-Spjelkavik	115	74	53	35	26	19	16	128	81	59	38	28	20	17
	6342 Sunndalsøra	131	100	60	34	23	18	13	160	122	72	38	25	21	15
Sør-Trøndelag	6683 Sæter i Kvikne	139	117	95	74	46	21	12	152	133	112	91	58	25	13
	6817 Trondheim-Tyholt	181	120	74	44	30	20	13	221	145	87	52	35	24	15
Nord-Trøndelag	7285 Høylandet	264	185	108	53	28	15	13	326	231	133	63	32	17	14
Nordland	7349 Nordli-Brattvold	183	115	77	42	31	19	10	221	138	92	49	38	23	12
	8162 Øvre Saltdal	101	73	57	38	22	14	11	113	83	65	44	25	16	12
Troms	8935 Bardufoss	159	124	87	48	29	17	8	196	154	109	59	35	21	9
Finnmark	9725 Karasjok	187	139	109	57	27	17	12	222	164	134	69	32	20	14
	9937 Kirkenes	188	143	90	57	37	27	10	227	117	111	71	45	35	12

Tabell 3.6.

Nedbørintensitet for noen utvalgte nedbørstasjoner ved gjentaksintervall 50 og 100 år i l/s/ha/.

		n = 50 år							n = 100 år						
FYLKE	Stasj. nr. og navn iht. DNMI's arkiv	tidsfaktor t_c (minutt)							tidsfaktor t_c (minutt)						
		5	10	20	45	90	180	360	5	10	20	45	90	180	360
Østfold	0303 Fredrikstad	341	273	199	132	77	37	21	372	300	229	147	85	41	24
	0383 Askim II	353	260	176	113	65	36	16	389	287	195	126	72	40	17
Akershus	1949 Gjøttum	344	261	179	125	87	53	26	379	287	197	140	109	60	29
	0478 Gardermoen	385	291	178	85	48	27	15	425	322	196	92	52	29	16
Oslo	1870 Blindern	449	309	226	140	61	37	24	502	345	253	158	67	41	27
Hedmark	1229 Hamar	355	231	139	69	35	22	16	393	254	154	76	37	23	18
Oppland	5473 Varden-Filefjell	169	106	84	49	30	19	9	186	114	91	53	32	20	9
	1162 Gjøvik-Sogstad	266	202	155	91	58	32	18	291	221	172	101	64	35	19
Buskerud	2488 Nesbyen-Skoglund	193	131	86	57	36	20	15	208	142	93	63	39	22	17
	2689 Drammen-Marienlyst	316	270	175	82	45	30	23	346	300	193	90	48	32	25
Vestfold	2747 Torp	363	308	197	102	62	42	25	401	343	219	113	68	46	26
Telemark	3031 Skien-Klosterskogen	266	202	166	100	72	43	26	285	217	181	109	80	47	28
	3210 Gvarv	406	290	222	115	60	28	21	451	321	249	129	66	30	23
Aust-Agder	3606 Arendal br. st.	371	317	214	114	55	35	23	411	355	239	126	59	37	24
Vest-Agder	3915 Kr.sand-Sømskleiva	288	206	143	110	90	61	46	314	225	155	121	100	68	51
Rogaland	4724 Karmøy-Brekkevann	258	160	112	67	42	28	22	282	173	120	73	45	29	23
Hordaland	4789 Opstveit	282	211	149	88	76	55	39	306	230	162	95	82	59	41
Sogn og Fjordane	5870 Oppstryn	137	102	71	37	22	19	15	153	113	79	40	23	20	16
Møre og Romsdal	6094 Ålesund-Spjelkavik	138	86	63	41	30	21	18	148	91	67	44	32	22	20
	6342 Sunndalsøra	182	138	80	42	27	22	16	203	154	88	45	29	24	17
Sør-Trøndelag	6683 Sæter i Kvikne	162	144	124	104	66	28	14	172	156	136	117	75	31	16
	6817 Trondheim-Tyholt	251	163	97	58	39	27	16	281	182	107	64	43	29	17
Nord-Trøndelag	7285 Høylandet	373	265	152	71	36	18	16	419	298	171	79	39	19	17
Nordland	7349 Nordli-Brattvold	250	155	103	54	43	26	13	278	172	114	59	49	29	15
	8162 Øvre Saltdal	123	90	72	49	27	17	13	132	98	78	53	29	18	14
Troms	8935 Bardufoss	223	176	125	66	39	23	10	251	198	141	74	44	26	11
Finnmark	9725 Karasjok	248	183	152	77	35	22	15	274	202	170	86	38	24	17
	9937 Kirkenes	255	201	126	81	52	40	13	283	225	142	92	58	45	14

Ved sammensatte felt beregnes Q for hvert enkelt delfelt ved at en finner C og t_c for de enkelte delene. Avrenningen fra det totale feltet blir da en sum av de enkelte delfeltene ($Q = \sum Q_i$). Hvis det er stor forskjell i t_c mellom delfeltene må en finne den felles t_c som gir største Q og derved er dimensjonerende for hele feltet.

Store felt

Ved felt større enn ca 5 km^2 kan NVEs nedbør/avløpsmodell for flommer benyttes. Forutsetningen er at en har representative nedbørdata tilgjengelig i eller nær feltet. Modellen er tilgjengelig med retningslinjer og brukerveiledning ved henvendelse til Hydrologisk avdeling NVE /21/.

Flom-modellen kan, med visse modifikasjoner, benyttes i felt helt uten avløpsregistreringer. Modellen er enkel å bruke og trenger kun 4 parametre (areal, helningsparameter, effektiv sjøprosent, normalavløp). Flom-modellen er spesialisert for å simulere enkeltflommer (maks flom) og kan ikke benyttes til å simulere avløpsforholdene over lengre tidsperioder. Den maksimale tidsoppløsnignen er en time som kan være noe grovt for de minste feltene.

3.3. Flomberegning på grunnlag av målt avrenning

Dimensjonerende flomvannføring kan beregnes på grunnlag av målt avrenning i vassdraget eller i nærliggende, lignende vassdrag.

Metoden baserer seg på flomfrekvensanalyse av vannføringen på en representativ/nærliggende målestasjon. Utifra den funne fordelingsfunksjonene bestemmes en "relativ flomavrenning". Dette er et ubenevnt forholdstall som fås ved å dividere flomvannføringene med midlere avrenning, jfr figurene 3.3 og 3.4. Den relative flomavrenningen kan så brukes i andre felt ved å skalere ved hjelp av areal og spesifikk middelavrenning.

Feltareal

Feltarealet beregnes ved planimetrering på kart, evt etter feltbefaring.

Data fra f eks NVEs avrenningskart over Norge /13/ kan brukes til å bestemme middelavrenningen.

Fordelen med denne metoden er at de aktuelle dataene og den fordelingsfunksjon som der er funnet for flom i små felt, benyttes direkte. Metoden er enkel og krever kun at man kjenner areal og middelavrenning i feltet.

Ulempen er at metoden kun bør/kan anvendes i felt hvor felt- og klimaforholdene "ligner" på forholdene i feltet hvor dataene hentes fra.

Eksempel

En kulvert i Trondheimsområdet skal dimensjoneres. Flomberegningen utføres ved bruk av data fra Sagelva. Det forutsettes at feltforholdene er lik forholdene i Sagelva. Feltet er 4 km². Midlere spesifikk avrenning er 25 l/s/km² og kulverten skal dimensjoneres for 25-års flom. Ved å benytte figur 3.5 finner vi at dimensjonerende flomvannføring blir $39 \cdot 25 (l/s/km^2) \cdot 4 (km^2)$, dvs 3,9 m³/s.

Det er dessverre kun for Sagelva at det i dag er datagrunnlag for å vurdere feltarealets betydning for de relative flomtallene. Det er imidlertid et område i Telemark/Aust-Agder med mange målestasjoner i samme område. Dataene fra disse stasjonene bør bearbejdes for å få fram areal-avhengigheten også for dette området.

3.4. Metoder for flomberegning - usikkerhet

Det er knyttet usikkerhet både til den rasjonelle metoden og metoden basert på målt avrenning og en bør velge den metode som gir lavest total usikkerhet. Valget må gjøres utifra hvilket datagrunnlag som er tilgjengelig og en vurdering av hva som er dimensjonerende; korte intense regnskyll eller langvarig nedbør med avløp fra mettet grunn og snøsmelting.

Usikkerheten ved bruk av den rasjonelle metoden

Usikkerheten i flomberegning på grunnlag av målt regnintensitet og avrenningskoeffisienter skyldes følgende forhold:

- Usikkerhet i frekvenskurvene for nedbørsintensitet.
- Usikkerhet i overføring av frekvenskurver for nedbørsintensitet fra nedbørstasjon til aktuelt felt.
- Usikkerhet i fastsettelse av avrenningskoeffisient.
- Usikkerhet fordi frekvenskurvene for nedbør er forskjellige fra frekvenskurvene for avløp (stor nedbørsintensitet behøver ikke å gi stor avrenning og vice versa).

Usikkerheten i frekvenskurvene for nedbørsintensitet skyldes både måleusikkerhet generelt, usikkerhet i nedbørdata for den kalde årstid (data mangler) og usikkerhet i frekvenskurven for lange gjentakintervall (korte dataserier).

Et inntrykk av usikkerhet i overføring av frekvenskurver fra målestasjon til aktuelt felt kan vi få ved å sammenligne nedbørintensiteter for nærliggende målestasjoner, jfr tabellene 3.5 og 3.6 (se f.eks gjentakintervall $n = 25$ år og tidsfaktor $t_c = 90 - 180$ og sammenlign stasjonene Gjøvik og Hamar og stasjonene Skien og Gvarv). Utifra disse sammenligningene kan

usikkerheten i overføring av data mellom ulike felt være i størrelsesorden 50%. Usikkerheten kan reduseres noe ved detaljert vurdering av klimatiske forhold.

Usikkerheten i fastsettes av avrenningskoeffisient ser vi av tabell 3.4. For bart fjell er største verdi 50% større enn minste, mens for skogsområder er største verdi 150% større enn minste verdi.

Den samlede usikkerheten i frekvenskurvene for nedbørsintensitet, overføring fra nedbørstasjon til aktuelt felt og usikkerhet fordi frekvenskurvene for avløp er forskjellige fra frekvenskurvene for nedbør får vi et inntrykk av fra testingen av den rasjonelle formel utført av NVE /9/.

Avrenningsfaktorer

Spissverdiene for flommer ved ulikt gjentaksintervall er analysert sammen med nedbørintensiteter for den mest representative nedbørstasjonen i nærheten for å anslå avrenningsfaktoren (C) for ulike gjentaksintervall. I noen av tilfellene har en benyttet en avløpsstasjon som ligger ganske langt unna den aktuelle avløpsstasjonen. Dette skyldes at en har søkt å finne en nedbørstasjon med representativt klima og beliggenhet i terreng, dvs høyde, avstand fra kysten, o l.

Varigheten til nedbørintensiteten for hver enkelt felt ble beregnet ved hjelp av formelen for konsentrasjonstiden, t_c . Resultatene fra analysen er vist i tabell 3.7.

Årsaken til at enkelte av verdiene for C avtar med økt gjentaksintervall og at noen av verdiene kan være små, skyldes i stor grad usikkerheten både i datamaterialet, valg av representativ nedbørstasjon og i interpolasjonen av nedbør og avløp til høye gjentaksintervall.

Tabell 3.7.

Beregnet tidsfaktor og avrenningsfaktor for forskjellig gjentaksintervall for feltene som er med i analysen.

VMNR		t_c timer	C5	C10	C25	C50	C100
1571	Skjaastad	1,4	0,34	0,37	0,40	0,42	0,45
842	Ullebøelv	3,0	0,65	0,65	0,63	0,60	0,59
931	Herviksvatn	11,3	0,23	0,22	0,22	0,21	0,20
1794	Hielva	2,6	0,47	0,52	0,57	0,62	0,66
603	Kløvtveitvatn	12,2	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
2205	Dyrdalsvatn	3,3	0,61	0,62	0,64	0,65	0,64
2307	Fønnerdalsvatn	2,7	0,60	0,65	0,71	0,75	0,79
2085	Tysvær	13,8	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22
1852	Saglandsvatn	11,5	0,20	0,20	0,19	0,19	0,20
1927	Tveitdalen	0,9	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38
1829	Gravå	1,7	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12
1945	Rauåna	2,5	0,41	0,43	0,46	0,45	0,44
2018	Skornetten	1,5	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
2020	Åbogtjern	2,9	0,44	0,44	0,45	0,44	0,46
2424	Tjellingtjernbekk	1,5	0,31	0,36	0,40	0,42	0,45
2072	Storgama	4,0	0,45	0,44	0,48	0,49	0,49
1687	Gryta	2,4	0,14	0,14	0,15	0,17	0,18
1128	Grosettjern	3,5	0,27	0,28	0,28	0,30	0,30
2017	Langtjørbekke	4,7	0,22	0,19	0,19	0,18	0,16
2192	Hokfossen	4,1	0,40	0,44	0,44	0,48	0,50
2193	Svarttjønnbekken	2,6	0,40	0,44	0,41	0,45	0,45
2194	Hestsjøbekken	1,2	0,39	0,40	0,38	0,41	0,38
1162	Sørra	2,0	0,58	0,65	0,75	0,83	0,88

Når vi sammenligner tabellene 3.7 og 3.1 ser vi at når det gjelder Vestlandet så har feltene med stort effektivt innsjøareal (Herviksvatn, Kløvtveitvatn, Tysvær og Saglandsvatn) avrenningsfaktorer i området 0,22 - 0,33. Feltene med lite innsjøareal har avrenningsfaktorer i området 0,4 - 0,8. Største verdi er med andre ord henholdsvis 50 og 100% større enn minste verdi.

Feltene som er med i analysen fra Aust-Agder og Telemark, har avrenningsfaktorer i området (0,1) 0,2 - 0,5. Største verdi er 100% større enn minste.

De tre Østlandsfeltene som er med, har avrenningsfaktorer mellom 0,15 og 0,30. Også her er største verdi 100% større enn minste. De tre Trøndelagsfeltene har avrenningsfaktor 0,4 - 0,5.

I dette tilfelle er avrenningskoeffisientene beregnet. Ved dimensjonering må disse fastsettes utifra skjønn og usikkerheten med dette kommer i tillegg. Vi vil derfor anslå den totale usikkerheten ved den rasjonelle metoden til i størrelsesorden 100%.

Usikkerhet i flomberegning på grunnlag av målt avrenning

Usikkerheten i flomberegning på grunnlag av målt avrenning skyldes følgende forhold:

- Usikkerhet i frekvenskurver for avløp på målestasjonene.
- Usikkerhet i overføring av frekvenskurver fra målestasjonen til aktuelt felt.
- Usikkerhet i middelavløp.

Usikkerheten i frekvenskurvene for avløp skyldes generell måleusikkerhet og usikkerhet i frekvenskurvene for lange gjentaksintervall (korte dataserier). Den generelle måleusikkerheten for vannføring regnes vanligvis å være mindre enn generell måleusikkerhet for nedbør. I motsetning til korttids-nedbørstasjonene har avløpsstasjonene dessuten som regel vært i drift hele året slik at usikkerhetene i frekvenskurvene for avløp vanligvis vil være mindre enn usikkerhetene i frekvenskurvene for nedbør. En må imidlertid være oppmerksom på at en del avløpsstasjoner som nevnt tidligere har betydelige hull i dataseriene.

Viktig er det også at en unngår problemet med forskjellige frekvenskurver for nedbør og avrenning.

Usikkerheten i overføring av frekvenskurver fra målestasjon til aktuelt felt får vi et inntrykk av fra variasjonen i relative flomtall, figurene 3.3 og 3.4. For felt med omtrent like stor innsjøprosent og feltstørrelse i samme region er største verdi 50 - 100% større enn minste verdi. Usikkerheten kan reduseres ved detaljert vurdering av de viktigste feltparametre.

Middelavløpet tas fra kart /13/ som etterhvert begynner å bli bra. Med unntak for området med store lokale forskjeller antar vi derfor at usikkerheten i middelavløpet ligger i størrelsesorden 10%.

Den totale usikkerheten ved flomberegning på grunnlag av målt avrenning antar vi ligger i størrelsesorden 50 - 100%.

Risikonivå

Uansett hvilken flomberegningsmetode som velges må en ta hensyn til usikkerheten i flomberegningene ved dimensjonering, jfr avsnitt 2.3

4. HYDRAULISK DIMENSJONERING OG UTFORMING

4.1. Hva bestemmer kapasiteten

Kapasiteten til kulverter og stikkrenner kan enten være styrt av forholdene kun ved innløpet (innløpskontroll) eller av kulverten som en helhet (utløpskontroll).

Innløpskontroll

Ved innløpskontroll er kapasiteten en funksjon av:

- rørdiameter
- innløpets geometri/utforming
- vannstanden ved innløpet.

Utløpskontroll

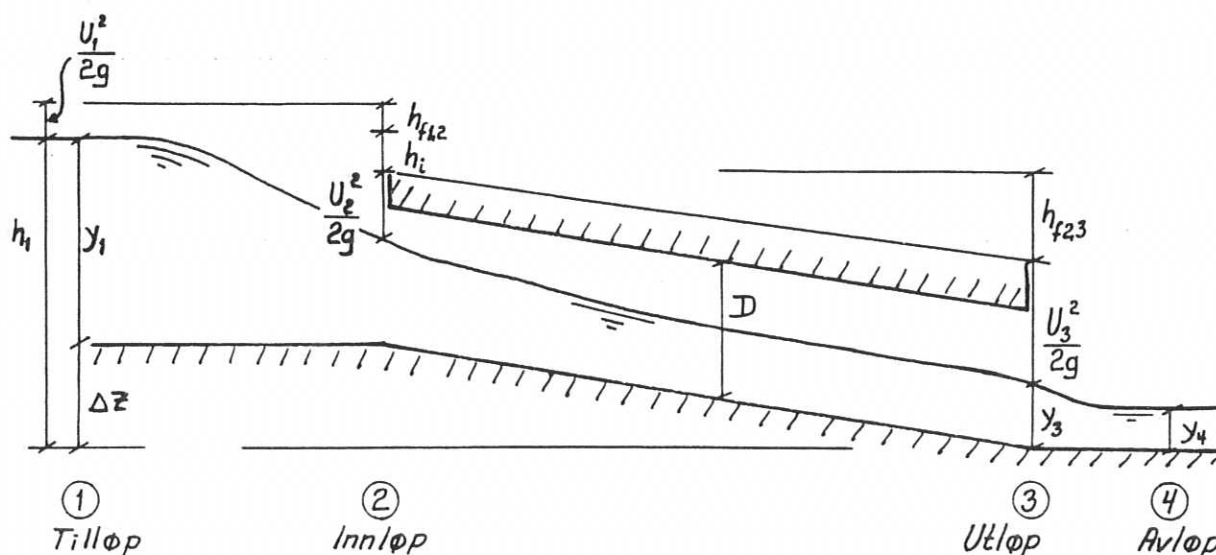
Ved utløpskontroll er kapasiteten en funksjon av:

- rørdiameter
- innløpets geometri/utforming
- lengden på kulverten/stikkrenna
- friksjonsforholdene i kulverten
- helning av kulverten
- vannstand ved innløpet
- vannstanden ved utløpet

Stikkrenner og kulverter med stort eller middels stort fall ($> 10 - 20 \text{ ‰}$) samt korte kulverter har vanligvis innløpskontroll mens utløpskontroll er karakteristisk for stikkrenner og kulverter med lite fall og for lange kulverter.

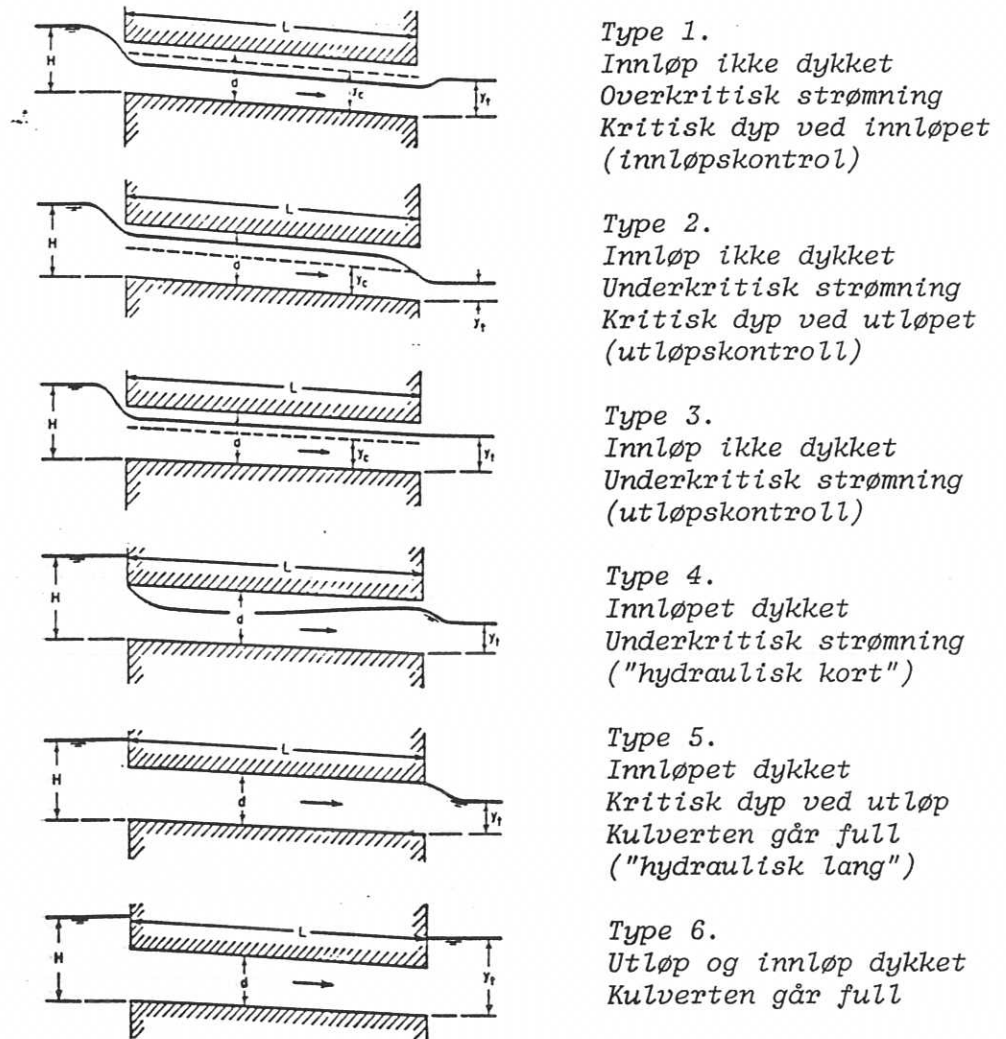
Strømningsforhold i rette kulverter

Strømningen gjennom kulverter kan anta mange former. Det er vanlig å dele strømmingen inn i 6 forskjellige hovedtyper, se figur 4.2 /1, 2/:



Figur 4.1.

Definisjoner for beskrivelse av strømningsforholdene i en kulvert.



Figur 4.2.

Typen strømning i en rett kulvert.

Tabell 4.1 viser hvilken del av kulverten som bestemmer kapasiteten (bestemmende snitt) for de forskjellige strømningstypene beskrevet i figur 4.2. Vanddybder o og l er definert i figur 4.1.

Kapasitetsberegning

Beregning av kapasiteten til en kulvert skjer ved prøving og feiling. Framgangsmåten blir noe forskjellig, avhengig av hvilken strømningstype en har.

Frispeilsstrømning

For å hindre opphoping av flytende gjenstander i tilløpet må kulverter ha friskepeilsstrømning i innløpet, dvs innløpet skal ikke være dykket ved dimensjonerende flom. De aktuelle strømningsforholdene er m a o type 1, 2 og 3. Dette innebærer at en kan ha en viss reservekapasitet dersom innløpet allikevel dykkes (type 4, 5 og 6). Reservekapasiteten bør beregnes slik at en vet ved hvilken vannføring vannet begynner å gå andre veger, jfr avsnitt 2.4

Tabell 4.1.

Beskrivelse av forskjellige strømmingstyper i en kulvert /1, 2/.

Strømningstype	Strømming i kulvert	Plassering av bestemmende snitt	Hva bestemmer kapasiteten	Kulvertens helning	y_1/D	y_4/y_c	y_4/D
1	Delvis full	Innløp	Kritisk dyp	Bratt	$<1,5$	$<1,0$	$\leq 1,0$
2	Delvis full	Utløp	Kritisk dyp	Slakk	$<1,5$	$<1,0$	$\leq 1,0$
3	Delvis full	Utløp	Nedstrøms vannstand	Slakk	$<1,5$	$>1,0$	$\leq 1,0$
4	Delvis full	Innløp	Innløpets geometri	Ingen betydning	$\geq 1,5$	-	$\leq 1,0$
5	Full	Utløp	Innløpets og kulvertens geometri	Ingen betydning	$\geq 1,5$	-	$\leq 1,0$
6	Full	Utløp	Nedstrøms vannstand	Ingen betydning	$>1,0$	-	$\geq 1,0$

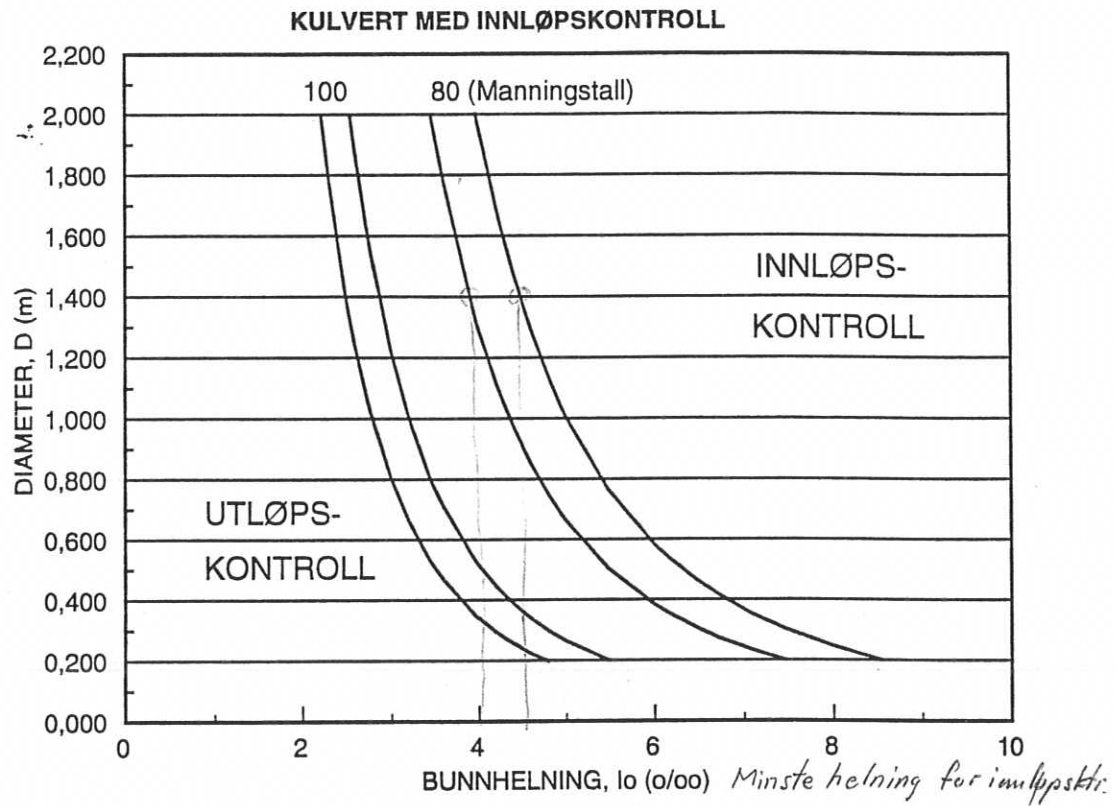
Utifra betraktninger om "kritisk strømming" i rør kan det settes opp nomogrammer som forteller om en kulvert har innløpskontroll eller utløpskontroll.

Det minste fallet som gir innløpskontroll ved varierende ruhet og diameter er vist på figurene 4.3 og 4.4 (delfylling (Y/D) på henholdsvis 0,8 og 0,7) .

Plast og betongrør har som regel innløpskontroll

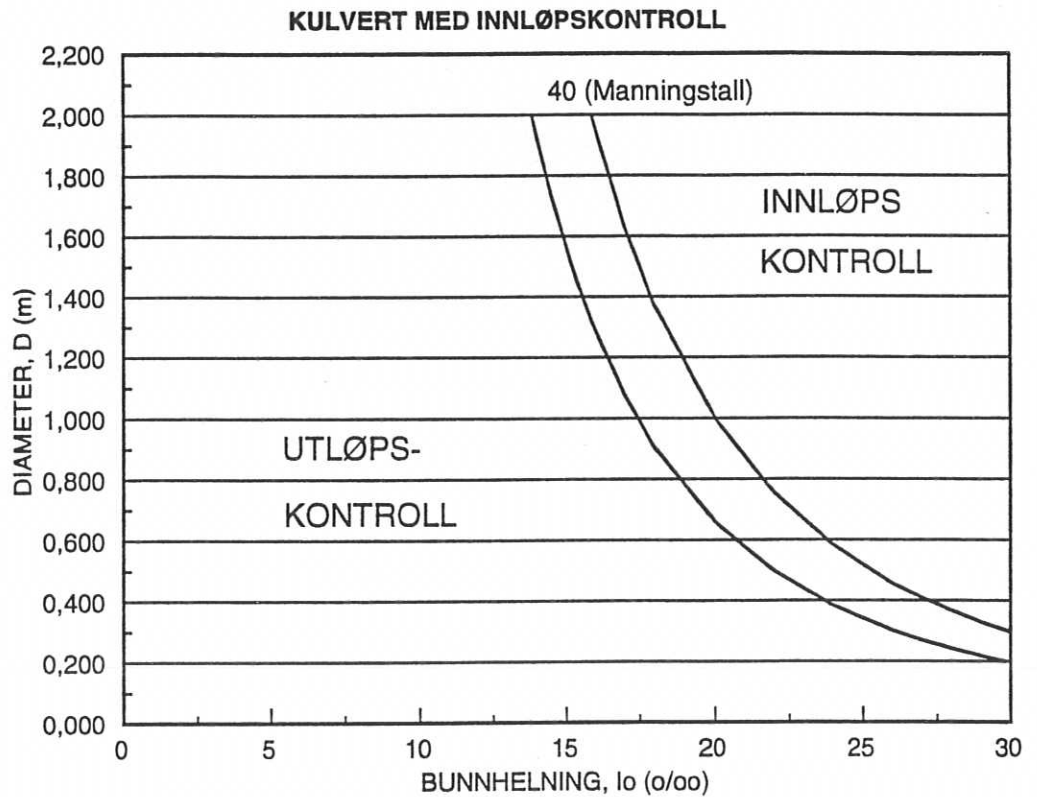
Rørkulverter lagt med fall som ligger i området til høyre for kurvene, har innløpskontroll. Figurene viser at plastrør (Manningstall, $M = 100$) og betongrør ($M = 80$) i de fleste praktiske tilfeller får innløpskontroll. Kulvertene er forutsatt fri for avleiringer.

Når det derimot gjelder kulverter i korrugert stålrør ($M = 40$), må helningen være relativt stor for at kulverten skal ha innløpskontroll.



Figur 4.3.

Minimumsfall for innløpskontroll i plastrør ($M = 100$) og betongrør ($M = 80$).



Figur 4.4.

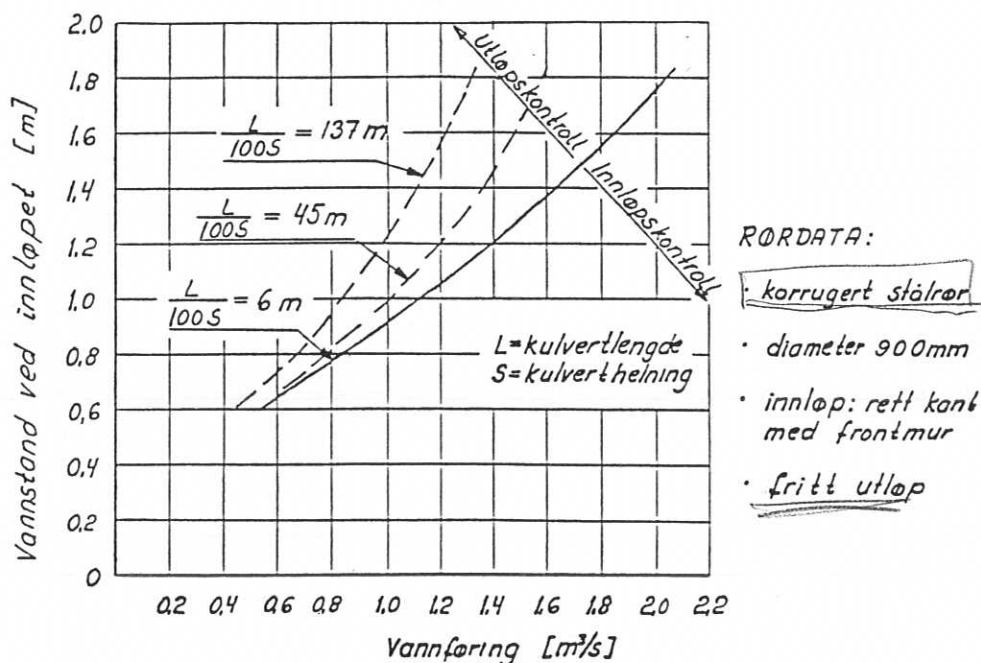
Minimumsfall for innløpskontroll i korrugerte stålrør.

Lengdens
betydning

Lengden av en kulvert har også betydning for om en kulvert har innløpskontroll eller utløpskontroll. Figur 4.5 viser når et korrugert stålrør med diameter 900 mm har utløpskontroll, og når det har innløpskontroll. Når forholdet kulvertlengde (L)/bunnhelning (I_b) er stort, har kulverten utløpskontroll. Kommer L/I_b under en viss grense, får kulverter innløpskontroll. Bratte eller korte kulverter har gjerne innløpskontroll.

$$\frac{L}{I_b} = \frac{35}{0,5} = 70$$

$$\frac{150}{0,5} = 300$$



Figur 4.5.

Kapasiteten til en kulvert med utløps- og innløpskontroll /3, omarbeidet/.

4.2. Kulverthelning mhp selvrensing og anleggsteknisk utførelse

Kravet til bunnhelning for selvrensing av kulverten er beregnet utfra krav til skjærspenning langs bunnen ved en vannføring som er 10% av den dimensjonerende for kapasitet, jfr tabell 4.3. Kravet til skjærspenning er satt til 3 N/m² for rør mindre enn 500 mm og 4 N/m² for rør større enn 500 mm. Av hensyn til den anleggstekniske utførelsen gis dette minimumsfallet et toleransetillegg på 2 o/oo. Tabell 4.2 gir krav til bunnhelning for rørkulverter utfra ovennevnte forhold.

Dimensjonerende vannføring for selvrensing er satt så høyt som 10% av dimensjonerende vannføring for kapasitet. Det betyr at en regner med en viss avleiring ved lave vannføringer. Disse avleiringene vil imidlertid bli vasket bort når vannføringen kommer over 10 - 20% av kapasiteten.

Tabell 4.2.

Minimum bunnhelning mhp selvrensing og anleggsteknisk utførelse. Basert på /27/.

Rørmateriale	Diameter (mm)	Minimum helning (o/oo)
Betong/plast	300	9
	400	7
	500 - 600	6
	800 - 1000	5
	≥ 1200	<u>4</u>
Korrugert stål	> 800	5

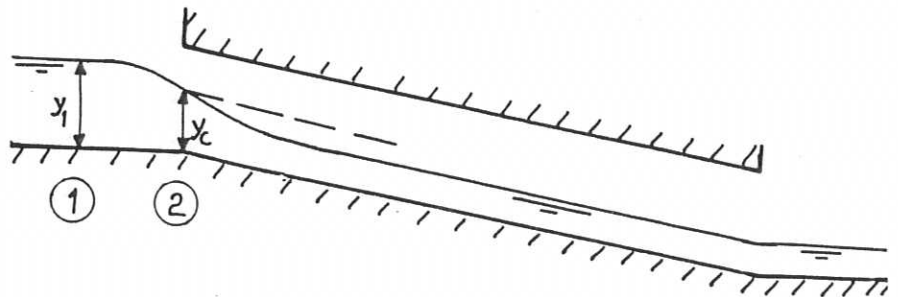
Sammenholdt med figur 4.3 ser vi at plast- og betongrør som regel vil få innløpskontroll når kravet til bunnhelning oppfylles.

4.3. Kapasitetsberegning for kulverter med innløpskontroll

Strømning type 1
Overkritisk

Ved innløpskontroll går strømmingen "gjennom kritisk" i innløpet (snitt 2). I kulvertens hoveddel er strømmingen overkritisk (Froudetall, $Fr > 1$). Vanddybden y_1 i tilløpet er en entydig funksjon av vannføring, kulvertdiameter og innløpets geometri. Lengden av kulverten og friksjonsforholdene har ingen betydning.

Ved strømning type 1 er det fritt vannspeil i innløpet. Dette vil være tilfelle inntil vannstanden i tilløpet til kulverten (snitt 1) tilsvarer $Y_1/D \sim 1,2$.



Figur 4.6.

Strømning type 1.

Kapasitetsberegning

Ved innløpskontroll er kulvertenes kapasitet gitt ved vannstanden ved innløpet (Y_1), og innløpets diameter/dimensjon (D) og geometri.

Med utgangspunkt i nomogrammene fra "US Bureau of Public Roads", er kapasitet for ulike innløpsgeometrier og dimensjoner beregnet ved en innløpsvannstand (Y_1) tilsvarende $Y_1/D = 1,0$. Dette gir sikkerhet for at innløpet ikke dykkes. Se tabell 4.3.

Tabell 4.3.

Hydraulisk kapasitet (l/s) for rørkulvert med innløpskontroll ved $Y_1/D = 1,0$. (Ref.: U.S. Bureau of Public Roads, Capacity Charts for the Hydraulic Design of Highway Culverts, Hyd.Eng. circ. No. 10, March 1965).

Innløps- type	Diameter innvendig (mm)									1800
	300	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600	
"A"	67	135	232	361	726	1240	1940	2820	3890	7900
"B"	65	132	228	357	723	1250	1950	2850	3950	5000
"C"	57	117	204	320	652	1130	1780	2600	3630	4600
"D"	72	145	252	395	803	1390	2180	3190	4430	
"E"	69	140	242	379	771	1330	2090	3060	4260	
"F"	65	133	231	363	740	1280	2020	2960	4120	
"G"	65	133	231	363	742	1290	2030	2970	4150	

"A" Frontmur, ca vinkelrett på rørets lengdeakse, rett rør.
 "B" Innløpet formet etter helning på grøfteskråningen.
 "C" Utstikkende rørende.
 "D" Rett avkortet kjegle med helning 1:1,5, se også tabell 4.4.
 "E" Tilsvarende "A", men med muffeenden innstøpt i frontmur (betongrør).
 "F" Tilsvarende "C", men med utstikkende muffeende (betongrør).
 "G" Tilsvarende "A", men med 45 graders vingemurer.

Ved gunstige innløpsgeometrier kan det oppnås mer enn 20% kapasitetsøkning i forhold til kapasiteten ved utstikkende ende.

Ved økt vannstand tilsvarende $Y_1/D = 1,2$ vil en kunne oppnå en kapasitetsøkning (reservekapasitet) i innløpet på 15 - 20% i forhold til kapasiteten ved vannstanden som tilsvarende $Y_1/D = 1,0$.

Type "D"

For kulverter med konisk innløp/kjegle, type "D", gjelder tabell 4.3 kapasiteten ved $Y_1/D = 1,0$ i forhold til hovedrøret. Fordi innløpet er konisk kan imidlertid vannstanden oppstrøms kulverten tillates å stige over $Y_1/D = 1,0$ og likevel ha god klaring til taket. Hovedrøret kan dermed utnyttes bedre og kapasiteten blir betydelig større. Følgende kriterier er lagt til grunn:

- Overkritisk strømming i hovedrøret, dvs innløpskontroll.
- Delfylling i hovedrøret mindre enn 0,8.
- Energihøyden ved innløpet mindre enn største diameter på konen/kjegla.

Kapasitet for kulverter med konisk innløp er gitt i tabell 4.4.

Tabell 4.4.

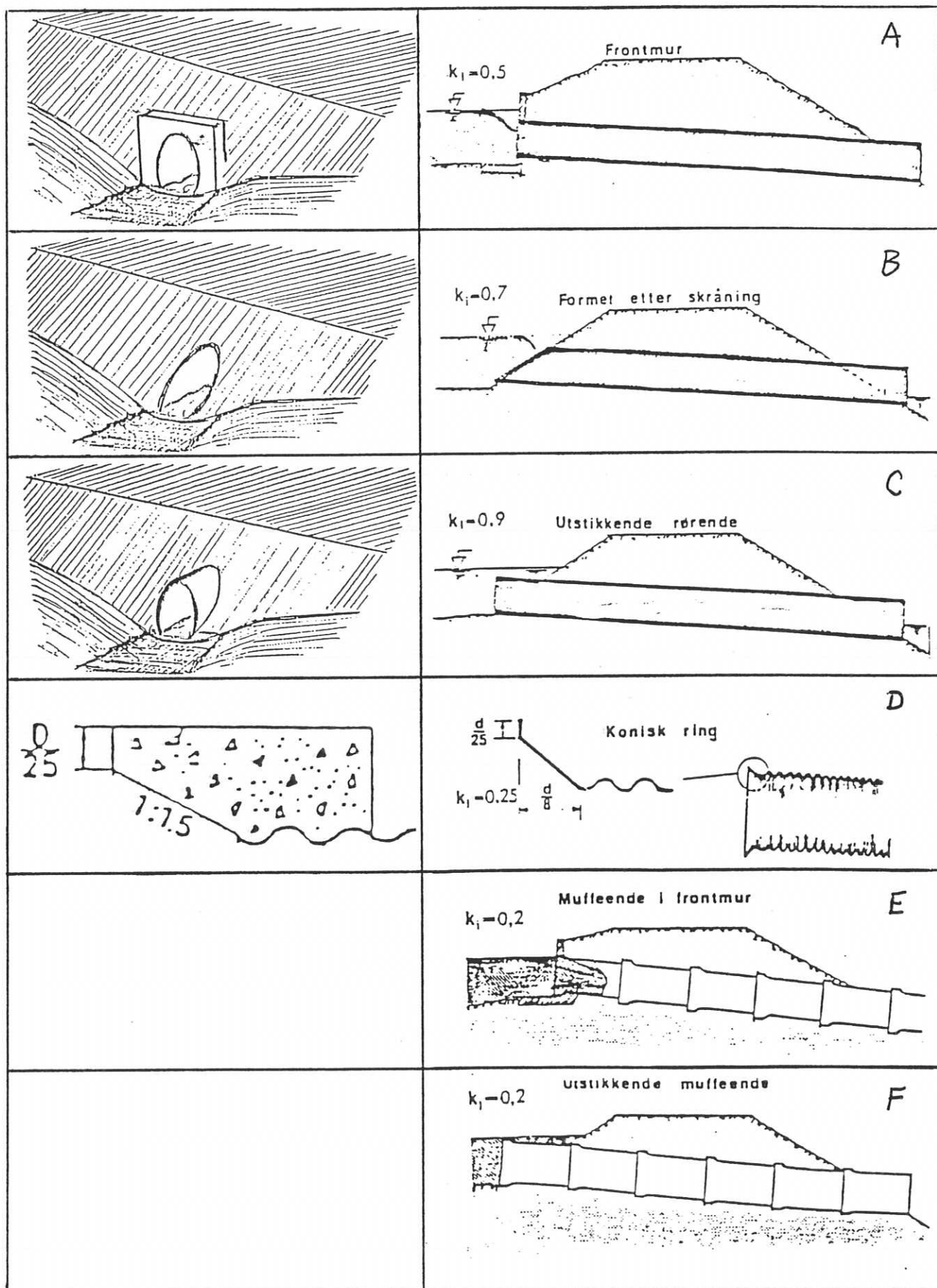
Kapasitet (l/s) for rørkulverter med konisk innløp, type "D". Overkritisk strømming og maks delfylling 0,8 i hovedrøret og energihøyde mindre enn største diameter i innløpet.

Dimensjon Innløp/hoveddel mm	Betongrør (M = 80)		Plastrør (M = 100)	
	10 ‰ 1/s	15 ‰ 1/s	7,5 ‰ 1/s	10 ‰ 1/s
400/300	85	110	90	90*
500/300	85	110	90	110
500/400	190	190*	200	200*
600/400	190	240	200	235
600/500	235*	240*	205*	235*
800/500	350	430	365	420
800/600	565	569*	585	585*
1000/600	565	695	585	675

* Innløpet "lukkes" før en utnytter kapasiteten i hovedrøret.

Eksempel

Sammenlignet med tabell 4.3 ser vi at kapasiteten kan økes betydelig ved bruk av konisk innløp som tillater høyere vannstand i innløpet. En 600 mm betongkulvert uten konisk innløp har kapasitet på ca 360 l/s. Med konisk innløp 800/600 mm, økes kapasiteten til 565 l/s, altså med mer enn 50%.



Figur 4.7.

Skisse av innløpstyper for rørkulverter.

4.4. Kulverter med akselerasjonssone (bratt innløpsdel)

Store og lange kulverter med store rørkostnader og kompliserte strømningsforhold bør dimensjoneres individuelt med tanke på at innløpskapasiteten bør være like stor som kapasiteten for kulvertens hoveddel. Derved utnyttes hoveddelen best mulig.

Figur 4.8 viser en kulvert med innløpskontroll og med strømmingstype 1. Vannet akselereres nedover kulverten, og nederst i kulverten er vanndybden liten. Kulvertens tverrsnitt utnyttes dårlig.

I mange tilfeller kan kapasiteten økes med 50 - 100% ved å gå over til kulvert med bratt innløp

Figur 4.9 viser en kulvert med bratt innløp og forholdsvis slakk hoveddel. Kulverten har innløpskontroll. Gjennom det bratte innløpet akselereres vannet opp til en hastighet som svarer til normalstrømming i hoveddelen. Ved normalstrømming endrer vanndybden seg ikke, og det er derfor mulig å utnytte hoveddelen fullt ut. Strømmingen er overkritisk, både i innløpet og i hoveddelen.

Figurene 4.8 og 4.9 viser to kulverter med samme diameter som utnytter den samme høydeforskjellen. I dette eksemplet har kulverten med bratt innløp nesten dobbelt så stor kapasitet som den rette kulverten med samme vanndybde oppstrøms.

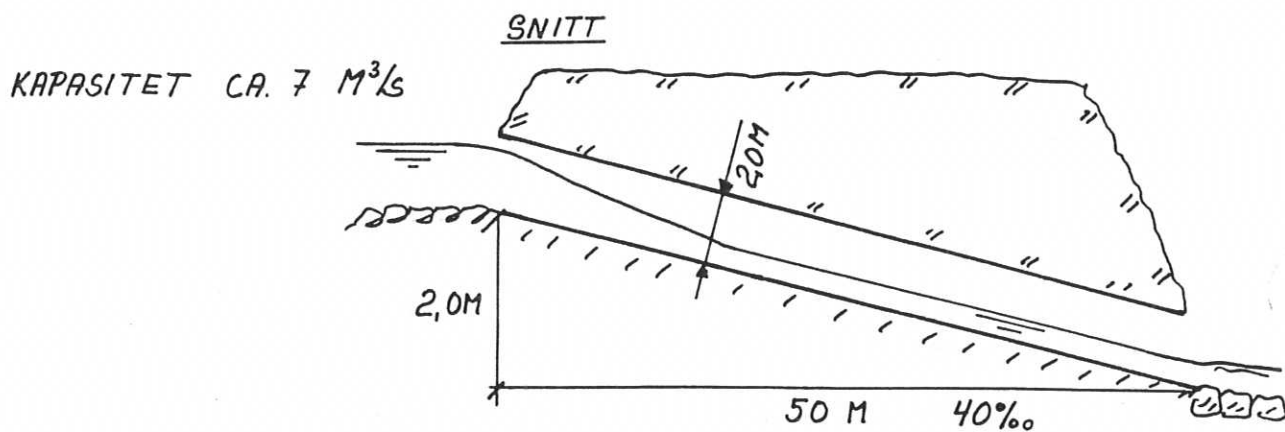
Lange og store kulverter blir billigere

Særlig for større kulverter ($D > 0,8$ m) kan dette gi en langt billigere løsning enn den tradisjonelle kulverten med jevnt fall. Innløpet spesialutformes for den enkelte kulvert. For å kunne tjene inn den ekstra kostnaden for innløpet må kulverten ha en viss lengde.

For korte kulverter ($L < 20 - 40$ m) vil det være billigst med den tradisjonelle utforming med samme tverrsnitt på hele kulverten, eventuelt med konisk innløp. Dette gjelder og for alle kulverter med fall mindre enn ca $10^0/00$. For lengre kulverter ($L > 40 - 50$ m) og fall større enn ca $10^0/00$, blir løsningen med et kort, bratt innløp billigst.

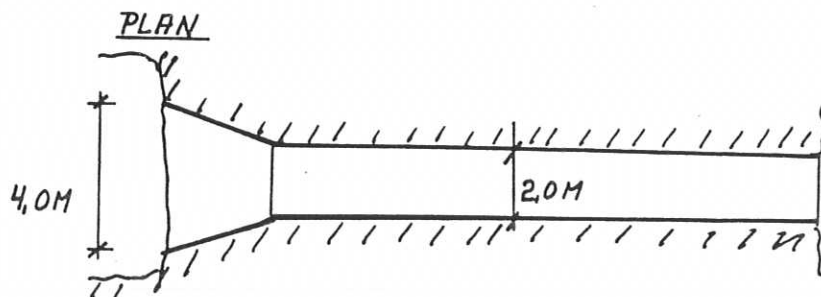
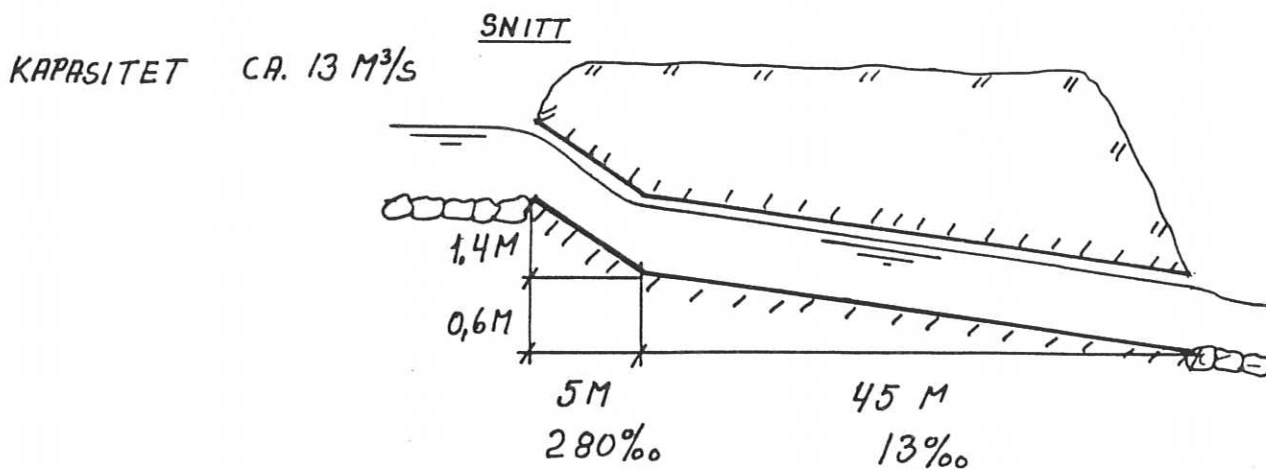
Tabell 4.5 beskriver kapasiteten for denne type kulverter med forskjellige rørdiametre. Tabellen viser at med et bratt innløp oppnås grovt regnet en fordobling av kulvertens kapasitet i forhold til en tradisjonell kulvert med innløpskontroll. En kulvert med bratt innløp og diameter på 600 mm har kapasitet tilsvarende en tradisjonell kulvert med diameter på 800 mm.

Eksempler på store kulverter med bratt innløp er vist i vedlegg.



Figur 4.8.

Kulvert med innløpskontroll. Strømning type 1.



Figur 4.9.

Kulvert med innløpskontroll. Bratt innløp og slakk hoveddel.

Tabell 4.5.

Kapasitet (l/s) for kulverter med bratt innløp (rektangulært innløp, sirkulært rør) sammenlignet med tradisjonell løsning.

Innløpsseksjon			Hovedseksjon			Kapasitet med bratt innløp l/s	Kapasitet ved tradisjonell løsning l/s
Bredde m	Vanndyp ved innløpet m	Helning o/oo	Diameter mm	Helning o/oo	Vanndyp 2) m		
0,45	0,41	250	400	21	0,395	380	150
0,52	0,51	250	500	16	0,475	590	280
0,60	0,59	250	600	13	0,560	850	440

1) Åpning innstøpt i loddrett frontmur, H/D = 1,2.

2) Ruhet 0,25 mm.

Plasstøpt eller prefabrikeret ?

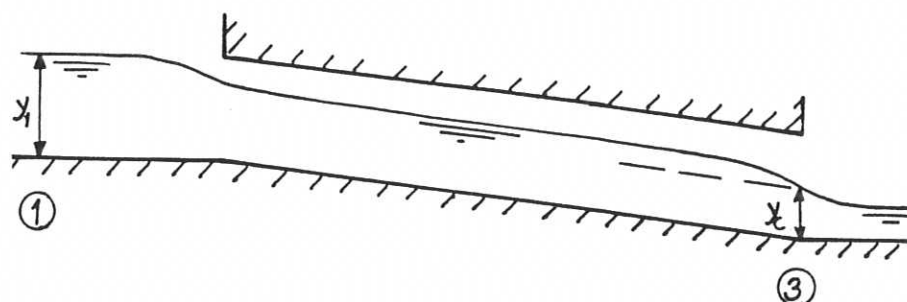
Et bratt innløp må enten støpes på stedet eller prefabrikeres. Spørsmålene er da:

- Hvor mye koster et slikt innløp i produksjon?
- Hvor lang må kulverten være for å oppnå en total besparelse?
- Er det noe marked for prefabrikasjon av slike innløp?

Beregning eller modellforsøk ?

For å kunne beregne den nøyaktige kapasiteten til et bratt innløp må innløpsseksjonen være forholdsvis lang. Innløpsseksjonen blir da forholdsvis kostbar, og en ønsker å redusere lengden så mye som mulig. Reduseres lengden for mye, vil kapasiteten falle sterkt. I slike tilfeller kan den optimale utformingen av innløpsseksjonen fastlegges gjennom modellforsøk.

4.5. Kapasitetsberegning for kulverter med utløpskontroll

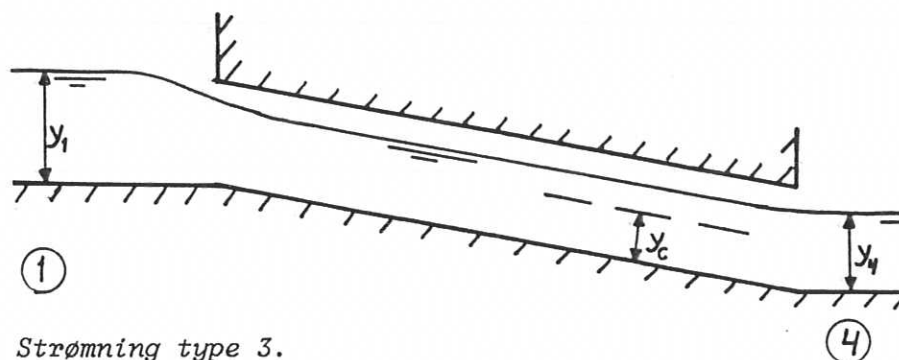


Figur 4.10.

Strømning type 2.

Strømning type 2

Strømningen er underkritisk gjennom kulverten. Strømningen går "gjennom kritisk" ved utløpet. For å finne vanddybden y_1 i tilløpet må vannlinjen beregnes fra utløpet (snitt 3) tilbake til tilløpskanalen (snitt 1). Beregningene må skje stegvis, og bruk av edb anbefales derfor.



Figur 4.11.

Strømning type 3.

Strømning type 3

Strømningen er underkritisk gjennom hele kulverten. For å finne vanddybden y_1 i tilløpet må vannlinjen beregnes fra avløpet (snitt 4) tilbake til tilløpskanalen (snitt 1). Beregningene må skje stegvis, og bruk av edb anbefales derfor.

Innløpets betydning
for kapasiteten

Når kulverten har utløpskontroll, vil en forbedring av innløpet kun gi en mindre kapasitetsøkning. Skal en få en økning som virkelig monner, er det nødvendig å øke diameter eller bunnhelning.

4.6. Kulvert lagt i svinger

I en kanal med friskeilstrømning vil en kurve i horisontalplanet påvirke strømningsmønsteret.

Er strømmingen underkritisk (ved utløpskontroll), vil sentrifugalkraften i kurven forårsake at vannspeilet vipper om senterlinjen i kanalen. Denne vippingen skaper ingen problemer.

Ved overkritisk strømning skapes bølger nedstrøms en sving

Er strømmingen derimot overkritisk (ved innløpskontroll), skapes det stående bølger i kanalen nedstrøms svingen. Er retningsendringen mer enn $20 - 30^\circ$ kan bølgehøyden bli forholdsvis stor. Det er ikke uvanlig at bølgen lukker hele tverrsnittet. Dersom kulverten har bare én sving, trenger ikke dette å bety så mye.

Har kulverten flere svinger, kan bølgene innelukke store luftlommer, og dermed skape pulserende strømning i kulverten. For slike kulverter bør svingene utformes slik at en har friskeilstrømning også i kurvene. Dersom retningsendringen fordeles på flere knekker, reduseres bølgehøyden. Bølger som skapes ved retningsendringer i kulverter med overkritisk strømning, er nærmere beskrevet i /5/.

Modellforsøk

Har kulverten en komplisert trasé, vil det ikke være mulig å beregne strømningsforholdene. For slike kulverter anbefales modellforsøk. Eksempel på utforming av en slik kulvert ved hjelp av modellforsøk er vist i vedlegg.

4.7. Beregning av reservekapasitet ved fylte kulverter med innløpskontroll

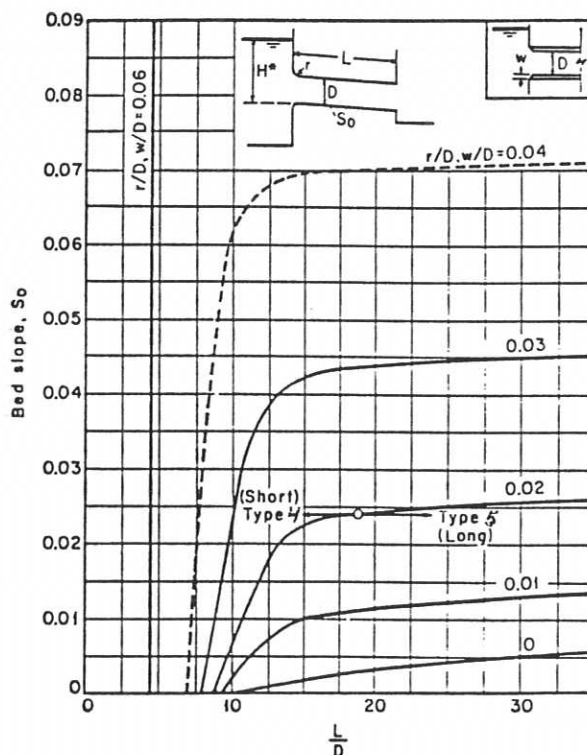
For å hindre opphoping av flytende gjenstander i til-løpet skal kulverter ha friskepeilsstrømning ved dimen-sjonerende flom. Dette innebærer at en kan ha en viss reservekapasitet som kan utnyttes hvis vannføringen overgår dimensjonerende flom. Reservekapasiteten bør beregnes for å kunne vurdere konsekvensene i slike tilfeller, jfr avsnitt 2.4

Hydraulisk
"lange" og "korte"
kulverter

Om strømmingen blir av typen 4 eller 5, avgjøres av:

- Lengden på kulverten
- Kulvertens helning
- Kulvertens diameter
- Friksjonsfaktoren
- Innløpets form

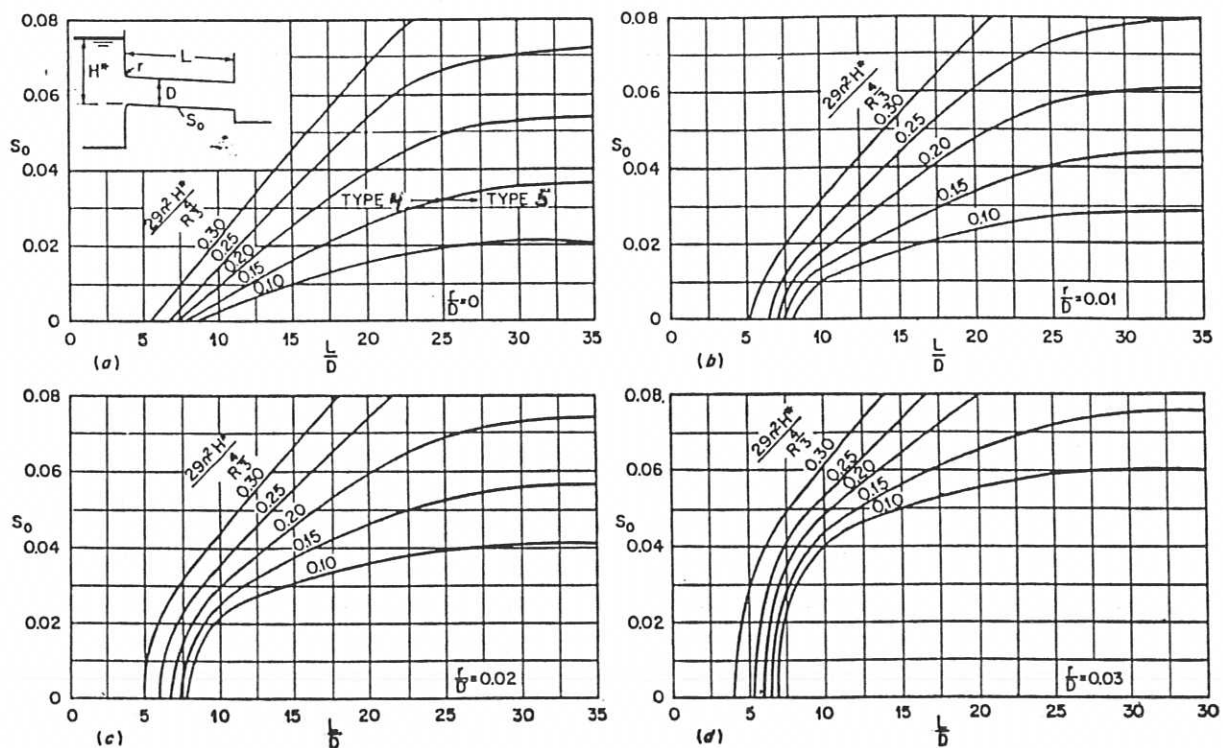
Går kulverten full (type 5), kalles kulverten "hydraulisk lang". Fylles kulverten bare delvis (type 4), kalles den "hydraulisk kort". Figur 4.12 og 4.13 viser betingelsene for de to strømmingstypene for to typer kulverter.



Figur 4.12.

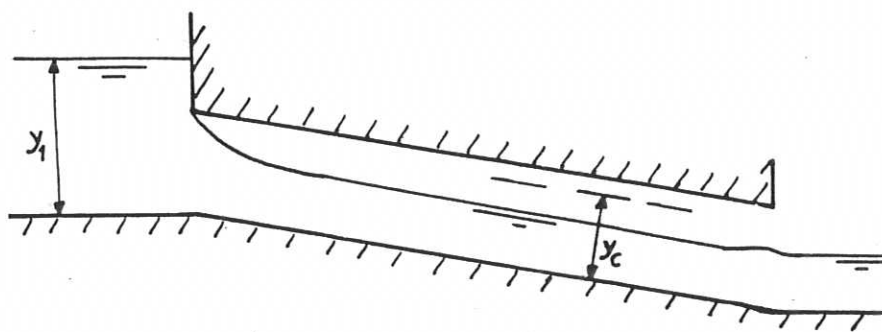
Betingelser for om en kulvert av betong får strømning av type 4 eller 5 /1/.

r/D refererer til en sirkulær kulvert,
 w/D refererer til en kvadratisk kulvert,
 S_o er bunnhelningen (m/m)



Figur 4.13.

Betingelser for om en sirkulær kulvert av korrugerte stålrør får strømning av type 4 eller 5 /1/.
 $n = 1/M$ (Mannings friksjonsfaktor)
 $R =$ hydraulisk radius ($=D/4$ for fylt rør)



Figur 4.14.

Strømning type 4.

Strømning type 4

Innløpet til kulverten fungerer som et dykket utløpet fra et basseng. Innløpet dykkes når vannstanden i tilløpet (snitt 1) tilsvarer $Y_1/D > 1,2$.

Vannføringen er da gitt ved:

$$Q = C_D \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{2gy_1} \quad (24)$$

hvor $C_D =$ vannføringskoeffisient
 (se tabellene 4.6 og 4.7)

Tabell 4.6.

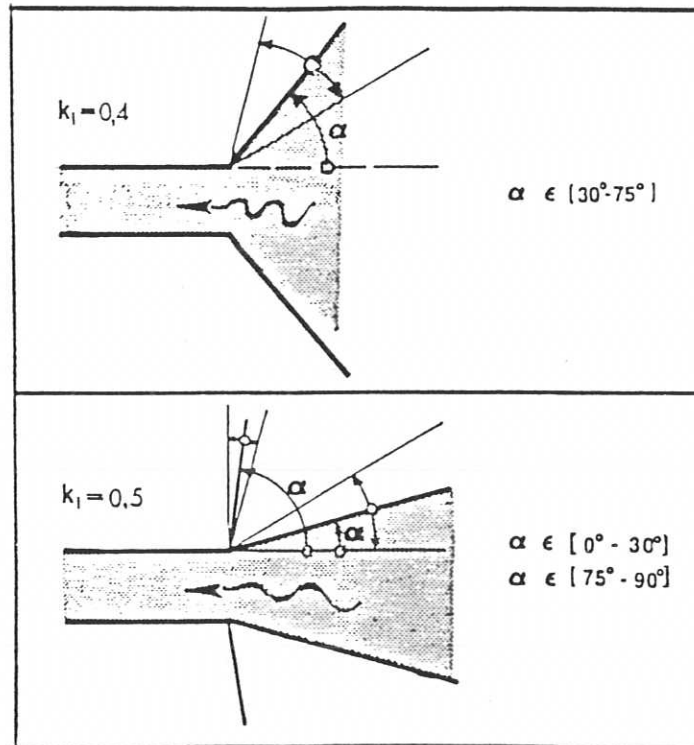
Vannføringskoeffisienten C_d for en sirkulær kulvert eller firkantet kulvert med loddrett frontmur som funksjon av innløpsform.
 r/D og W/D er definert i figurene 4.12 og 4.13 /3/.

y_1/D	$r/b, w/b, r/D, \text{ or } w/D$						
	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.14
1.4	0.44	0.46	0.49	0.50	0.50	0.51	0.51
1.5	0.46	0.49	0.52	0.53	0.53	0.54	0.54
1.6	0.47	0.51	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56
1.7	0.48	0.52	0.55	0.57	0.57	0.57	0.57
1.8	0.49	0.54	0.57	0.58	0.58	0.58	0.58
1.9	0.50	0.55	0.58	0.59	0.60	0.60	0.60
2.0	0.51	0.56	0.59	0.60	0.61	0.61	0.62
2.5	0.54	0.59	0.62	0.64	0.64	0.65	0.66
3.0	0.55	0.61	0.64	0.66	0.67	0.69	0.70
3.5	0.57	0.62	0.65	0.67	0.69	0.70	0.71
4.0	0.58	0.63	0.66	0.68	0.70	0.71	0.72
5.0	0.59	0.64	0.67	0.69	0.71	0.72	0.73

Tabell 4.7.

Vannføringskoeffisienten C_D for en firkantet kulvert med vingemurer i innløpet. θ er vinkelen mellom vingemuren og kulvertens senterlinje /2/.

y_1/D	Vingemurvinkel				
	30°	45°	60°	75°	90°
1.3	0.44	0.44	0.43	0.42	0.39
1.4	0.46	0.46	0.45	0.43	0.41
1.5	0.47	0.47	0.46	0.45	0.42
1.6	0.49	0.49	0.48	0.46	0.43
1.7	0.50	0.50	0.48	0.47	0.44
1.8	0.51	0.51	0.50	0.48	0.45
1.9	0.52	0.52	0.51	0.49	0.46
2.0	0.53	0.53	0.52	0.49	0.46
2.5	0.56	0.56	0.54	0.52	0.49
3.0	0.58	0.58	0.56	0.54	0.50
3.5	0.60	0.60	0.58	0.55	0.52
4.0	0.61	0.61	0.59	0.56	0.53
5.0	0.62	0.62	0.60	0.58	0.54

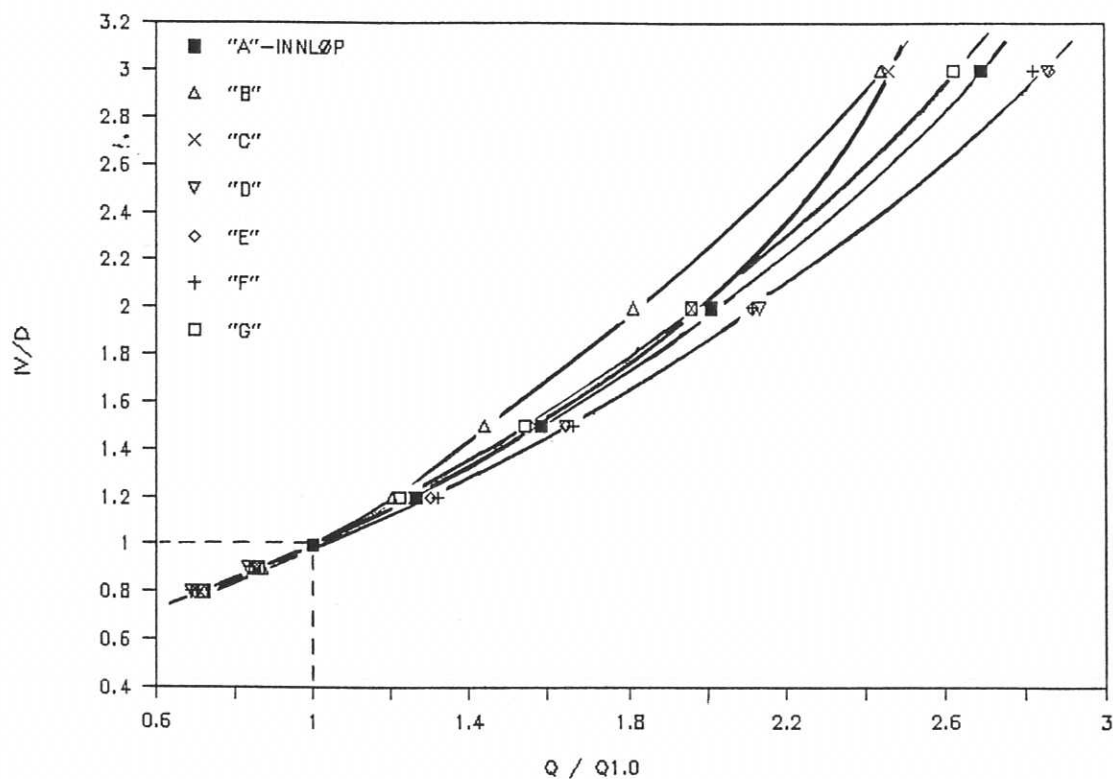


Figur 4.15.

Firkantkulvert med vingemur.

Innløpets betydning
for kapasiteten

Når en kulvert har innløpskontroll, (strømningstype 1 og 4) kan forbedring av et dårlig innløp gi en vesentlig kapasitetsøkning. Figur 4.16 viser reservekapasitet ved ulike grad av dykking og ulike innløpsutforminger.



Figur 4.16.

Reservekapasitet for kulverter med innløpskontroll i forhold til kapasitet ved $Y_1/D = 1,0$, ved ulike innløpsgeometrier og innløpsvannstand.

Tabell 4.8 viser hvor stor økningen for tradisjonelle innløp kan bli. Eksemplet viser at kapasiteten for en kulvert med dykket innløp økes med nesten 40% når en går fra det dårligste til det beste innløpet. Et godt utformet innløp gir m a o enda større innvirkning på reservekapasiteten enn på den "ordinære" kapasiteten.

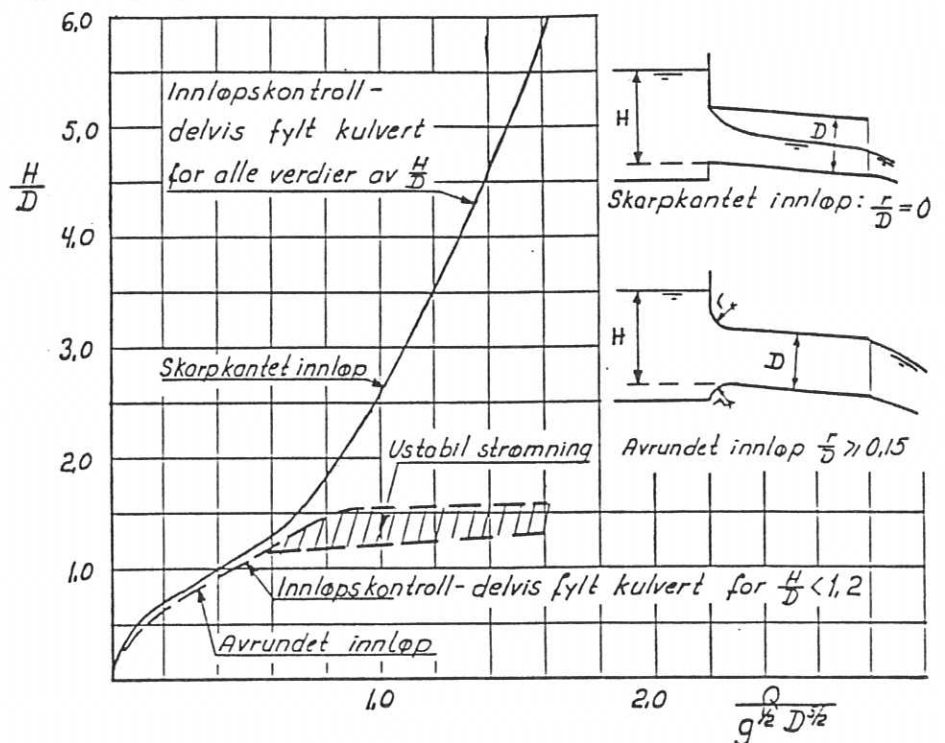
Korte rør
med stor
helning

I korte rør med stor helning kan kapasitetsøkningen bli enda større når vannstanden ved innløpet er større enn 1,2 - 1,5 ganger rørdiameteren. Figur 4.17 viser et eksempel. Grunnen til den store kapasitetsøkningen er at ved avrundet innløp utnyttes hele tverrsnittet mot bare 50 - 60% ved skarpkantet innløp.

Tabell 4.8.

Eksempel på reservekapasitet (m^3/s) for en kulvert med innløpskontroll. Diameter: 1000 mm.

Innløpsform	Kapasitet (m^3/s)	
	Dimen- sjonerende ved vandyp 1,0 m	"Reserve" ved vandyp 2,0 m
"A." I plan med en loddrett frontmur. Røraksen vinkelrett på frontmuren	1,25	2,6
"B." Innløpet er formet etter helningen på terrengskråningen	1,25	2,2
"C." Utstikkende rørende	1,13	2,2
"D." Rettavkortet kjegle med helning 1:1,5	1,39	3,0

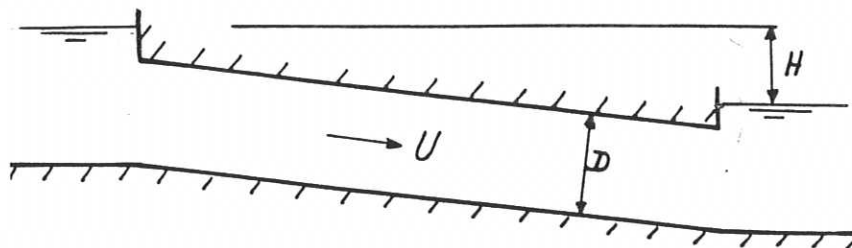


Figur 4.17.

Kapasitet for en sirkulær kulvert med skarpkantet og avrundet innløp [3], omarbeidet.

Kapasitetsøkningen blir størst når innløpet rundes av på alle kanter. Nomogram 1 viser at skrå vingemurer bare på siden av en firkantet kulvert bare gir en liten forbedring i forhold til en frontmur vinkelrett på kulverten.

4.8. Beregning av fylte kulverter med utløpskontroll



Figur 4.18.

Strømning type 6.

Strømning type 6

Bernoullis ligning gir:

$$H = (k_i + f \frac{L}{D} + 1) \frac{U^2}{2g} \quad (1)$$

dvs: vannhastigheten U:

$$f = \frac{1}{M^2}$$

$$U = \sqrt{\frac{2gH}{k_i + f \frac{L}{D} + 1}} \quad (2)$$

og vannføringen:

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 U \quad (3)$$

Innløpskoeffisienten er gitt i tabell 4.11.

Mannings friksjonsfaktor er gitt i tabell 4.9 og 4.10. Verdiene i tabell 4.10 er anbefalte bruksverdier, dvs friksjonsfaktor etter en tids bruk. Nye betongrør kan være glattere.

Tabell 4.9.

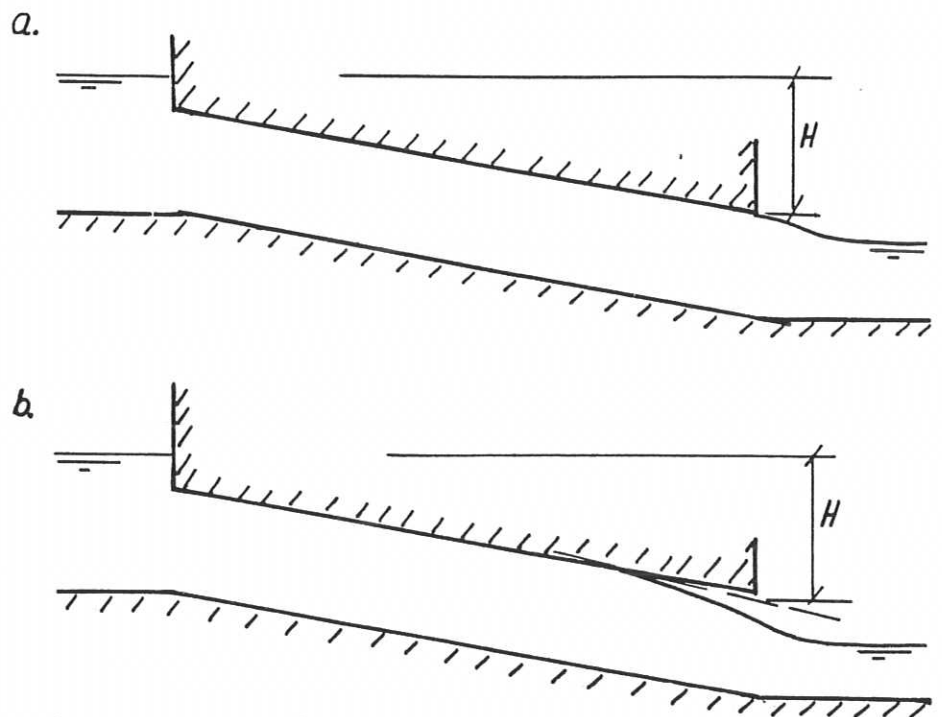
Mannings tall M for korrugerte stålrør /2/.

Rørdiameter	Mannings M
300 mm	37
600 mm	40
0,9 - 1,2 m	42
1,5 - 2,1 m	44
2,4 m	46

Tabell 4.10.

Friksjonsforhold i betongrør, bruksverdier.

Betongflatens tilstand	Mannings M	Ruhet k
Fabrikkproduserte rør (rør støpt stående)	70 - 80	1 - 2 mm
Vanlig plass-støpt betong	65 - 75	1,5 - 3,5 mm



Figur 4.19.

Strømning type 5.

Strømning type 5

Dersom strømmingen fyller røret helt (type 5a), er høydeforskjellen H entydig definert som forskjellen mellom oppstrøms vannstand og topp rør nedstrøms. Kapasiteten kan da beregnes på grunnlag av ligning 2 og 3.

Dersom vannstanden nedstrøms kulverten er så lav at strømmingen "slipper" taket i kulverten, vil kapasiteten øke noe. For nøyaktig beregning av kapasiteten, må vannlinjen beregnes fra utløpet av kulverten. Beregning for hånd er en tidkrevende prosess, og bruk av edb anbefales.

Tabell, 4.11.

Koeffisienter for innløpstep. Hentet fra "Compendium 3 - Small drainage structures" Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C., 1978.

Outlet Control, Full or Partly Full

$$\text{Entrance head loss } H_e = k_e \frac{v^2}{2g}$$



Type of Structure and Design of Entrance

k_i
Coefficient k_e

Pipe, Concrete

Projecting from fill, socket end (groove-end) . . .	0.2
Projecting from fill, sq. cut end	0.5
Headwall or headwall and wingwalls	
Socket end of pipe (groove-end)	0.2
Square-edge	0.5
Rounded (radius = 1/12D)	0.2
Mitered to conform to fill slope	0.7
*End-Section conforming to fill slope	0.5
Beveled edges, 33.7° or 45° bevels	0.2
Side-or slope-tapered inlet	0.2

Pipe, or Pipe-Arch. Corrugated Metal

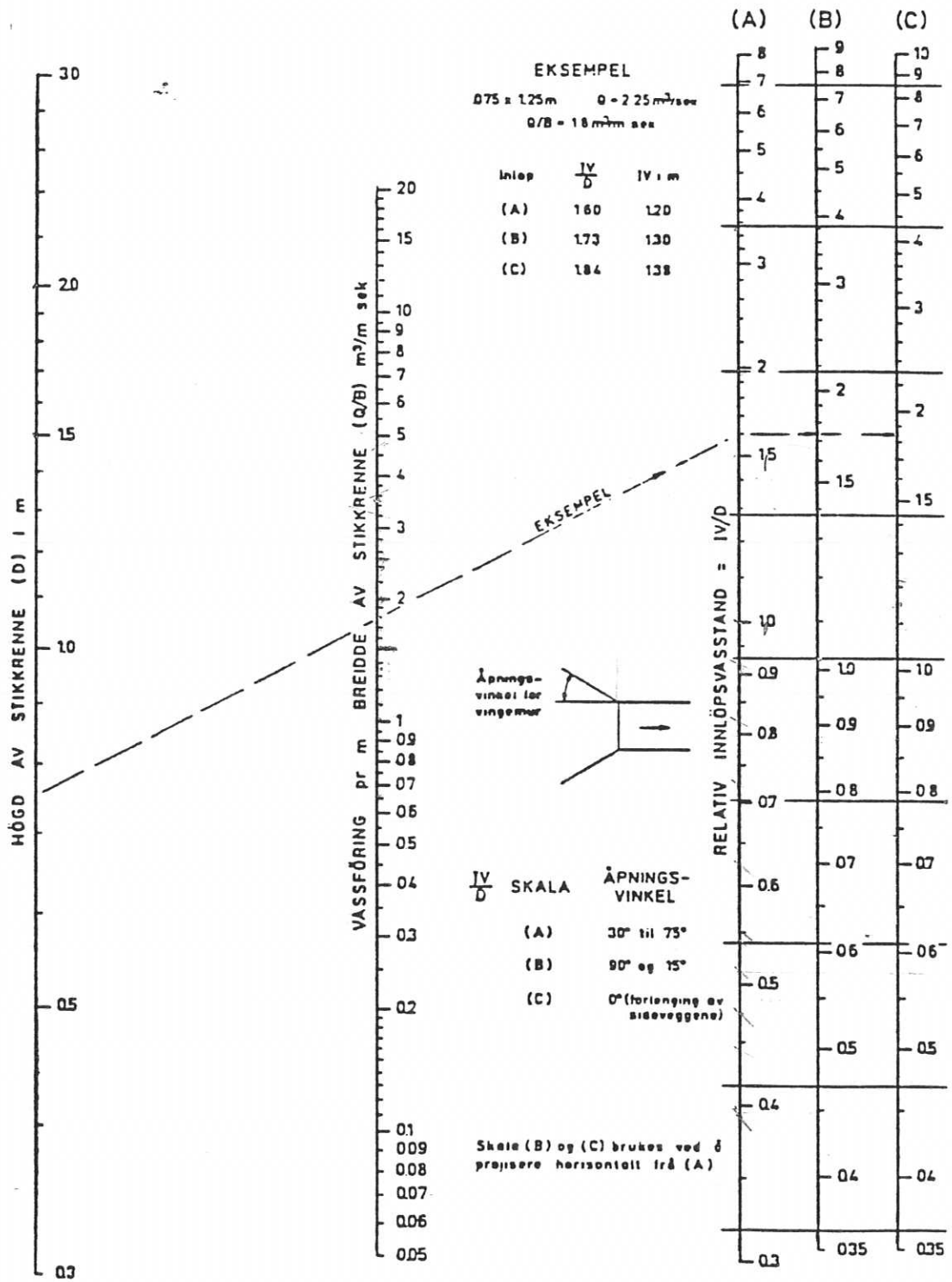
Projecting from fill (no headwall)	0.9
Headwall or headwall and wingwalls square-edge . .	0.5
Mitered to conform to fill slope, paved or unpaved slope	0.7
*End-Section conforming to fill slope	0.5
Beveled edges, 33.7° or 45° bevels	0.2
Side-or slope-tapered inlet	0.2

Box, Reinforced Concrete

Headwall parallel to embankment (no wingwalls)	
Square-edged on 3 edges	0.5
Rounded on 3 edges to radius of 1/12 barrel dimension, or beveled edges on 3 sides . . .	0.2
Wingwalls at 30° to 75° to barrel	
Square-edged at crown	0.4
Crown edge rounded to radius of 1/12 barrel dimension, or beveled top edge	0.2
Wingwall at 10° to 25° to barrel	
Square-edged at crown	0.5
Wingwalls parallel (extension of sides)	
Square-edged at crown	0.7
Side-or slope-tapered inlet	0.2

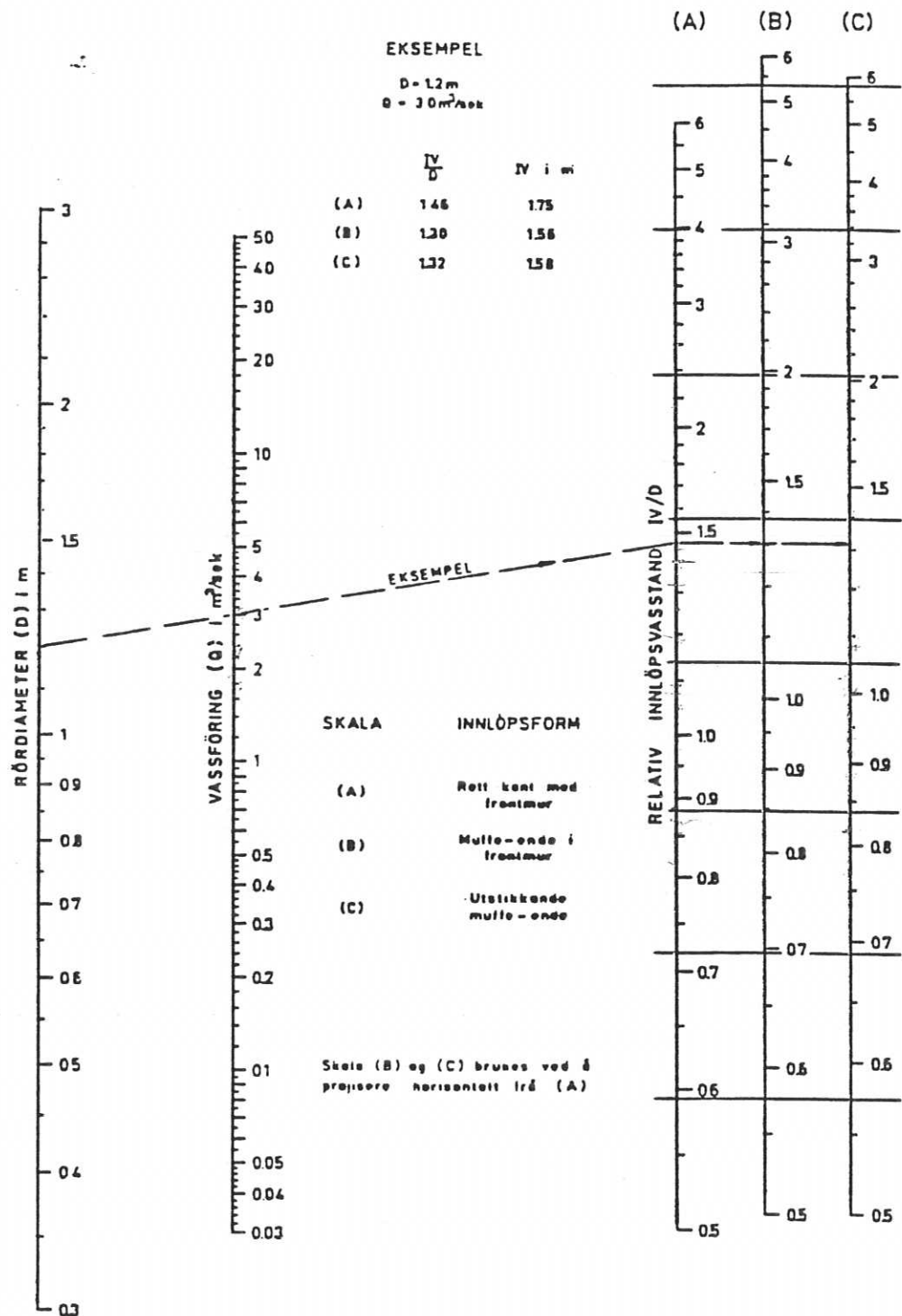
*Note: "End Section conforming to fill slope," made of either metal or concrete, are the sections commonly available from manufacturers. From limited hydraulic tests they are equivalent in operation to a headwall in both inlet and outlet control. Some end sections, incorporating a closed taper in their design have a superior hydraulic performance. These latter sections can be designed using the information given for the beveled inlet,

Nomogram 1



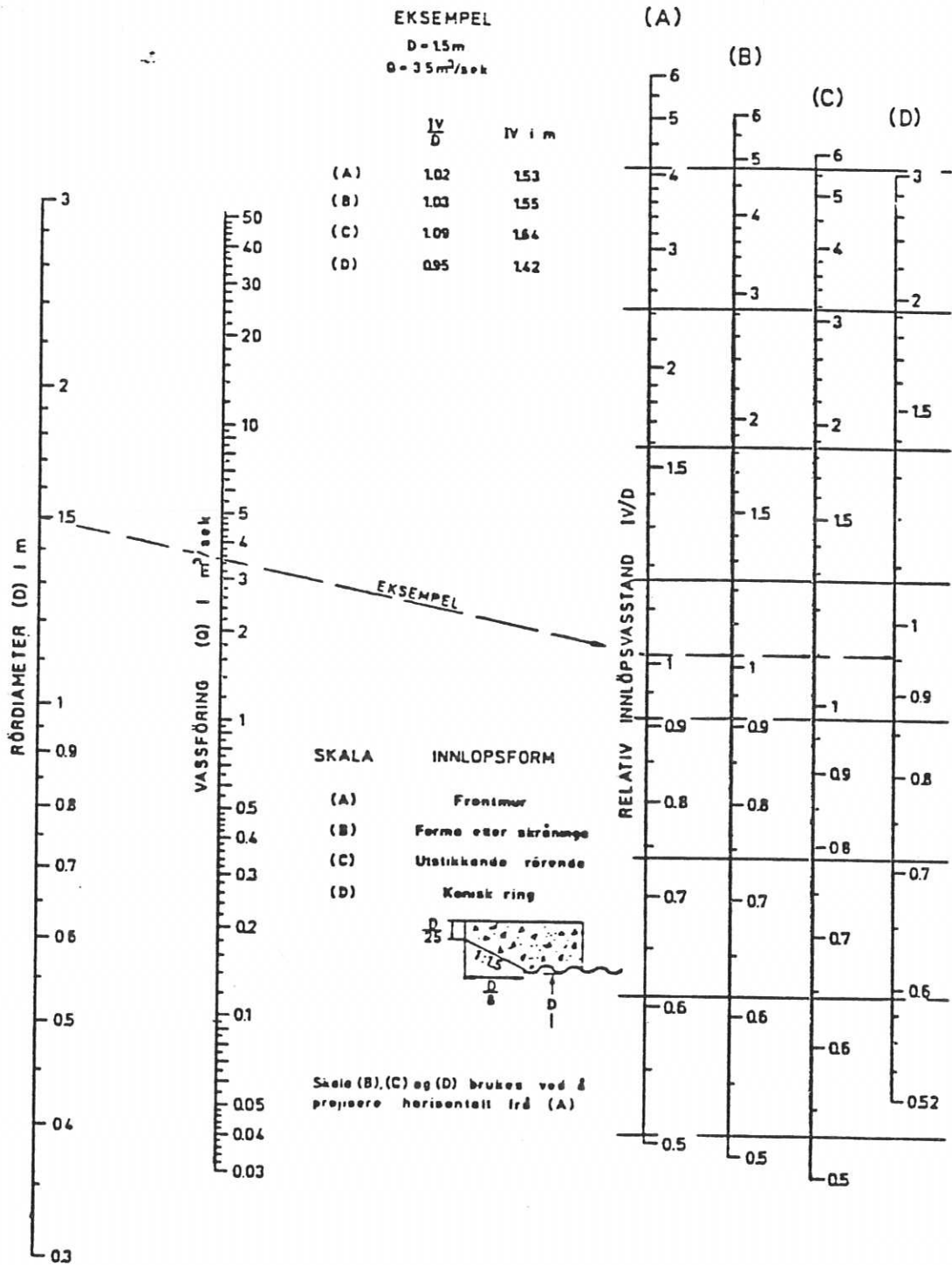
Nomogram for firkantstikkrenner av betong med innløpskontroll. (After U.S. Bureau of Public Roads)

Nomogram 2



Nomogram for rørstikkrenne av betong med innløpskontroll. (After U.S. Bureau of Public Roads)

Nomogram 3



Nomogram for rørstikkrenne av korrugert stål med innløpskontroll. (After U.S. Bureau of Public Roads)

5. RISTER OG ANNEN SIKRING AV INNTAK

For å hindre at barn skal bli ført inn i lengre kulverter, er det nødvendig å sikre inntaket med en rist (varegrind). Inntaksristen skal også hindre at større gjenstander som planker, greiner og busker blir ført inn i kulverten og forårsake tilstopping.

Under flom fører bekker og elver med seg flytende gjenstander som kvist, greiner og plastposer. Mange her i landet ser på en bekk som en gratis søppelplass, og golvtepper, madrasser og lignende etterlatenskaper fra denne banden blir med vannet nedover. Om vinteren og våren vil flommen også dra med seg større og mindre isflak.

Dersom disse gjenstandene setter seg i innløpet eller inne i kulverten, kan kulvertens kapasitet reduseres vesentlig. Følgen kan bli oversvømmelse ved langt lavere tilrenning enn forutsatt.

Krav til en kulvert

Ved dimensjonering av kulverter hvor en oversvømmelse medfører betydelig skade, må derfor følgende krav tilfredstilles:

Fangrist

1. Gjenstander som er så store at de kan sette seg fast inne i kulverten, skal stanses i en fangrist et stykke oppstrøms innløpet. Denne utføres enklest av profilstål eller trykkimpregnerte stolper som rammes ned i elvebunnen.
2. Gjenstander som er så små at de ikke vil sette seg fast inne i kulverten, skal føres gjennom kulverten.

En inntaksrist må kunne renskes under flom

3. Under flom vil en eventuell inntaksrist tettes gradvis, og kapasiteten går ned. Under større flommer må en forutsette at inntaksristen må renskes manuelt flere ganger før flommen er over. For at mannskapene skal slippe å stå kontinuerlig over inntaksrista, bør en fullt åpen inntaksrist ha f eks en kapasitet på 2 ganger dimensjonerende vannføring for kulverten.

Frispeilstrømning

For å hindre opphoping av flytende gjenstander ved innløpet må:

- Kulverten ha frispeilstrømning ved innløpet.
- Lysåpningen i en eventuell inntaksrist må være så stor at mindre gjenstander slipper gjennom. Lysåpningene mellom stavene bør være minimum 100 mm.

Inntak skal alltid sikres når:

- Utløpet eller den lukkede strekningen noe sted er dykket.
- Kulverten er lengre enn 50 m.
- Det er spesielt (farlige) forhold i eller nedstrøms den lukkede delen.

Aktuell bruk av rister og varegrinder er vist i tabell 5.1. Tabellen må betraktes som veiledende. Vurderinger må gjøres i hvert enkelt tilfelle.

Tabell 5.1.

Veiledning i bruk av rister/varegrinder.

Type område	Kulvert lengde	Kulvert diameter	Rist/varegrind
Tettbygd	<10 m	alle	ingen
Tettbygd	10 - 30 m	≤500 mm	ingen
Tettbygd	10 - 30 m	>600 mm	ja
Tettbygd	30 - 50 m	≤400 mm	ingen
Tettbygd	30 - 50 m	>400 mm	ja
Tettbygd	≥50 m	<1500 mm	ja
Skog-, jordbruk	<20 m	alle	ingen
Skog-, jordbruk	20 - 50 m	≤500 mm	ingen
Skog-, jordbruk	20 - 50 m	>600 mm	ja
Skog-, jordbruk	>50 m	<1500 mm	ja
Alle typer	≥50 m	≥1500 mm	Fangrist + inngjerding

Vingemurer

Når det er nødvendig med inntaksrist, kommer vingemurene til sin rett. Vingemurene gjør det mulig å øke ristarealet betraktelig.

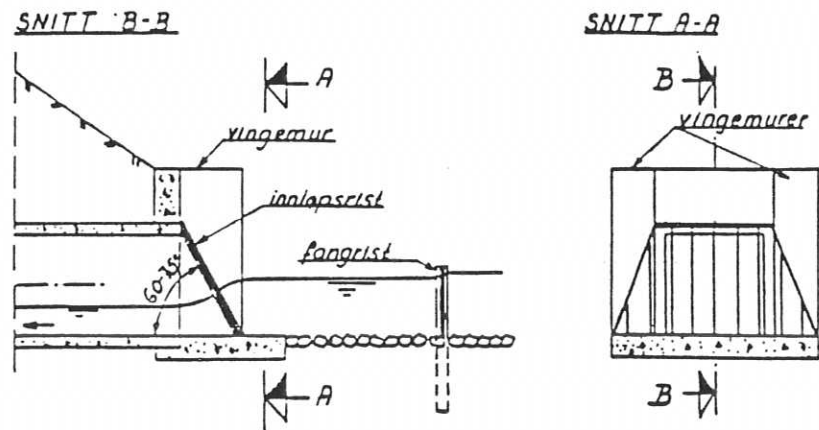
Løs rist

Gjentetting er hovedproblemet med inntaksristene. Gjentetting gir redusert kapasitet og økt fare for oversvømmelse. Rista bør derfor være "løs" og det bør være adkomst for å kunne trekke opp rista under flommen. Betongkanten rundt inntaket må ikke gjøres for lav. Eventuelt gjerde på betongkanten bør være lett å demontere.

Varegrindene består vanligvis av en stående rist, en liggende rist eller forskjellige kombinasjoner av disse.

5.1. Stående rister

Denne type varegrind er meget brukt, spesielt der det er liten eller ingen fallhøyde til disposisjon. Figur 5.1 og 5.2 viser to eksempler.



Figur 5.1.

Inntak med stående rist.

Driftserfaringer -
vurderinger

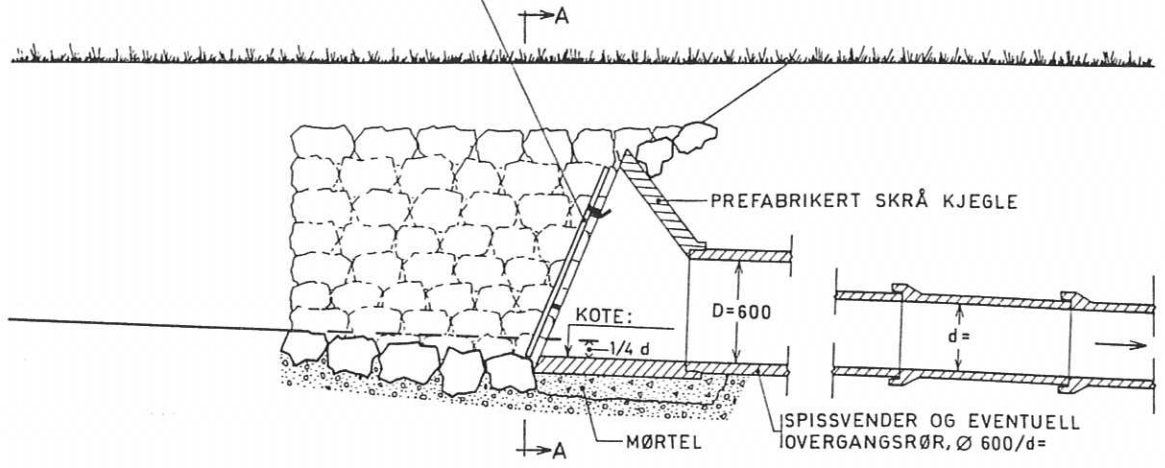
Fordeler (+) og ulemper (-) med stående rister:

- + Enkel og billig konstruksjon.
- + Realtivt lett å renske både ved tørrværsvannføring og flom.
- + Krever ingen ekstra høydeforskjell.
- Må dimensjoneres nøyaktig.
- Går lett tett (særlig nær bunnen).
- Forårsaker damdannelse og avleiringer foran ristene med det faremoment en slik dam betyr for mindre barn.
- Krever regelmessig tilsyn og hyppig opprensk, helst også oppstrøms inntak.
- I en flomsituasjon vil det stadig bygge seg på oppover risten og tette denne, med den følge at vannstanden oppstrøms stiger med fare for oversvømmelse.

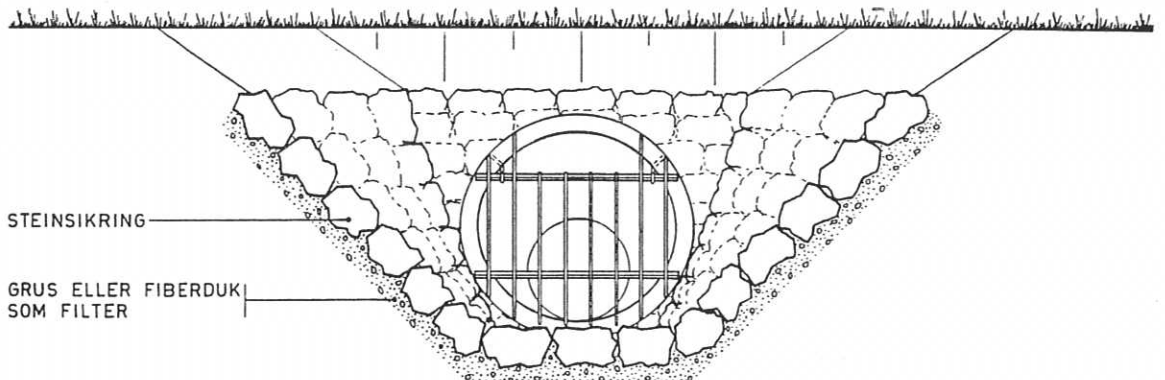
En åpen spalte under risten i hele inntakets bredde og en fangrist gjør forholdene noe bedre, men en stående rist bør brukes sammen med en liggende rist. Figur 5.2 viser en løsning med åpning over rista.

- VILKÅR FOR Å NYTTE DENNE INNTAKSLØSNING: 1. RØRDIMENSJON MINDRE ENN 600 mm.
2. VANNHASTIGHET I RØRLEDNINGEN MINDRE ENN 2 m/sek.
3. PREFABRIKERT KJEGLE SPESIALLAGET FOR OVERGANG TIL RØRLEDNING.

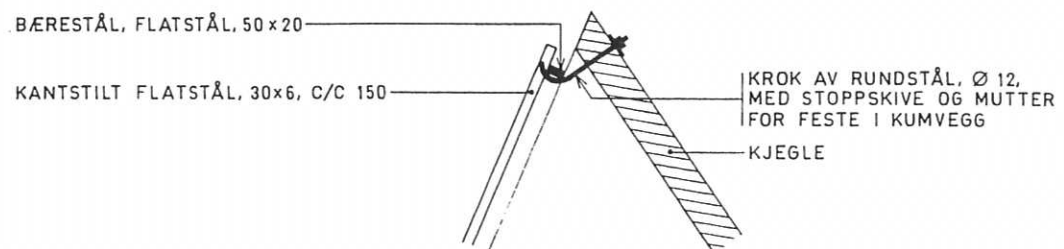
RIST AV KANTSJILT FLATSTÅL, C/C 150, PÅSVEISET TVERSGÅENDE BÆRESTÅL OG FESTET MED TO KROKER (SE DETALJ)



TVERRSNITT A-A



DETALJ: FESTE FOR RIST



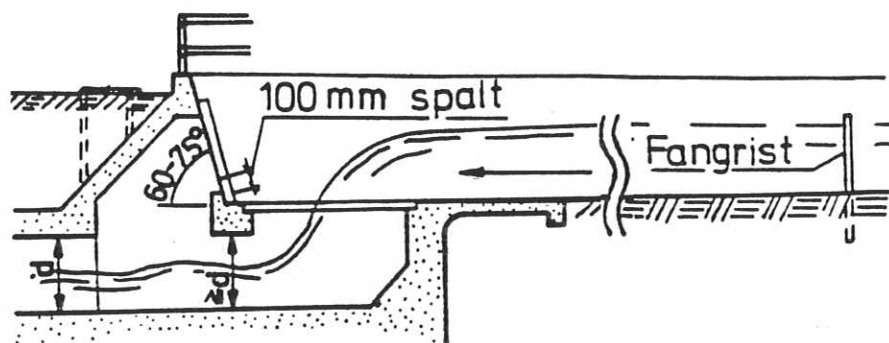
ALLE MÅL I mm

Figur 5.2.

Inntakskjegle med rist. Landbruksdepartementet type-tegning TL/I 3d revidert 1988.

5.2. Kombinasjon av liggende og stående rist

En kombinasjon av liggende og stående rist med spalt i nederste del av den stående risten og fangrist oppstrøms er vist i figur 5.3.



Figur 5.3.

Inntak med liggende og stående rist (fra /6/).

Driftserfaringer -
vurderinger

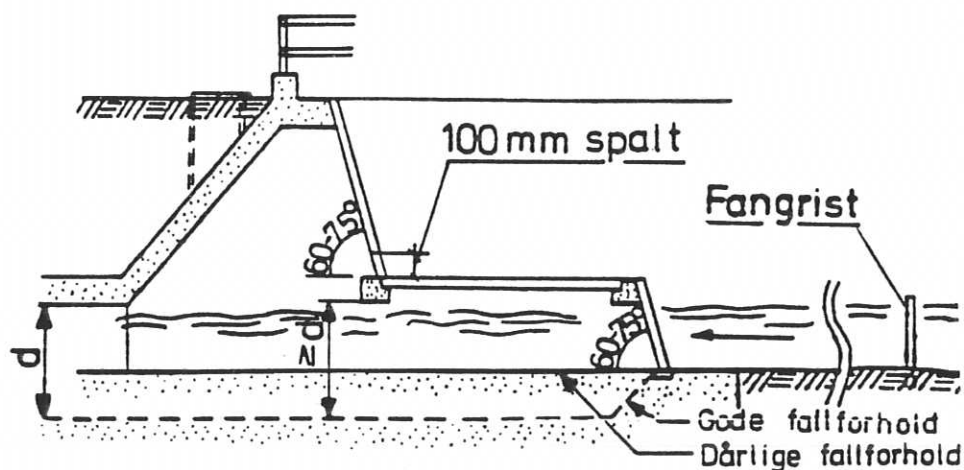
Fordeler (+) og ulemper (-) med liggende/stående rister:

- + Relativt lett å renske både ved tørrværs- og flomvannføringer.
- + Oppstuvning oppstrøms oppstår først når liggende rist er delvis eller helt gjentettet slik at den ikke lenger har tilstrekkelig kapasitet.
- Må dimensjoneres rikelig.
- Lite egnet ved små inntak.
- Steiner føres rett ut på den liggende risten og kan kile seg mellom stavene.

Dette er en god varegrindkonstruksjon for større inntak hvor man har fallhøyde til disposisjon. Den bør utføres med spalt etter liggende rist og fangrist oppstrøms.

5.3. Kombinasjon av lav stående rist og liggende/stående rist

Ved dårlige fallforhold vil en lav stående rist kunne gi tilstrekkelig høyde under opplager og dessuten fange opp søppel ved tørrværsvannføring og økende vannføring.



Figur 5.4.

Inntak med lav stående rist og liggende/stående rist (fra /6/).

Driftserfaringer -
vurderinger

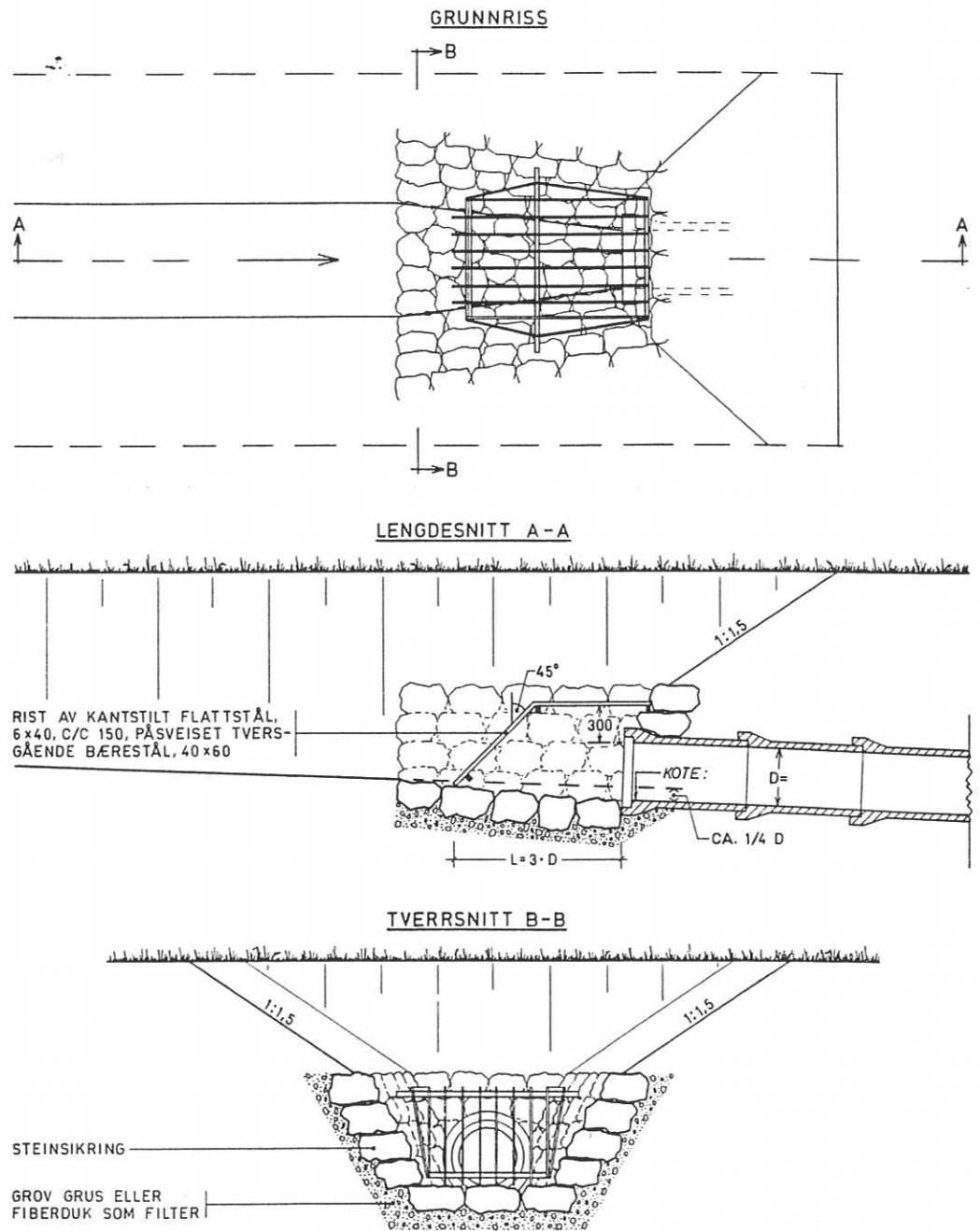
Fordeler (+) og ulemper (-):

- + Relativt lett å renske både ved tørrværs- og flomvannføringer.
- + Steiner føres ikke rett ut på liggende rist.
- + Krever ingen ekstra høydeforskjell.
- + Egner seg også godt ved små inntak.
- Forårsaker damdannelse og avleiringer foran lav stående rist.
- Det kreves regelmessig tilsyn og hyppig opprensk for å hindre dette.
- Gir oppstuvning oppstrøms til topp av lav stående rist.

Dette er en meget god varegrindkonstruksjon dersom man har liten fallhøyde til disposisjon og kan godta damdannelse. Varegrinden bør alltid utføres med spalt etter liggende rist og fangrist oppstrøms. Ved små inntak sløyfes ofte stående rist etter liggende rist som vist på figur 5.5. Den "liggende" risten kan også lages skrå som vist på figur 5.6. Dette gir også større personsikkerhet ved at personer som eventuelt faller i vannet under flom blir skjøvet oppover rista /30/.

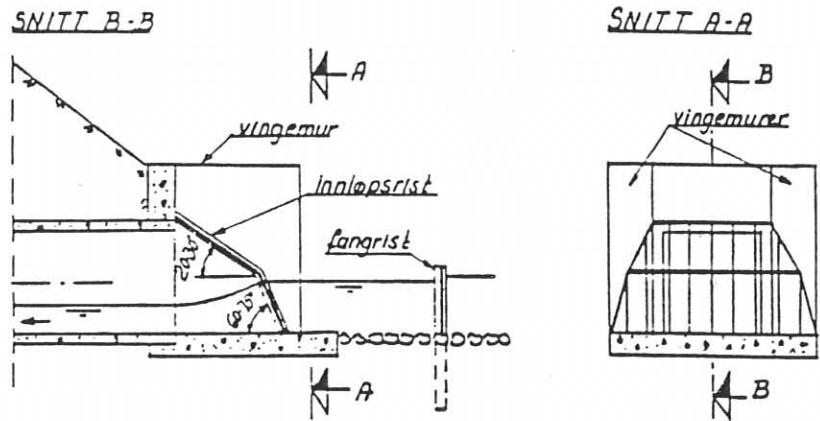
Personsikkerhet

GJELDER FOR RØRDIMENSJONER MINDRE ENN 600 mm OG MODERAT FALL ($V < 2 \text{ m/sek.}$).



Figur 5.5.

Murt inntak med rist. Landbruksdepartementet typetegning TL/I 1d 1983.



Figur 5.6.

Inntak med lav stående rist og "liggende" skrå rist.

5.4. Nødvendig ristareal

Følgende faktorer har innflytelse på valget av ristareal:

- konsekvenser ved oversvømmelse
- mengden av løst "rask" i bekkefare
- adkomstforhold for rensk av rist
- kostnad ved bygging av rist

Usikker beregning
av falltapet

Falltapet gjennom en rist fri for ristgods kan beregnes med stor nøyaktighet.

$$\Delta h = \Phi \left(\frac{t}{T}\right)^{4/3} \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \sin \alpha$$

hvor Φ = formkoeffisient (se tabell 5.2)

t = riststavens tykkelse

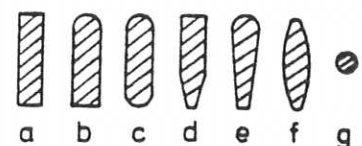
T = lysåpning mellom riststavene

α = ristens helningsvinkel med strømningsretningen

Tabell 5.2.

Formkoeffisienter.

Stavverrsnitt	Φ
a	2,42
b	1,83
c	1,67
d	1,03
e	0,92
f	0,76
g	1,79



Når risten er delvis tett blir beregningen mer usikker. Når bare en del av risten er tett, kan følgende formel benyttes med strekkelig nøyaktighet:

$$h_r = \frac{U_r^2}{2g} \quad (5)$$

hvor:

$$U_r = \frac{Q}{A_r}$$

Q = vannføring

A_r = åpent areal i risten ved dimensjonerende vannstand oppstrøms risten.

Eksempel

$$U_r = 3 \text{ m/s} \Rightarrow h_r = \frac{3^2}{2 \cdot 10} = 0,45 \approx \underline{0,5 \text{ m}}$$

Eksempelet viser at gjentetting av risten kan redusere kulvertens kapasitet betydelig. Når større deler av risten er tett, er det neppe mulig å beregne falltapet tilfredstillende nøyaktig.

5.5. Konstruksjonsregler for rister

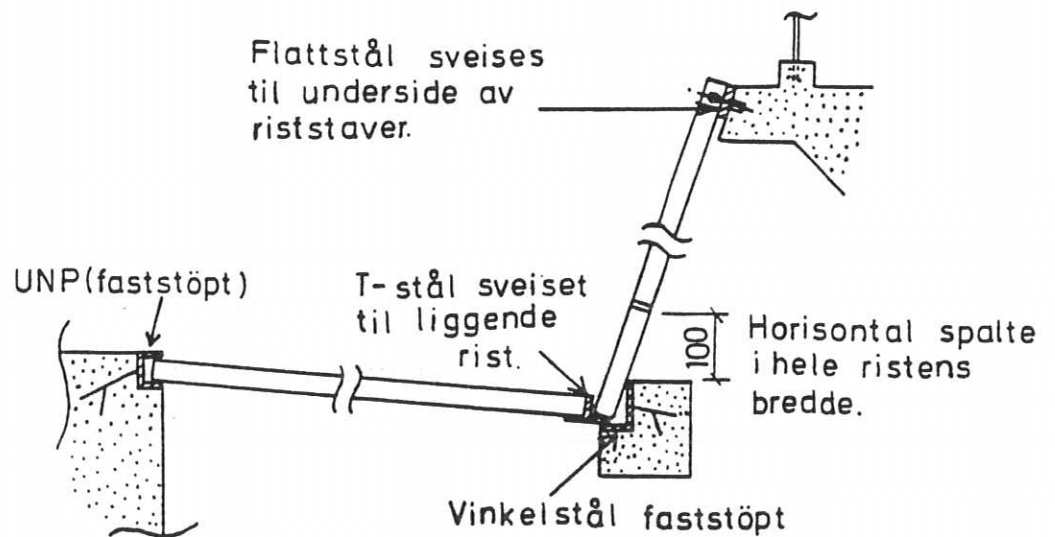
Utforming av rist

Inntaksrister bør konstrueres etter følgende regler:

- Fri lysåpning mellom riststavene (vanligvis flattstål) bør være minst 100 mm.
- Fri åpning på 100 - 200 mm mellom risten og bunnen i inntaket (for å redusere mengden oppsamlet materiale ved tørrvær).
- Tverravstivere vinkelrett på riststavene må ikke forekomme bortsett fra ved opplagrene og ved spalt.
- Fast stående rist bør utføres med 100 mm høy spalt nærmest liggende rist.
- Større rister bør seksjoneres for å lette håndteringen.
- Alt stål skal varmforsinkes etter sammensveising. Skruer og bolter skal også være varmforsinket.

Opplager

Opplager for rister utføres av profilstål (vinkel-, kanalstål etc) påsveiset innstøpningsklør og varmforsinket. Øvre opplager for stående rist skal utføres slik at rensing med rive gjøres så lett som mulig.



Figur 5.7.

Opplager og festing av rister (fra /6/).

Festing/låsing

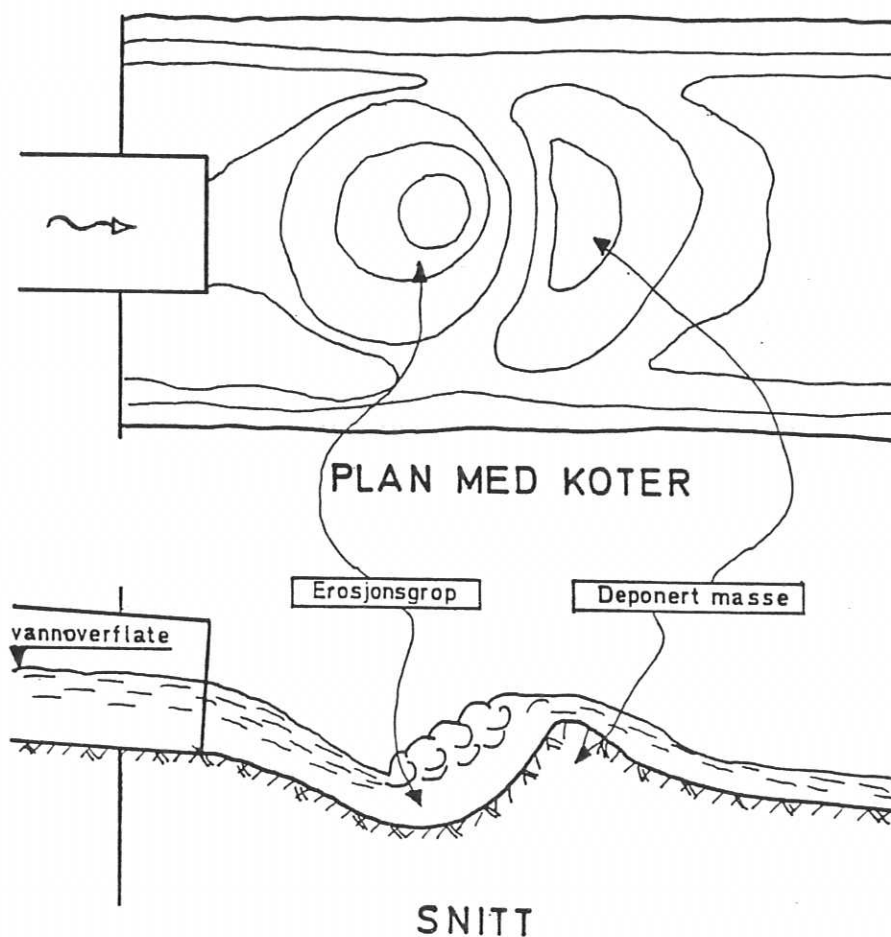
Festing og låsing av ristene bør gjøres så enkelt som mulig f eks ved at stående rist låser liggende rist.

6. EROSJONSSIKRING VED UTLØP AV KULVERT

Hastigheten i en kulvert er som regel vesentlig høyere enn den naturlige vannhastigheten i elva eller bekken. Er det løsmasser ved kulvertutløpet, vil en i de fleste tilfeller kunne få erosjon. Utløpet må derfor som regel erosjonssikres.

Vannstandssprang ved utløpet, erosjon

Hastighetene i kulverten er som regel overkritisk ($F_r > 1,0$), og vannstrømmen ved overgangen til det naturlige eller det kanaliserte løpet nedstrøms kulverten vil normalt resultere i et vannstandssprang (figur 6.1). I området nedstrøms kulverten og fram til vannstandsspranget, samt i området ved vannstandsspranget vil grunnen kunne være utsatt for utgraving av erosjonsømfintlige masser. Normalt vil dette området ligge nær vegskråningen og det vil derfor kunne oppstå skader.



Figur 6.1.

Erosjon ved kulvertutløp (fra /26/).

6.1. Utløpshastigheter og erosjonsfare

Når vannet strømmer gjennom kulverten, øker vannhastigheten. Ved fri utstrømning fra kulverten vil hastigheten være gitt av vannmengde, dimensjon, friksjon, helning og lengde av kulverten.

Tabell 6.1 og 6.2 og figur 6.2 viser vannhastighet ved utløpet av rørkulverter i plast og betong med forskjellige dimensjoner, lengder og fall ved dimensjonerende kapasitet.

Tabell 6.1.

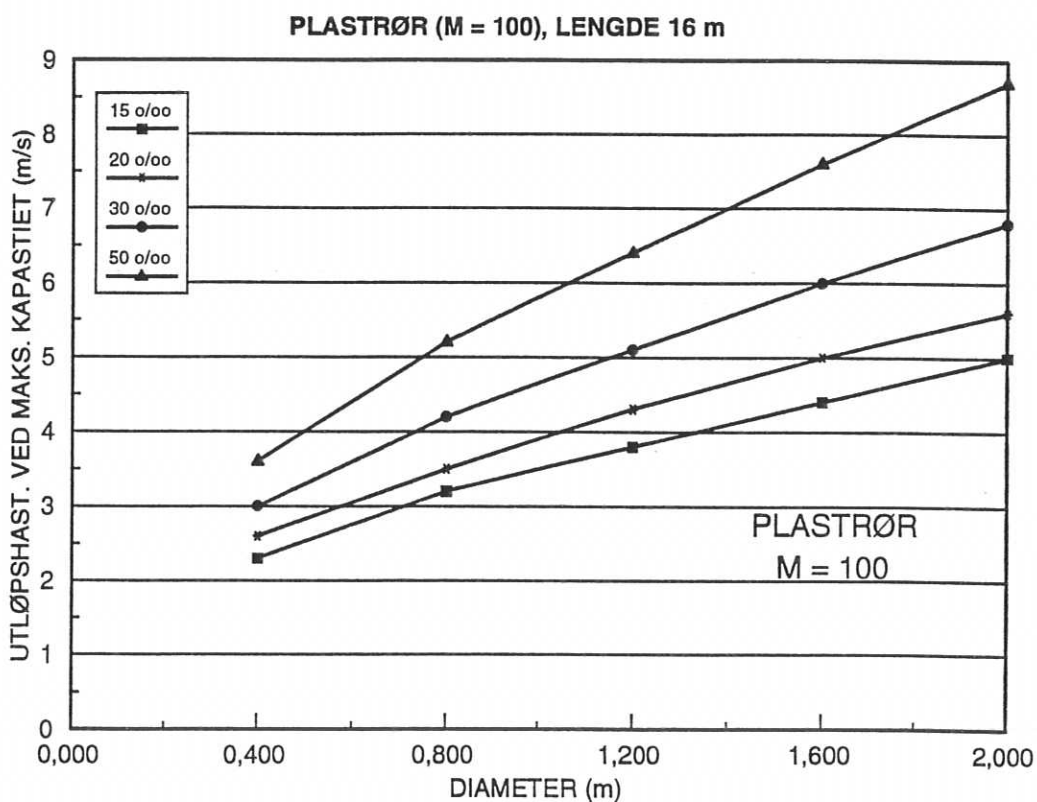
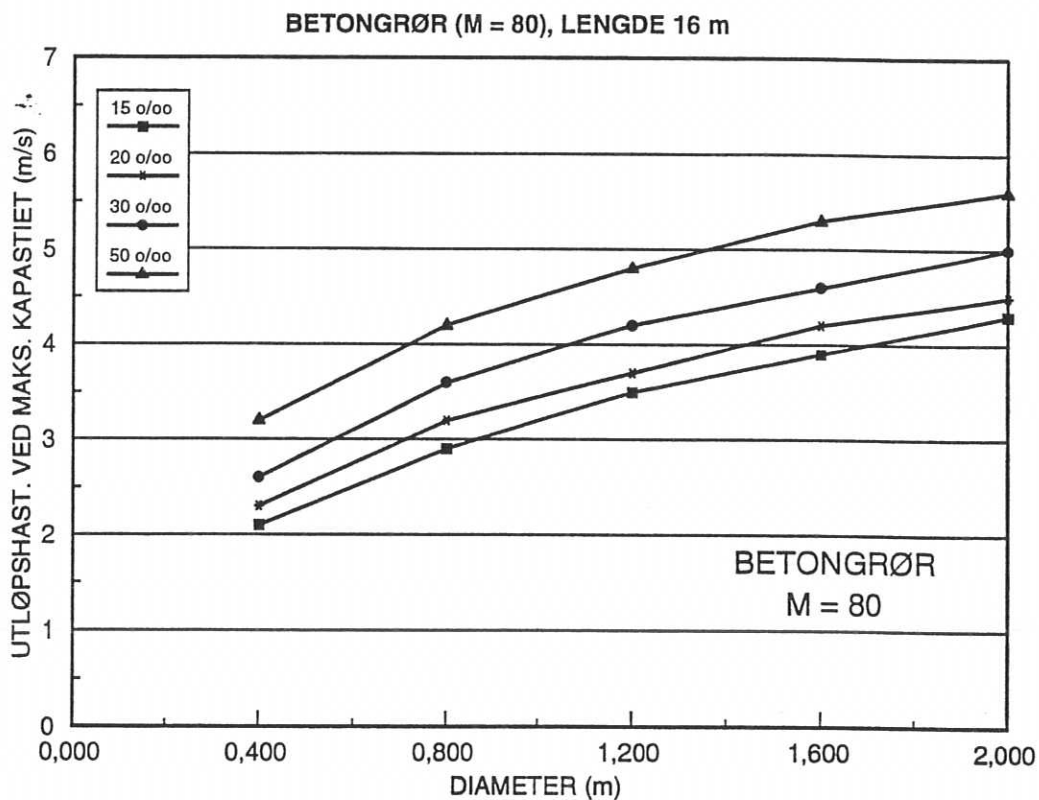
Vannhastighet (m/s) ved utløp av kulvert med innløpskontroll ved $Y_1/D = 1,0$. Betongrør ($M = 80$).

L m	D mm	HELNING o/oo					
		5	10	15	20	30	50
8	400	1,4	1,8	2,0	2,2	2,5	2,9
	800	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,7
	1200	2,7	3,0	3,2	3,4	3,7	4,2
	1600	3,1	3,4	3,6	3,8	4,1	4,6
	2000	3,5	3,8	4,0	4,2	4,5	4,9
24	400	1,4	1,8	2,1	2,3	2,7	3,2
	800	2,1	2,7	3,0	3,3	3,8	4,5
	1200	2,7	3,3	3,6	3,9	4,4	5,2
	1600	3,2	3,7	4,1	4,4	4,9	5,8
	2000	3,6	4,1	4,5	4,8	5,3	6,2

Tabell 6.2.

Vannhastighet (m/s) ved utløp av kulvert med innløpskontroll ved $Y_1/D = 1,0$. Plastrør ($M = 100$).

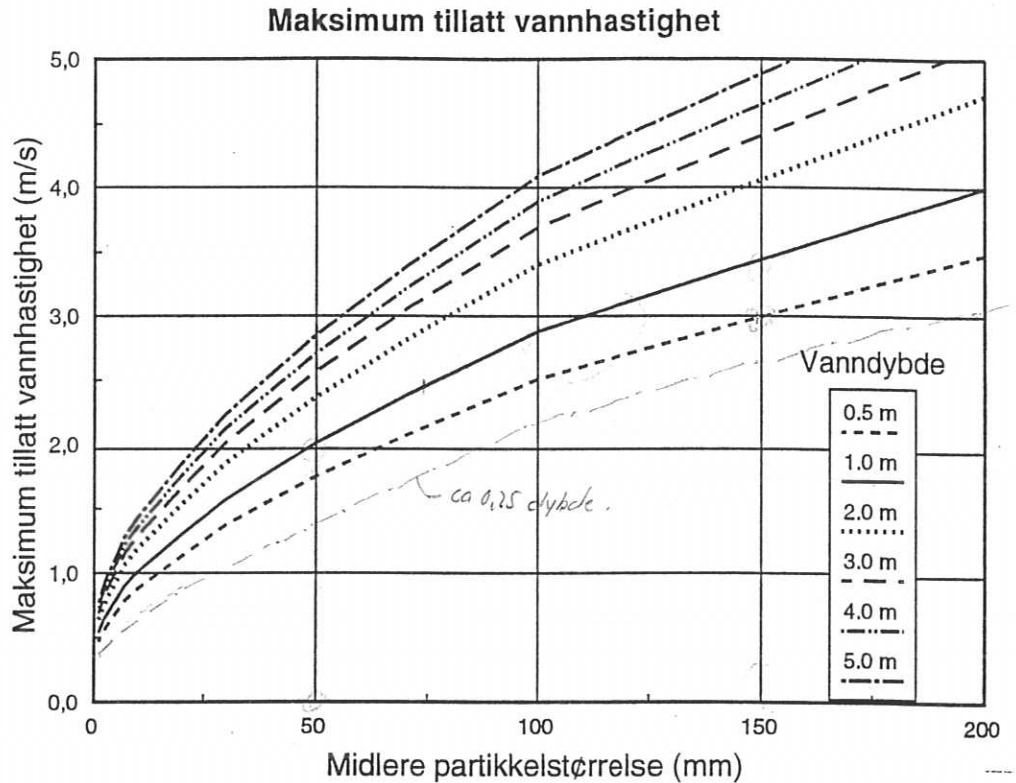
L m	D mm	HELNING o/oo					
		5	10	15	20	30	50
8	400	1,6	1,9	2,2	2,4	2,8	3,4
	800	2,3	2,6	2,9	3,3	3,9	4,9
	1200	2,8	3,1	3,6	4,0	4,9	6,2
	1600	3,2	3,5	4,2	4,8	5,8	7,4
	2000	3,6	3,9	4,8	5,5	6,6	8,5
24	400	1,6	2,1	2,4	2,7	3,1	3,7
	800	2,4	2,9	3,3	3,7	4,3	5,4
	1200	3,0	3,5	4,0	4,5	5,3	6,6
	1600	3,4	3,9	4,6	5,2	6,2	7,8
	2000	3,8	4,3	5,1	5,8	7,0	8,8



Figur 6.2.

Utløpshastigheter fra rørkulverter (L = 16 m) ved ulike helninger.

Figur 6.3 viser den maksimale vannhastigheten som kan tillates ved ulike partikkelstørrelser hvis erosjon skal unngås.



Figur 6.3.

Maksimum tillatt vannhastighet.

Tabell 6.1 og 6.2 viser at allerede ved kulverthelning på 15 o/oo er erosjonsfaren tilstede, og området nedstrøms kulverten må sikres når det er eroderbare løsmasser.

Området som må erosjonssikres, vil ofte bli relativt stort, og for større kulverter med høy vannhastighet vil det være riktig å anlegge spesielle strømnings-tekniske konstruksjoner (energidrepere) der vannstands-spranget og det erosjonsutsatte området stabiliseres innenfor et avgrenset område.

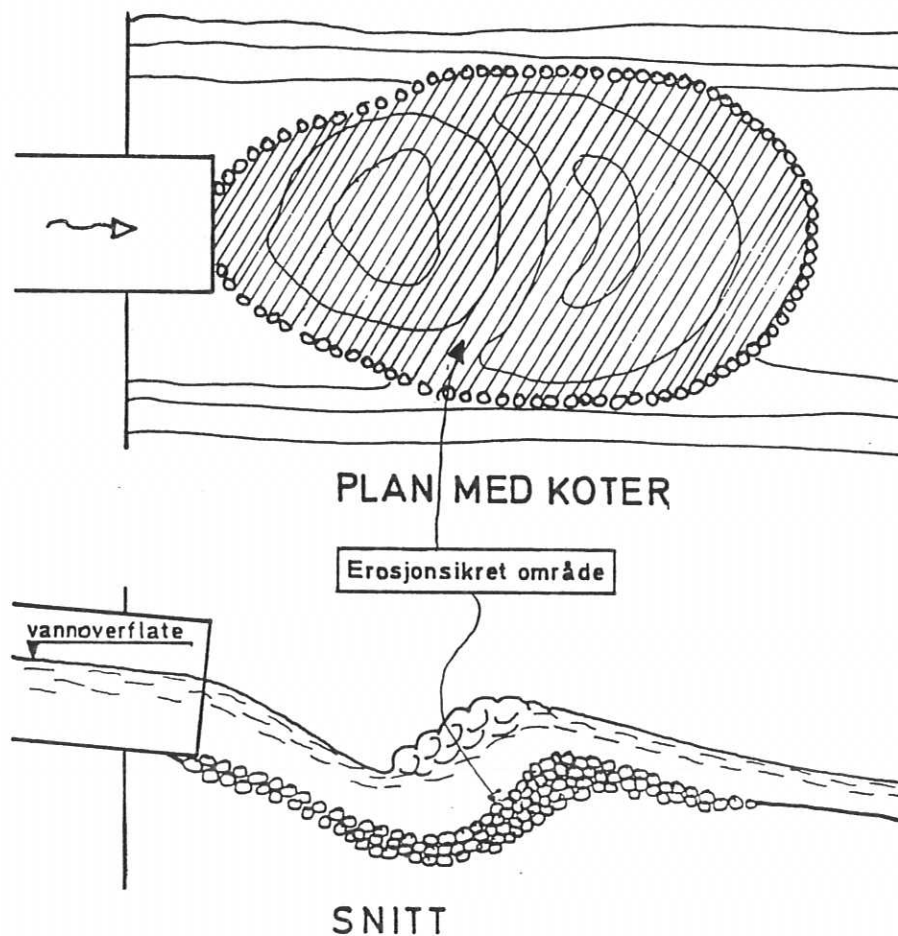
6.2. Erosjonssikring ved utløp

Aktuelle sikringstiltak er vist i tabell 6.3 og i figurene 6.4 - 6.7.

Tabell 6.3.

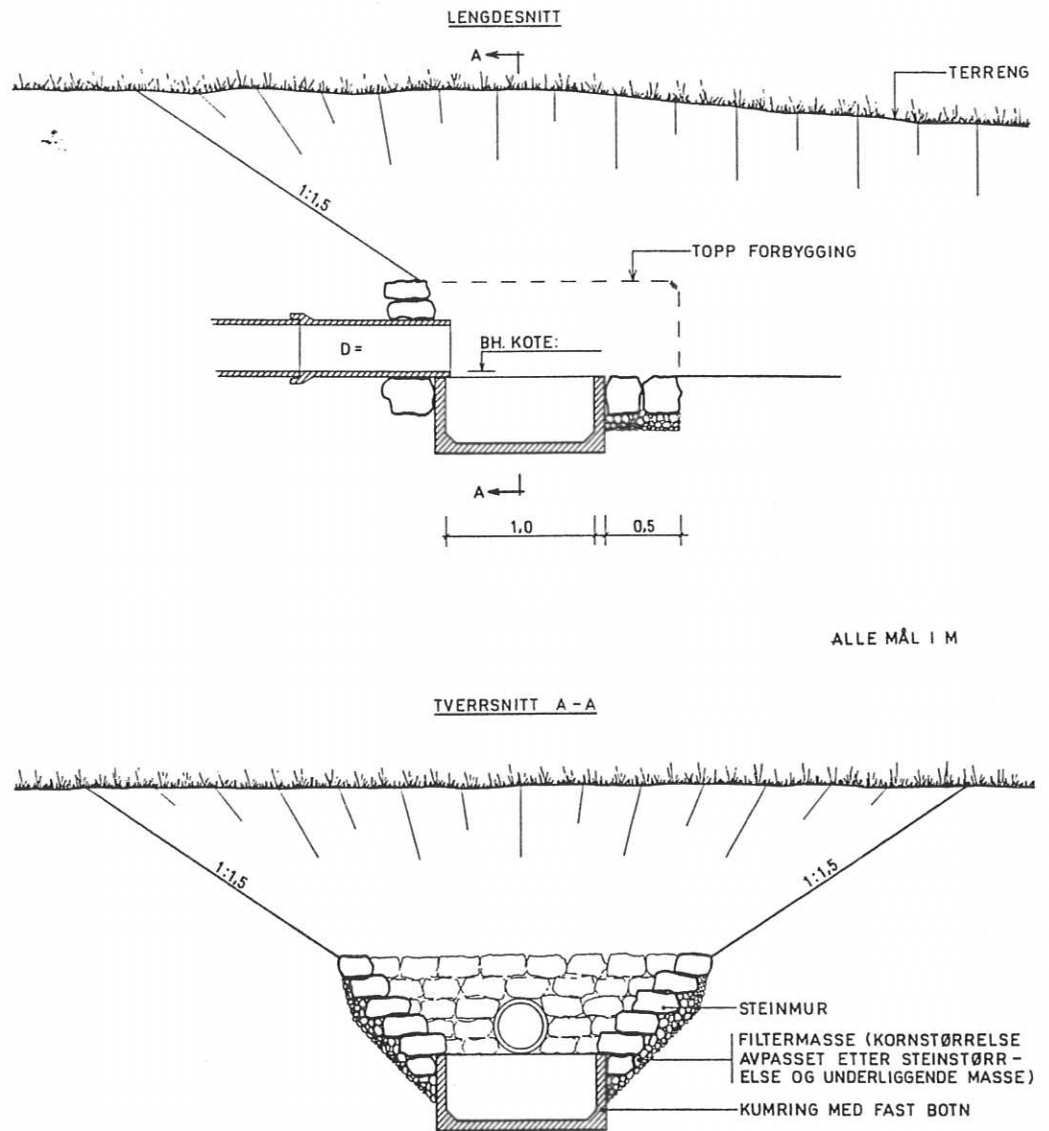
Veiledning i erosjonssikring.

Kulvert diameter mm	Typisk vannhastighet m/s	Tiltak v/utløp	Eksempel på utforming
<600	2-3	Lettere plastring eller betongkum	Figur 6.4 og 6.5
600-1000	3-4	Tyngre steinsetting	Figur 6.4 og 6.6
>1000	>4	Spesielle energidreperere	Figur 6.7



Figur 6.4.

Erosjonssikring med steinmasser (fra /26/).



HØVELIG TYKKELSE PÅ STEINMUR: 0,2 - 0,3 M.

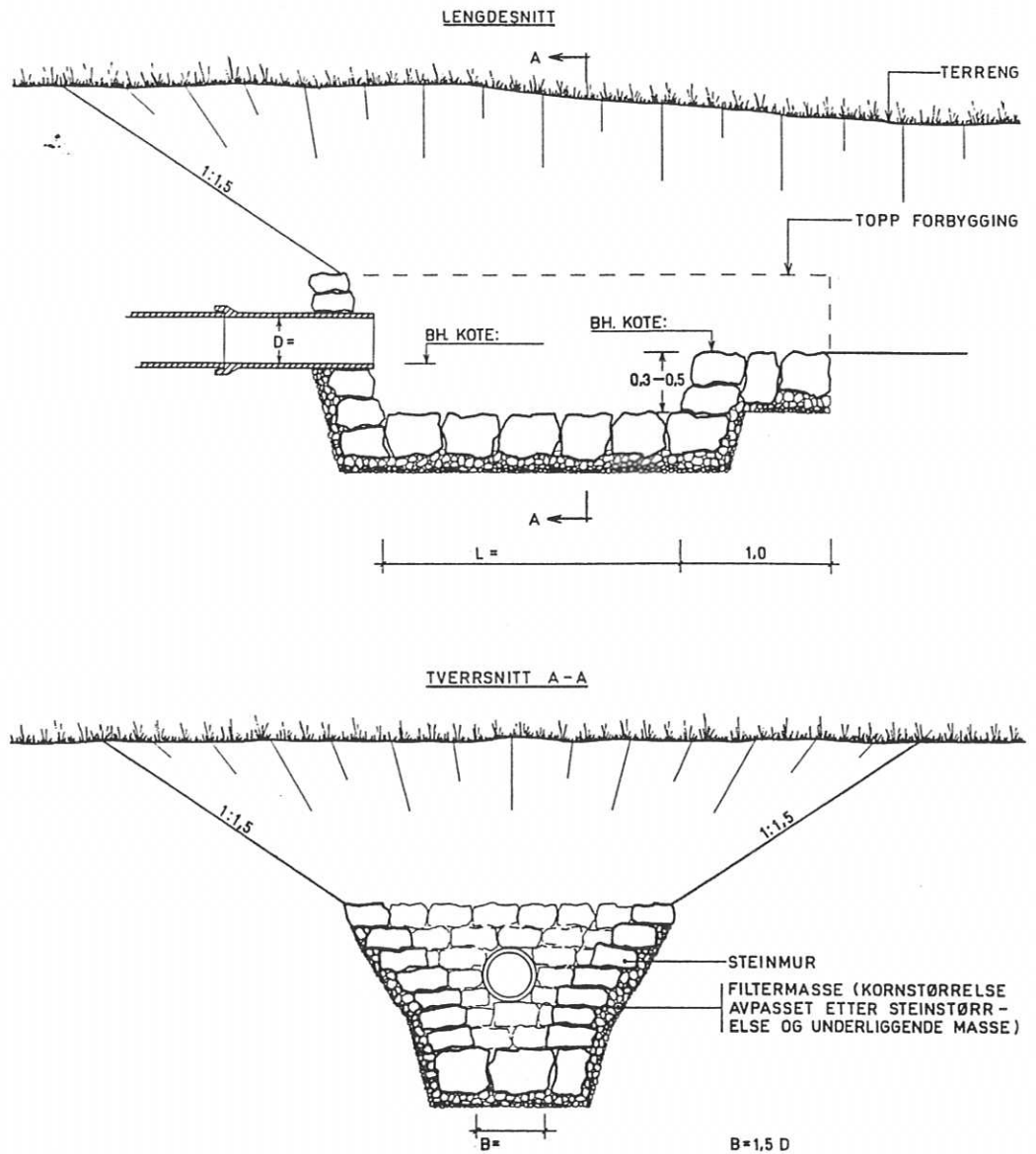
UNDER STEINLAGET LEGGES GROV GRUS, SMÅSTEIN ELLER SUBBUS, SOM FILTER.

ER UNDERGRUNNEN LETT ERODERBAR, MÅ DET BRUKES ET RELATIVT TYKT LAG AV GODT GRADERT FILTERMASSE.

SIKRINGEN KAN NYTTES VED VANNHASTIGHET (V) ≤ 2 M/SEK. I RØRLEDNING.

Figur 6.5.

Sikring av utløp med betongkum. Landbruksdept type-
tegning TL/S 3a 1975.



FORHOLDET MELLOM VANNHASTIGHET (V)
RØRLEDNING OG LENGDE (L) AV GROP.

V M/SEK.	<2	2-4	4-7
L	1	2	3

HØVELIG TYKKELSE PÅ STEINMUR: 0.2 - 0.5 M.

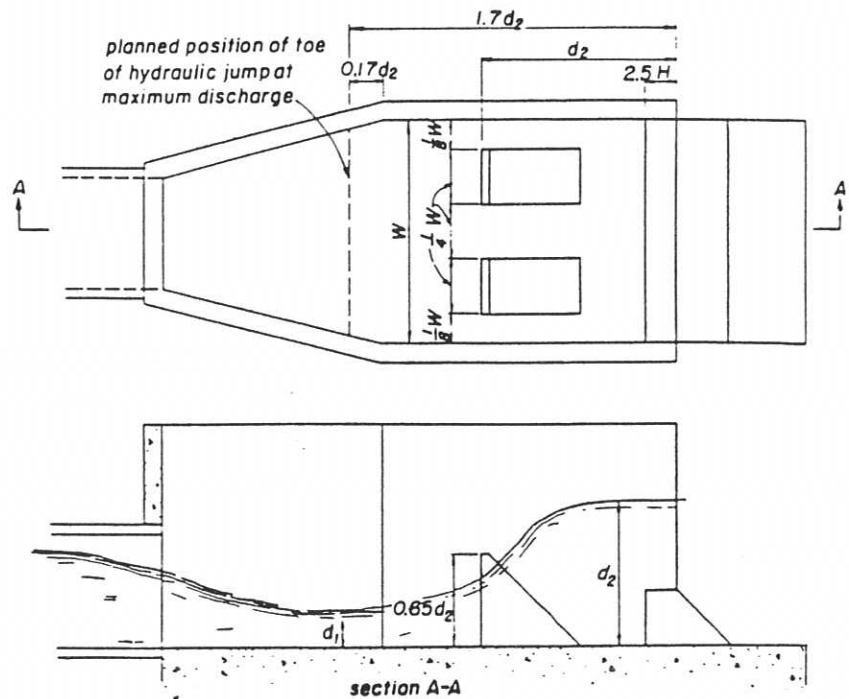
UNDER STEINLAGET LEGGES GROV GRUS, SMÅSTEIN ELLER SUBBUS, SOM FILTER.

ER UNDERGRUNNEN LETT ERODERBAR, MÅ DET BRUKES ET RELATIVT TYKT LAG AV GODT GRADERT FILTERMASSE.

ALLE MÅL I M

Figur 6.6.

Sikring av utløp med steingrop. Landbruksdept type-
tegning TL/S 1a 1975.



Figur 6.7.

Energidreper ved kulvertutløp / /.

6.3. Sikring av kjørebane, veggrøfter og skråninger mot flomerosjon

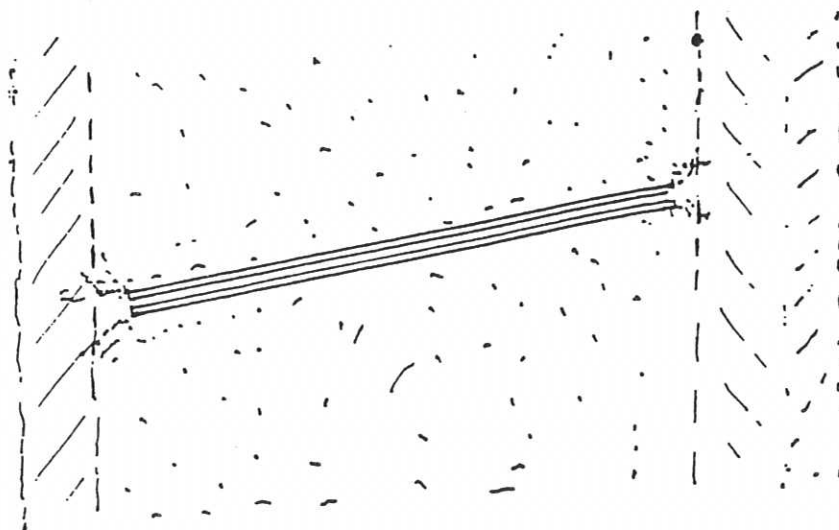
Vanlige
erosjonsskader

Skadene som oppstår ved flommer, skyldes ofte at kjørebane, veggrøfter og skråninger er dårlig erosjonssikret. Når vannet under en flom tar andre veger fordi kapasiteten til stikkrennene overskrides eller stikkrennene tettes til, kan store mengder masse vaskes bort fra veggrøfter, vegbane og skråninger. Dette kan føre til nye tiltetninger lenger nedstrøms og dermed et akselererende skadeforløp.

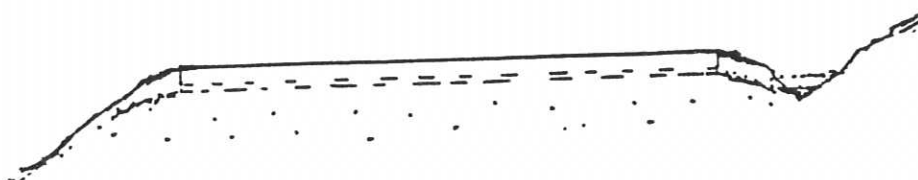
Vann som følger vegbanen, gir lett erosjonsskader på veger uten fast dekke. Vann som følger vegen kan også samle opp avrenning fra større områder og dermed overbelaste nedenforliggende stikkrenner som er dimensjonert for et mindre felt. Figur 6.8 viser hvordan vann kan ledes bort fra vegbaner uten fast dekke.

Ved behov for ekstra snølagringsplass kan grøfteprofilen utvides.

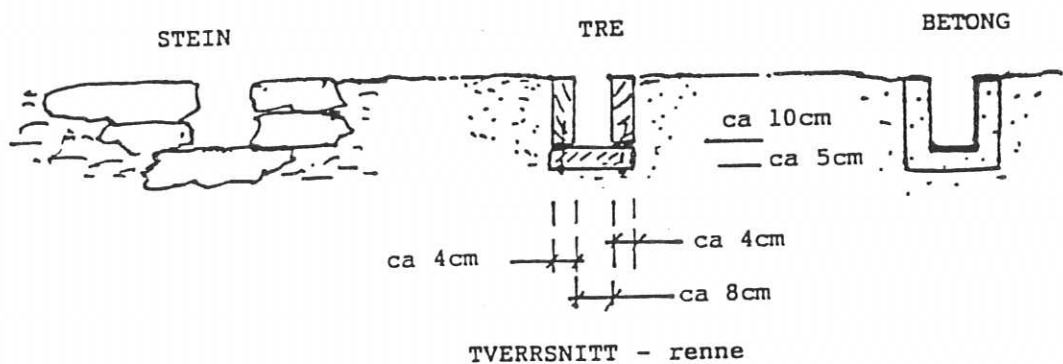
For større veganelegg (riksveger) er det aktuelt å benytte lukket drens-system. Dette gir mindre masseuttak ved høye skjæringer og bedre trafikksikkerhet pga slakere grøfteskråninger. Dette omtales ikke nærmere her.



PLAN - veg



TVERRSNITT - veg



TVERRSNITT - renne

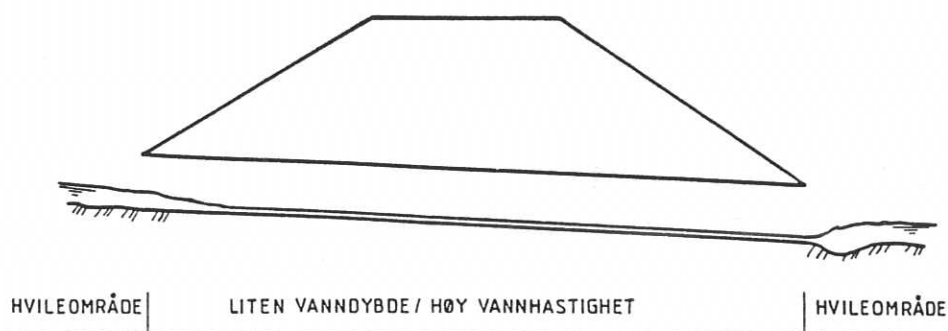
Figur 6.8.

Bortledning av vann fra vegbaner uten fast dekke, gardsvegar, skogsbilvegar o l. (Eksempel fra Østerrike. Naturskadefondet v/avd. ing Johan Nakken.)

7. TERSKLER FOR FISKEOPPGANG

Terskler for
fiskeoppgang

For større kulverter må det tas hensyn til fiskens "frie gang", jfr avsnitt 2.2. Vannhastigheten i kulverten blir langt høyere og vanddybden vesentlig mindre enn den var i elven eller bekken før utbygging. Avstanden mellom "hvileområdene" blir dessuten stor, jfr figur 7.1. I kulverter med fall større enn ca 30 - 40 ‰ blir vannhastigheten så stor at fisken ikke klarer å gå opp gjennom kulverten.



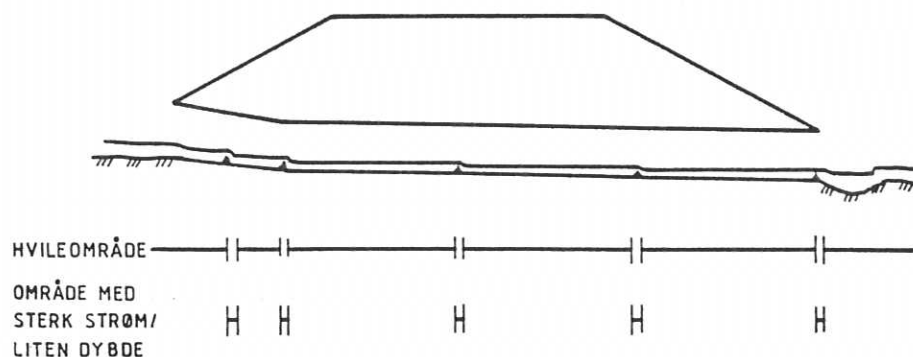
Figur 7.1.

Forhold for fiskeoppgang i kulvert uten terskler.

Dette problemet kan løses ved å støpe terskler i bunnen av kulverten som vist på figur 7.2. Tersklene bremses opp vannet og utformes slik at de gir rolige strømforhold for en vannføring som tilsvarer en mindre regnflom.

En kulvert med terskler har:

- Korte strekninger med høy hastighet og liten vanddybde (overløp over tersklene).
- Kort avstand mellom "hvileområdene" med lav hastighet og høy vannstand.



Figur 5.6.

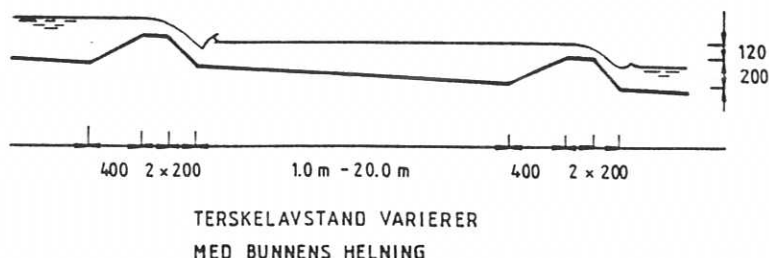
Forhold for fiskeoppgang i en kulvert med terskler.

Tette rister
stenger for
fisken

I tillegg til terskler i kulverten er følgende forhold også viktige:

- Like nedstrøms kulvertutløpet skal det være en kulp hvor fisken kan hvile seg før den gir seg i kast med kulverten. Dette kan kombineres med erosjonssikrings-arrangement, jfr avsnitt 6.2
- En eventuell inntaksrist må holdes rein for stein og rask. En nesten tett inntaksrist kommer fisken ikke igjennom. Det anbefales at det er 100 - 200 mm åpning mellom risten og bunnen i inntaket.

Terskelutforming er vist i figur 7.3.



Figur 7.3.

Detaljutforming av terskler. Terskelavstand og terskelhøyde varierer med bunnens helning.

Ved innsetting av terskler kan kulvertens kapasitet nedsettes vesentlig. Terskler krever derfor en viss økning av kulvert-tverrsnittet.

Tersklene egner seg både for sirkulære og rektangulære kulverter.

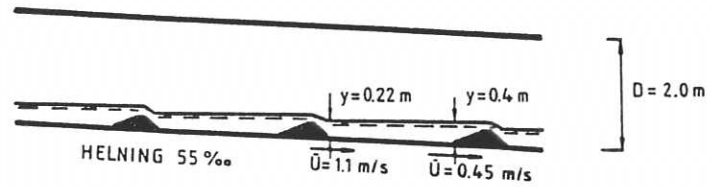
Eksempler

Det er bygd kulverter med terskler i Storelva i Malvik, Sør-Trøndelag, både ved kryssing av E6 ved Vikhamar og ved kryssing av ny E6 ved Leistad. Det er også bygd kulverter med terskler i Sagelva i Malvik i Sør-Trøndelag og ved kryssing av ny E6 ved Torp. Kulvertene er vist i vedlegg.

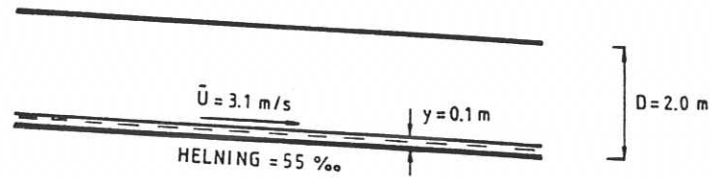
Erfaringer fra anleggene under drift viser rimelig bra strømningsforhold. Systematiske fiskeoppgangsundersøkelser er ikke gjennomført, men spredte observasjoner i Storelva tyder på at sjøørreten går opp under gytting.

Disse anleggene er de første som er bygd og er sannsynligvis ikke helt optimale. Det anbefales at utforming av terskler blir studert nærmere med tanke på å oppnå en bedre utforming og en sikrere dimensjonering.

Kulvert med terskler:



Kulvert uten terskler;



Tabell 7.4.

Eksempel på strømningsforhold med og uten terskler. Kulvert i Storelva ved Vikhamar i Malvik. Vannføring 200 l/s.

8. RØRMATERIALER

Innholdet i dette kapittelet er delvis utdrag fra Statens Vegvesen håndbok 018 Vegbygging /23/.

Rørtyper og materialkvalitet bør velges etter vurdering av bl a:

- krav til tetthet av ledningene
- tilgjengelige fundament- og omfyllingsmasser
- fall og andre hydrauliske forhold
- fyllingshøyde over rørene, grunnforhold
- rørdiameter
- miljø (vannets og omgivelsenes aggressivitet)

Norsk Standard

Rør og rørdeler til kulverter og stikkrenner bør være i samsvar med Norsk Standard (NS) der slik finnes for den aktuelle produktgruppe. EF-normer (CEN-standarder) for en del materialer til bygg- og anleggssektor kan bli innført fra 1 januar 1993.

Tetthetskrav

Rørsystemene bør ha tette skjøter. Rimelig tetthet oppnås normalt ved at det brukes pakning som er godkjent for de aktuelle rørtypene. Pakningene bør ha god motstandsevne mot mikrobiell nedbrytning. Pakningene skal monteres forskriftsmessig iht leverandørens anvisninger. Fleksible rør skal ikke ha deformasjoner større enn tillatt pga selve leggingen.

8.1. Betongrør

Produksjon,
godkjenning

Betongrør og -kummer bør være produsert og kontrollert i samsvar med bestemmelser for "Klasse C - Betongprodukter til avløpsformål" (Kontrollrådet for betongprodukter, sept. 1989). Kontrollrådet for betongprodukter (KR) opplyser hvert år om godkjente produsenter i "Meddelelse om godkjenning".

Særlig kontrollomfang kan være aktuelt for dobbelt-armerte rør og andre rør for store belastninger.

Betongrør bør oppfylle spesifikasjon a, b eller c vist nedenfor. Spesifikasjon b og c skal minst tilsvare Norsk Standard for sammenlignbare produkter.

- a) Norsk Standard NS3027 og NS3028.
- b) Bransjenormer.
- c) Produsent-normerte spesifikasjoner.

Kvalitet,
merking,
tetthet

For spesielle konstruksjoner, f eks ved rørpresing, kan det være aktuelt å bruke produkter med andre spesifikasjoner. Dette vurderes i det enkelte tilfelle.

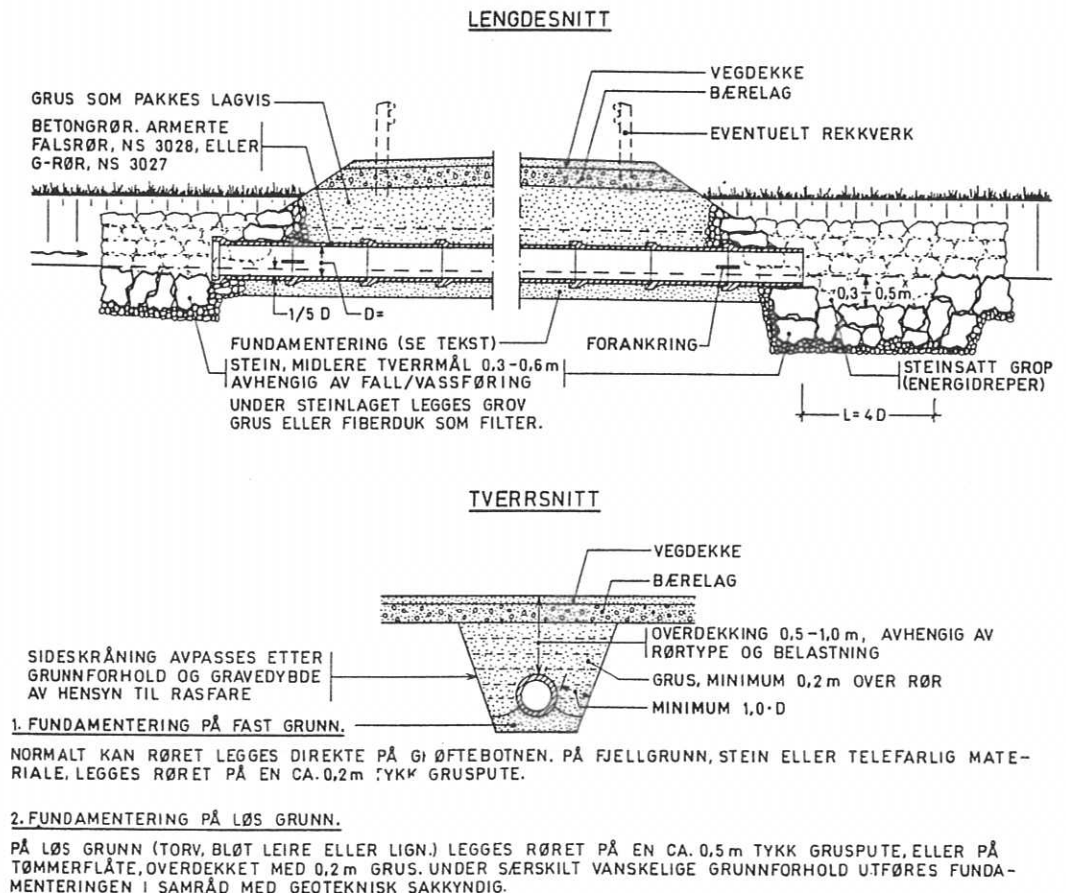
Det bør kun brukes rør som er sortert og merket etter KR's bestemmelser. Normalt brukes G-merkede produkter. T-merkede produkter bør brukes der det stilles spesielle krav til tetthet. T-merkede betongrør er tetthetsprøvede ved fabrikk. I skjøter bør det benyttes godkjente gummipakninger som monteres iht leverandørens anvisninger.

AN-merkede (og SEKUNDA-merkede) produkter er ikke godkjent for Statens Vegvesen sine anlegg.

Styrke av
betongrør

Rør til vanlig fylling eller grøft uten avlastningslag skal tilfredsstillere nærmere spesifiserte krav til styrke og prøvelast. Beregningsregler og forutsetninger for dimensjonering, samt prøvningsregler og fullstendige tabeller for prøvelast og tillatte fyllingshøyder er gitt i referanse /24/.

Største tillatte fyllingshøyde over rør (m) ut fra prøvelast skal være stemplet på rørene. Minste tillatte fyllingshøyde er 0,5 m dersom ikke annet er angitt.



Figur 8.1.

Stikkrenner av betong. Landbruksdep typetegning
Br/S 3b. Revidert 1987.

ab-r-4860kulvert/kb1

8.2. Plastrør

Produksjon,
godkjenning

Rør og rørdeler av plast bør være i samsvar med Norsk Standard (NS) eller andre standarder/-normer etter spesielle godkjenning:

NS 3065 Plastrør. Drensrør, rørdeler
 NS 3624 Avløpsrør/rørdeler, PVC
 NS 3623 Avløpsrør/rørdeler, PE
 NS 3621 Trykkrør, UPVC
 NS 3622 Trykkrør av polyetylen, PE
 NS 3630 Grunnavløpsrør/rørdeler, PP
 NS 3628 Avløpsrør/rørdeler, GUP
 NS 3629 Trykkrør/rørdeler, GUP
 NPF 8001 Anleggsrør

Oversikt over godkjente produsenter av rør etter NS fås ved henvendelse til Norges Standardiseringsforbund (NSF).

Rørmaterialer etter NPF 8001 (Plastindustriforbundets norm for anleggsrør) kan nyttes, og skal ha stivhet klasse C. Oversikt over godkjente anleggsrør fås hos Plastindustriforbundet (PIF).

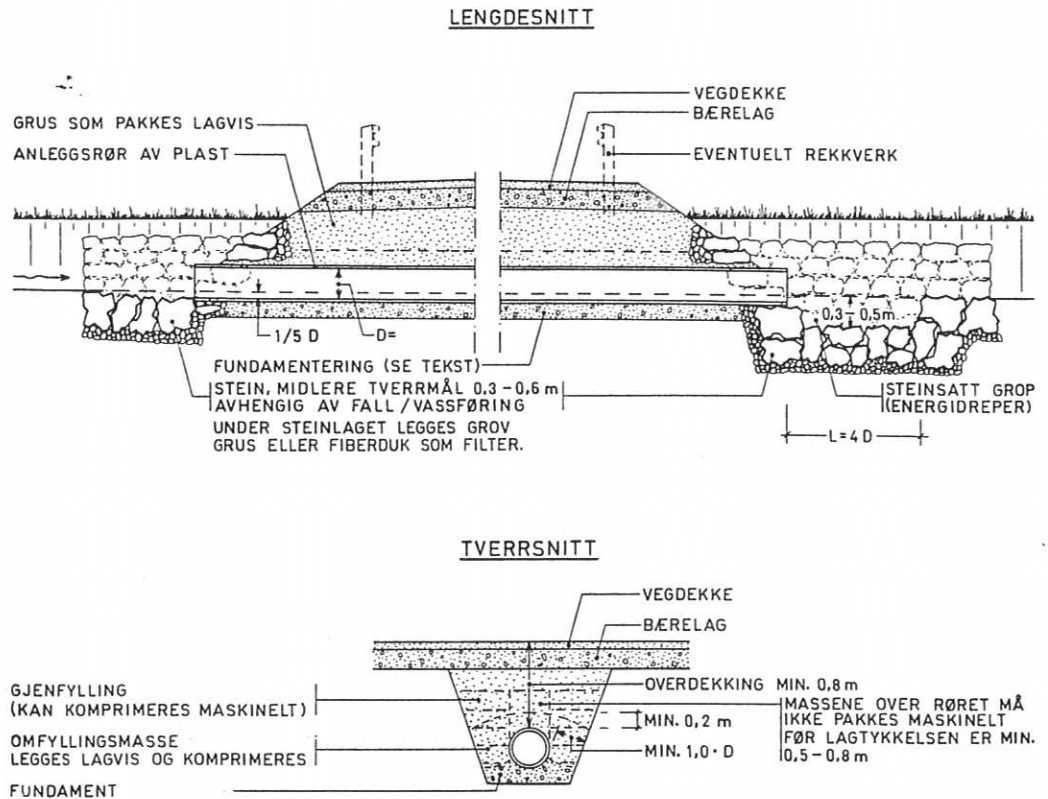
Rør etter NPF 8001 har ikke krav om tette skjøter, og skal ikke brukes dersom det stilles spesielle krav til tetthet av kulverten.

Statisk
dimensjonering

En må være oppmerksom på forskjellen ved statisk dimensjonering og krav til omfylling for PVC, PE og PP på den ene siden og GUP på den andre side:

- PVC, PE, PP: Normalt er deformasjon av rørtverrsnittet dimensjonerende.
- GUP : Normalt er tøyningen i rørveggen dimensjonerende.

Korrugerte, dobbeltveggede plastrør har liten veggtykkelse. Et 200 mm rør av denne typen har en veggtykkelse (innerrør) på ca 1 mm. Dette gir liten sikkerhet mot slitasje, særlig i skjøtene.



1. FUNDAMENTERING PÅ FAST GRUNN.

NORMALT KAN RØRET LEGGES DIREKTE PÅ AVRETTET GRØFTEBOTN. PÅ FJELLGRUNN, STEIN ELLER TELEFARLIG MATERIALE, LEGGES RØRET PÅ EN CA. 0,2 m TYKK GRUSPUTE.

2. FUNDAMENTERING PÅ LØS GRUNN.

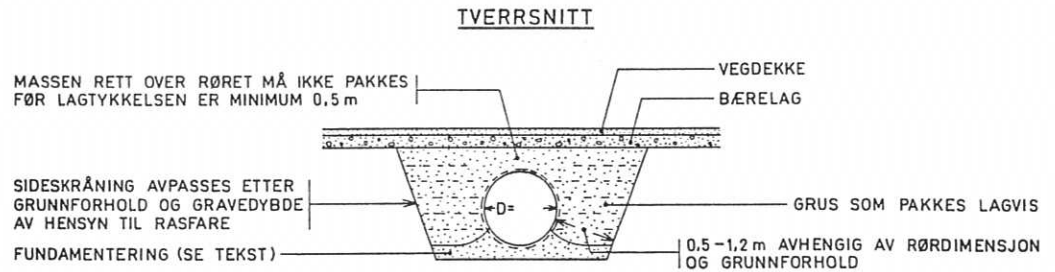
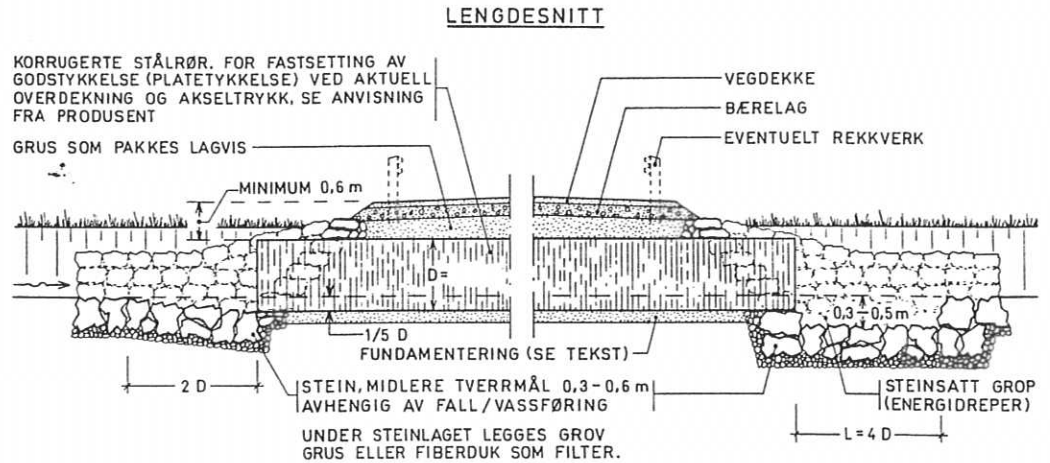
PÅ LØS GRUNN (TORV, BLØT LEIRE ELLER LIGN.) LEGGES RØRET PÅ EN CA. 0,5 m TYKK GRUSPUTE, ELLER PÅ TØMMERFLÅTE, OVERDEKKET MED 0,2 m GRUS. UNDER SÆRSKILT VANSKELIGE GRUNNFORHOLD UTFØRES FUNDAMENTERINGEN I SAMRÅD MED GEOTEKNISK SAKKYNDIG.

Figur 8.2.

Stikkrenner av plast. Landbruksdep typetegning Br/S 5a.
Revidert 1987.

8.3. Stålrør

Korrosjon	Stålrør til vanngjennomløp bør ikke brukes i områder der det er registrert store korrosjonsskader på slike rør uten at det blir gjort særskilte tiltak for å hindre korrosjon.
Metallisk korrosjonsbeskyttelse	Stålrør som kun har metallisk korrosjonsbeskyttelse, f eks varmforsinking, bør bare brukes dersom vannhastigheten ikke er større enn 0,5 m/s og pH ikke mindre enn 6,5. Metallisk korrosjonsbeskyttelse består av sink, evt aluminium pluss sink, eller bare aluminium. Stål er passivt når $\text{pH} > 9$. Når pH er 6,5 - 8, kan korrosjonen av sinkbeskyttelsen være lav. Hvis vannhastigheten er stor eller vannet fører sand/grus, vil sinkhydroksyden $\text{Zn}(\text{OH})_2$ fjernes og sinken korroderer.
Kombinert korrosjonsbeskyttelse	Dersom kravene til vannhastighet og vannets kjemiske sammensetning ikke er oppfylt, bør det brukes kombinert korrosjonsbeskyttelse. Kombinert korrosjonsbeskyttelse består av metallisk korrosjonsbeskyttelse pluss organisk overflatebeskyttelse, f eks epoksymaling, plastbelegg eller elastisk belegg. Beskyttelse kan også oppnås ved å støpe ut bunnen av rørene. Ved stor risiko for slitasje pga isgang eller vanntransportert sand, stein og grus, samt i saltholdig vann eller brakkevann bør det brukes korrosjonsbeskyttelse som er spesielt slitasjebestandig og porerett.
Særlige forhold	Stålrør som kun har metallisk korrosjonsbeskyttelse, bør legges slik at middelvannstanden ikke ligger høyere enn det nivå hvor røret er bredest. Rør som ligger med bunnens nivå lavere enn 3 m under ferdig veg, bør ha stor nok rørdiameter til å muliggjøre eventuelle reparasjoner.



1. FUNDAMENTERING PÅ FAST GRUNN.

NORMALT KAN RØRET LEGGES DIREKTE PÅ GRØFTEBOTNEN. PÅ FJELLGRUNN, STEIN ELLER TELEFARLIG MATERIALE, LEGGES RØRET PÅ EN CA. 0,2 m TYKK GRUSPUTE.

2. FUNDAMENTERING PÅ LØS GRUNN.

PÅ LØS GRUNN (TORV, BLØT LEIRE ELLER LIGN.) LEGGES RØRET PÅ EN CA. 0,5 m TYKK GRUSPUTE, ELLER PÅ TØMMERFLÅTE, OVERDEKKET MED 0,2 m GRUS. UNDER SÆRSKILT VANSKELIGE GRUNNFORHOLD UTFØRES FUNDAMENTERINGEN I SAMRÅD MED GEOTEKNISK SAKKYNDIG.

Figur 8.3.

Stikkrenner av korrugerte stålrør. Landbrusdep type-tegning Br/S 6a. Revidert 1987.

8.4. Høye fyllinger

Kulverter gjennom høye fyllinger må prosjekteres særskilt. Her gis kun noen generelle betraktninger.

Unngå helst høye fyllinger

Kulverter og stikkrenner med stor overdekning (høy fylling) bør hvis mulig unngås av flere grunner:

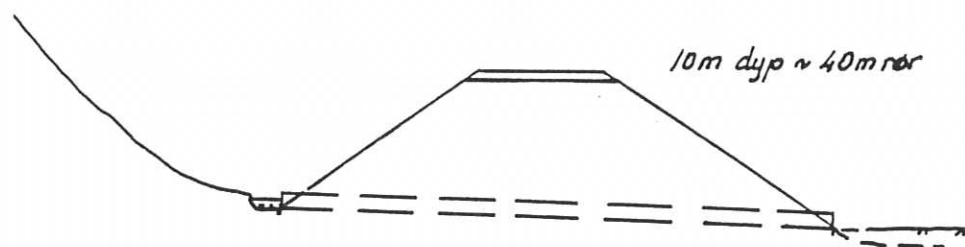
- kulverten blir lang og kostbar
- det stilles store krav til materialer og utførelse pga fare for sammentrykning og utglidning av rør
- reparasjoner og eventuell utskiftning pga slitasje, setninger, korrosjon m v blir kostbare
- ved gjentetting er det fare for utvasking og stabiliteten av fyllinga.

Tiltak

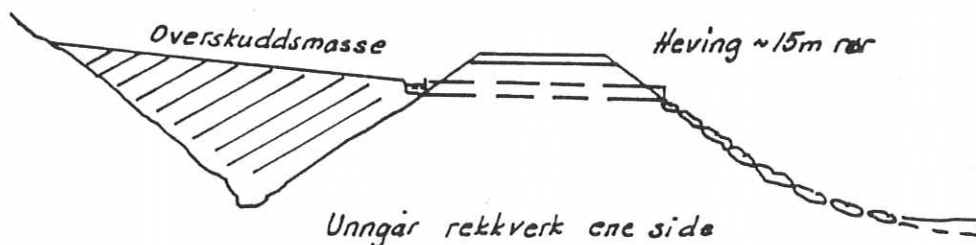
Følgende tiltak kan være aktuelle:

- Heve eller flytte kulverten evt med oppfylling og flytting av bekk, jfr figur 8.4. (Nedføringsrenna må plastres.)
- Redusere belastningene ved å legge kulverten i en trang grøft i fast terreng.
- Redusere belastningene ved å bruke lastreduserende (kompressible, setningsgivende) lag over rørene, jfr figur 8.5. Setningene i massen over røret skaper en hvelv-virkning i massene.
- Påføring av belegg som reduserer friksjonen mellom rør og omfyllingsmasser.
- Spesialbygde firkantkulverter eller rør med ekstra armering.

Det henvises til Statens vegvesen håndbok -016 "Geoteknikk i vegbygging" /22/.

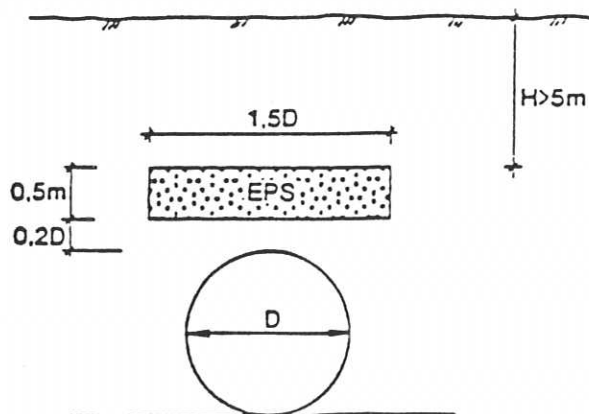


ALTERNATIV BYGGEMÅTE:



Figur 8.4

Heving av kulvert.



Figur 8.5.

Eksempel på bruk av avlastningslag av EPS.

To parallelle rør

Dersom en stor kulvert må legges særlig dypt, bør det vurderes å legge to parallelle rør som samlet har tilstrekkelig kapasitet. Dette gjør seinere vedlikehold og fornyelse mye enklere fordi bekken kan ledes gjennom det ene røret mens det andre repareres.

9. LITTERATURLISTE

- /1/ CHOW, VEN TE: "Open - Channel Hydraulics"
Mc Graw Hill Book Company, New York 1959.
- /2/ FRENCH, R.H.: "Open - Channel Hydraulics"
Mc Graw Hill Book Company, New York 1985.
- /3/ "Capacity Charts for the Hydraulic Design of Highway Culverts",
Hydraulic Engineering Circular No. 10, U.S. Department of Commerce, Bureau of Public Works, Washington D.C. 1965.
- /4/ NORDAL, R.S.: "Drenering av vegar".
Statens vegvesen, Veglaboratoriet, Oslo 1965.
- /5/ ENGELUND, F.A.: "Lærebok i hydraulik".
PEDERSEN Det private Ingeniørfond, Danmarks tekniske højskole, København.
- /6/ "Bekke- og elveinntak".
Normer for vann- og kloakkledninger, 325-F107.
Oslo vann- og avløpsverk, 1976.
- /7/ "Design of Small Channel Structures".
United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation. Denver, Colorado 1978.
- /8/ TRAAGSTAD, Ø. "Lovverket mht avrenning i byer og tettsteder".
Kommunalteknikk, mai 1987.
- /9/ MYRABØ, S. "Flomberegning".
NVE, Hydrologisk avdeling, Oppdragsrapport 8 - 91 desember 1991.
- /10/ SENNESET, A., "Detaljstudier av flomforhold i Sagelvafeltet".
STØLE, H.: Prosjektoppgave i hydrologi. Institutt for vassbygging, NTH, 1986.
- /11/ WATHNE, M., "Et bedre dimensjoneringsgrunnlag for overvannssystem".
SPJØTVOLD, Ø.: VANN nr 1, 1990.
- /12/ THOROLFSSON, S.T. "Overvannsavrenning fra korttids- og langtidsnedbør".
Foredrag VAR-dagene, Trondheim 1990.
- /13/ "Avrenningskart over Norge".
Norges vassdrags- og energiverk, Hydrologisk avdeling, 1987.
- /14/ WINGÅRD, B., m fl: "Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag".
NVE-VH, rapport 2-78, 1978.
- /15/ KILLINGTVEIT, Å., "Kulverter for Sørå under ny E6 ved Klett ved Trondheim
MOSEVOLL, G.: - Flomberegning og hydraulisk utforming".
SINTEF NHL rapport STF60 A83091, 1983.

- /16/ KILLINGTVEIT, Å., "Kulverter for Storelva under E6 ved Vikhamar i Malvik
MOSEVOLL, G.: - Flomberegning og hydraulisk utforming".
SINTEF NHL rapport STF60 A83090, 1983.
- /17/ SÆTHER, B., "Kulvert for Sagelva ved Torp og kulvert for Storelva
JACOBSEN, J.: ved Leistad. Flomberegning og hydraulisk dimensjonering".
SINTEF NHL rapport STF60 A84140, 1984.
- /18/ LUNDE, T.: "Kulverter i Sollielva og Høybybekken i Hommelvik i
forbindelse med ny E6".
SINTEF NHL rapport SFT60 A88028, 1988.
- /19/ SAND, K., "Flomberegning i Vikelva".
SÆTHER, B.: SINTEF NHL rapport STF60 F86054, 1986.
- /20/ MOSEVOLL, G.: "Flommen i Uglabekken i Trondheim 9 - 10 desember 1987.
Størrelse og gjentaksintervall".
SINTEF NHL rapport STF60 A88020, 1988.
- /21/ "Beregning av dimensjonerende og påregnelig maksimal
flom, retningslinjer". NVE-Hydrologisk avd V-informa-
sjon nr 1, 1986
- /22/ Håndbok 016 Geoteknikk i vegbygging. Statens vegvesen,
1990.
- /23/ Håndbok 018 Vegbygging. Statens Vegvesen 1992.
- /24/ Dimensjonerende laster og prøvelaster for betongrør til
vegkonstruksjoner.
Intern rapport 1521, Veglaboratoriet.
- /25/ Håndbok 100/12 Kulverter og rør.
Statens vegvesen, 1983.
- /26/ Håndbok 100/04. Prosjektering. Vanngjennomløp.
Vegdirektoratet Bruavdelingen 1980.
- /27/ Veiledning ved dimensjonering av avløpsledninger,
Statens forurensningstilsyn (SFT), TA-550 1979.
- /28/ Landbruksdep Kulturteknikk - Typetegninger
LUKKA AVLØP:
- Inntak/mur med rist,
Typetegning TL/I 1a 1983
- Inntak/kjegle med rist,
Typetegning TL/I 3d Revidert 1988
- Sikring ved overgang til åpen kanal/steingrop,
Typetegning TL/S 1a 1985
- Sikring ved overgang til åpen kanal/betongkum,
Typetegning TL/S 3a 1975
- BRUER OG STIKKRENNER:
- Stikkrenne/betongrør,
Typetegning Br/S 3b Revidert 1987
- Stikkrenne/anleggørør av plast,
Typetegning Br/S 5a Revidert 1987
- Stikkrenne/korrugerte stålrør
Typetegning Br/S 6a Revidert 1987

- /29/ RISHOLT, L.P.: "Hydraulikk i vegbygging. Innløp og utløp av kulvert".
Inst for vassbygging prosjekt 1990.
- /30/ WEISMAN, R.N.: "Model Study of Safety Grating for Culvert Inlet".
Journal of Transportation Engineering. Vol 115, No 2,
March 1989.

VEDLEGG

Datablad utførte kulverter i Sør-Trøndelag

DATABLAD KULVERT

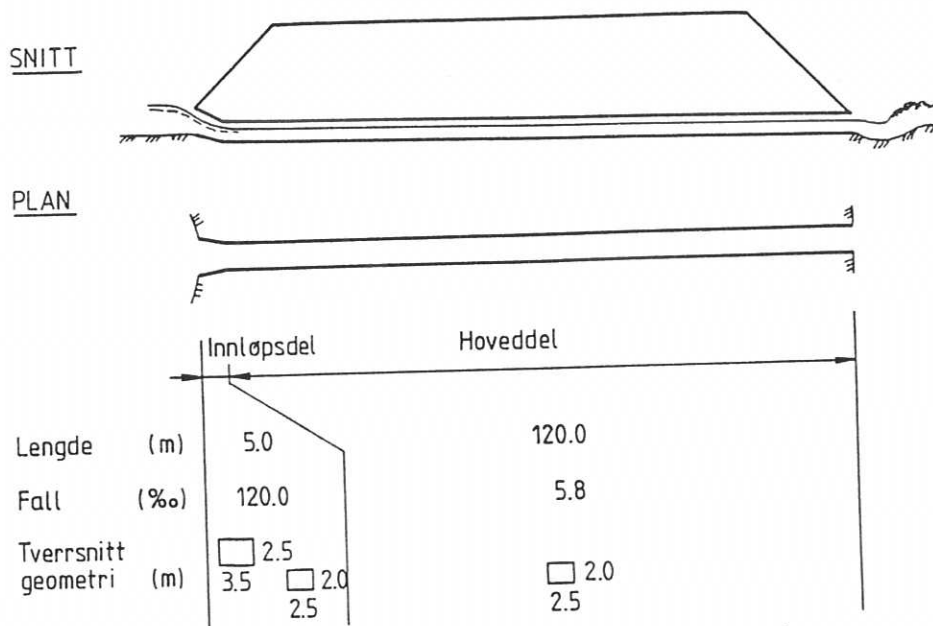
Vassdrag: Storelva i Malvik, Sør-Trøndelag

Sted: Kryssing ny E6 ved Leistad

Byggeår: 1986

Dimensjonerende vannføring: 16 m³/s

Utforming:



Rist: Innløpsrist + 2 stk fangrister oppstrøms inntak.

Terskler for fiskeoppgang: Terskelhøyde = 0,2 m

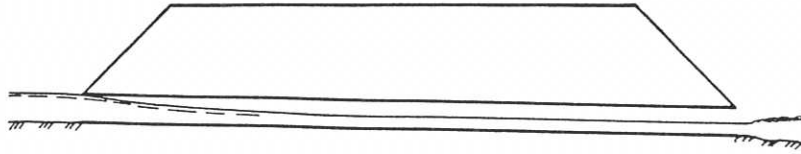
Terskelavstand,

innløpsdel = 2,5 m

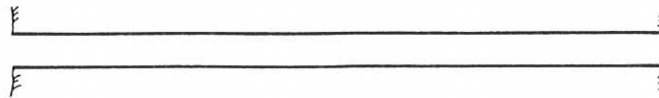
hoveddel = 20 m

Alternativ utforming:

SNITT



PLAN



Lengde	(m)	125.0
Fall	(‰)	10
Tverrsnitt-geometri	(m)	□ 2.5 3.0

DATABLAD KULVERT

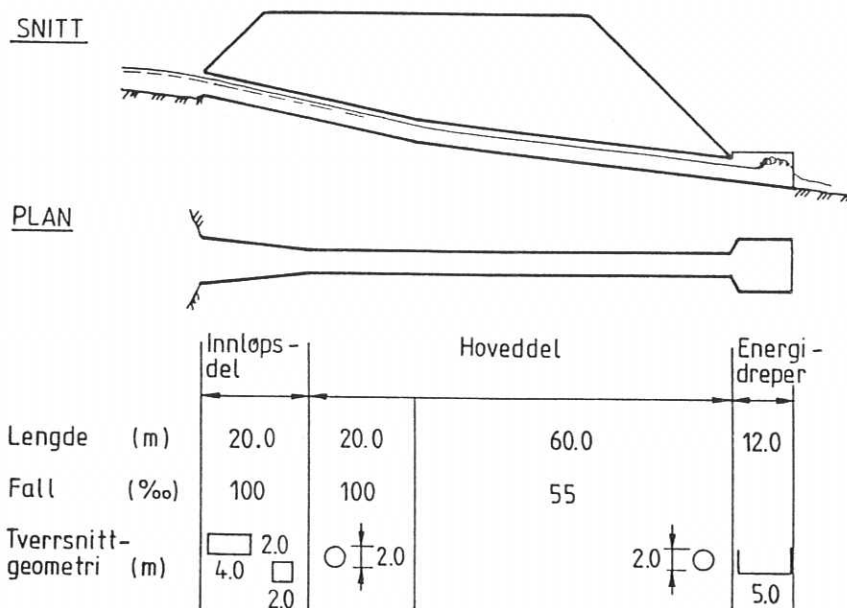
Vassdrag: Storelva i Malvik, Sør-Trøndelag

Sted: Kryssing E6 ved Vikamar

Byggeår: 1984

Dimensjonerende vannføring: $17,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Utforming:

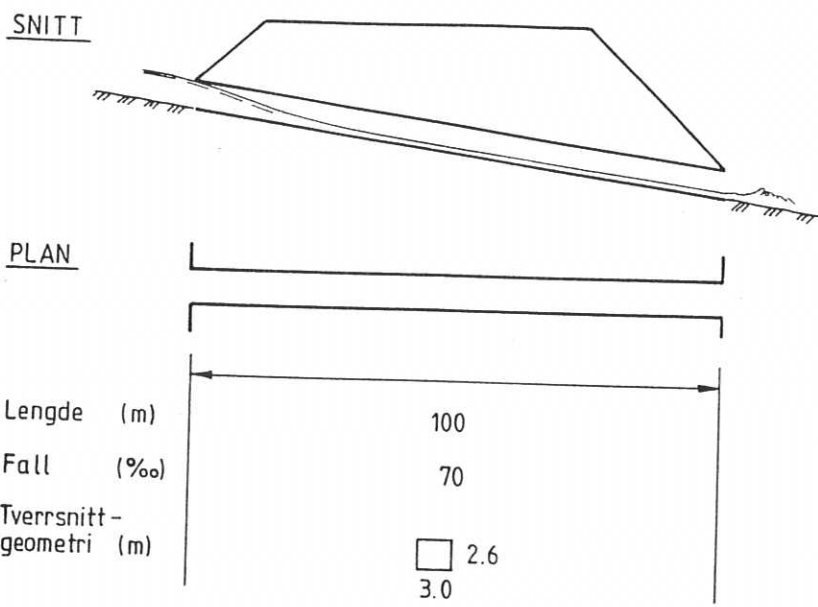


Rist: Innløpsrist + fangrist oppstrøms inntak.

Terskler for fiskeoppgang: Terskelhøyde = 0,2 m

Terskelavstand = 2,5 m

Alternativ utforming:



Energidreper er ikke vist på figuren.

DATABLAD KULVERT

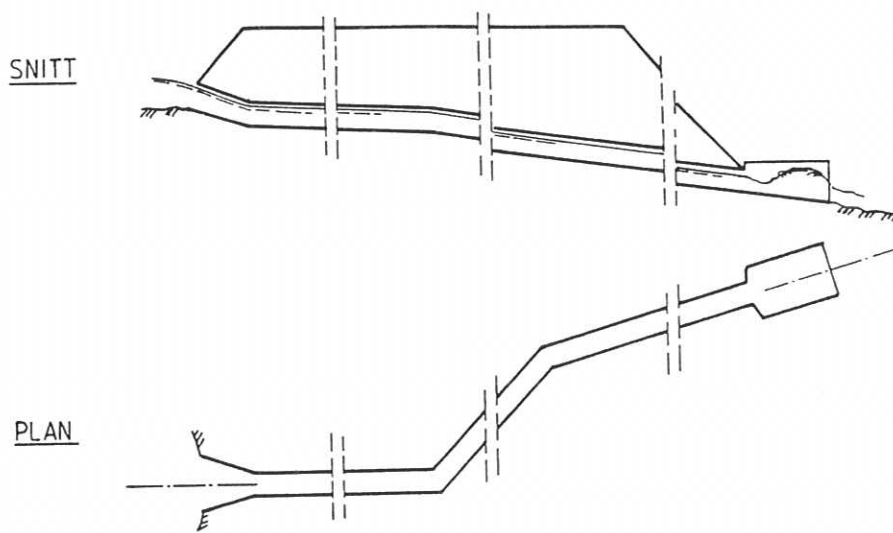
Vassdrag: Sagelva i Malvik, Sør-Trøndelag

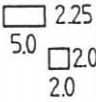

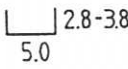
Sted: Kryssing ny E6 ved Torp

Byggeår: 1986

Dimensjonerende vannføring: 19,5 m³/s

Utforming:



	Innløpsdel	Hoveddel	Energidreper
Lengde (m)	10	240	16
Fall (‰)	160	Tilpasses terrenng med min. 25	66
Tverrsnittgeometri (m)			
Retningsendringer		45° 30°	

Rist: 2 stk fangrister oppstrøms inntak.

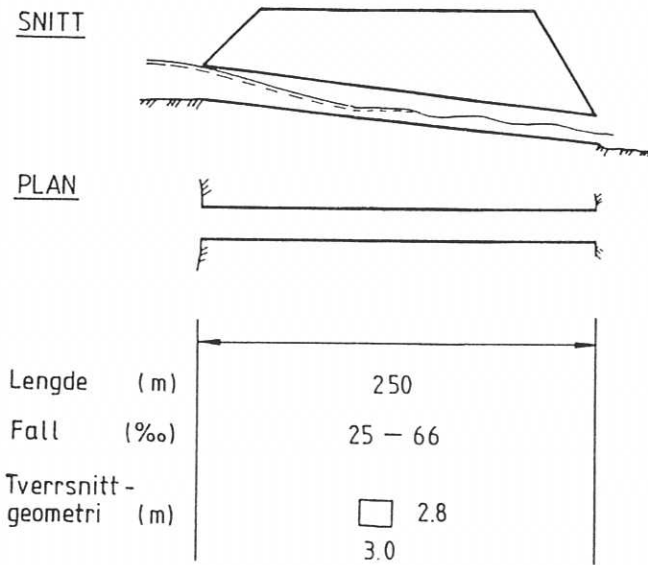
Terskler for fiskeoppgang: Terskelhøyde = 0,2 m

Terskelavstand,

innløpsdel = 2,0 m

hoveddel = 5,0 m

Alternativ utforming:



Knekkpunkt og energidreper er ikke vist på figuren.

DATABLAD KULVERT

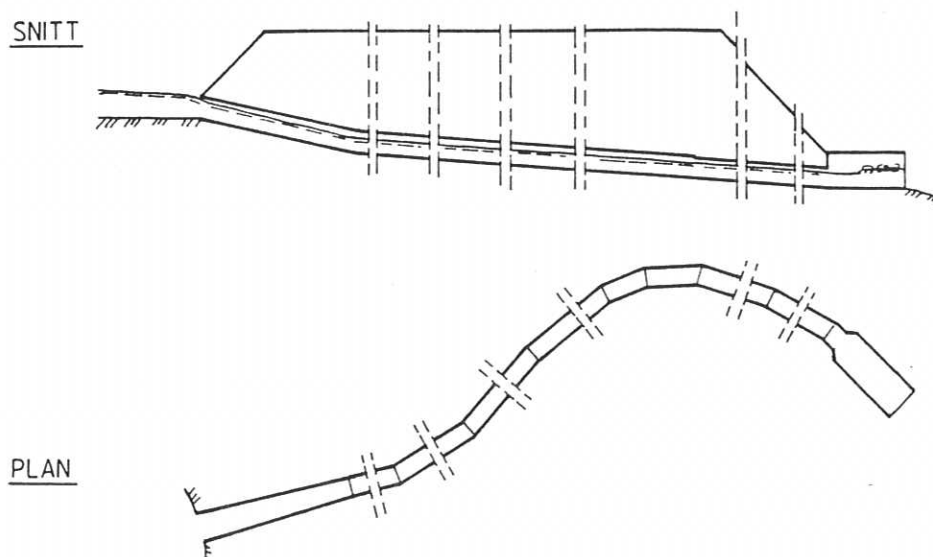
Vassdrag: Vikelva i Trondheim, Sør-Trøndelag

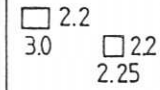
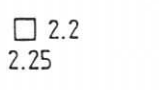
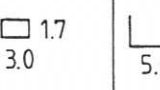
Sted: Kryssing ny E6 ved Ranheim

Byggeår: 1987

Dimensjonerende vannføring: $25 \text{ m}^3/\text{s}$

Utforming:



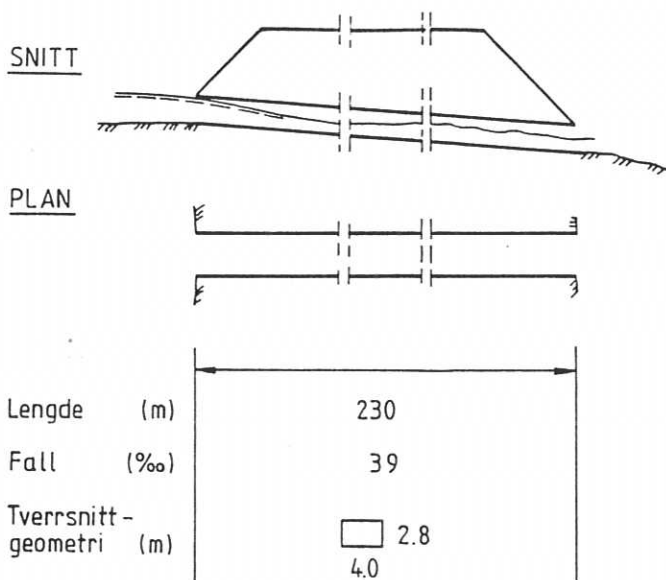
	Innløpsdel	Hoveddel	Energi- dreper
Lengde (m)	30.0	200.0	14.0
Fall (‰)	109	28	0
Tverrsnitt- geometri (m)			
Retnings- endringer		$2 \times 18^\circ$	$3 \times 19^\circ, 10.5^\circ, 15^\circ$

Rist: 2 stk fangrister 16 og 36 m oppstrøms inntak.

Kulverten er utformet på grunnlag av modellforsøk.

Modell var nødvendig på grunn av de mange knekkpunktene og tilpasningen til de gamle kulvertene.

Alternativ utforming:



Knekkpunkt og energidreper er ikke vist på figuren.

Trondheim:

Address: N-7034 Trondheim
Location: Strindveien 4, Trondheim
Phone: +47 73 59 30 00*
Fax: +47 73 59 24 80

Oslo:

Address: P.O. Box 124, Blindern, N-0314 Oslo
Location: Forskningsveien 1, Oslo
Phone: +47 22 06 73 00*
Fax: +47 22 06 73 50

Mo i Rana:

Address: P.O. Box 500, N-8601 Mo
Location: Svenskveien 20, Mo i Rana
Phone: +47 75 12 03 50*
Fax: +47 75 12 08 31