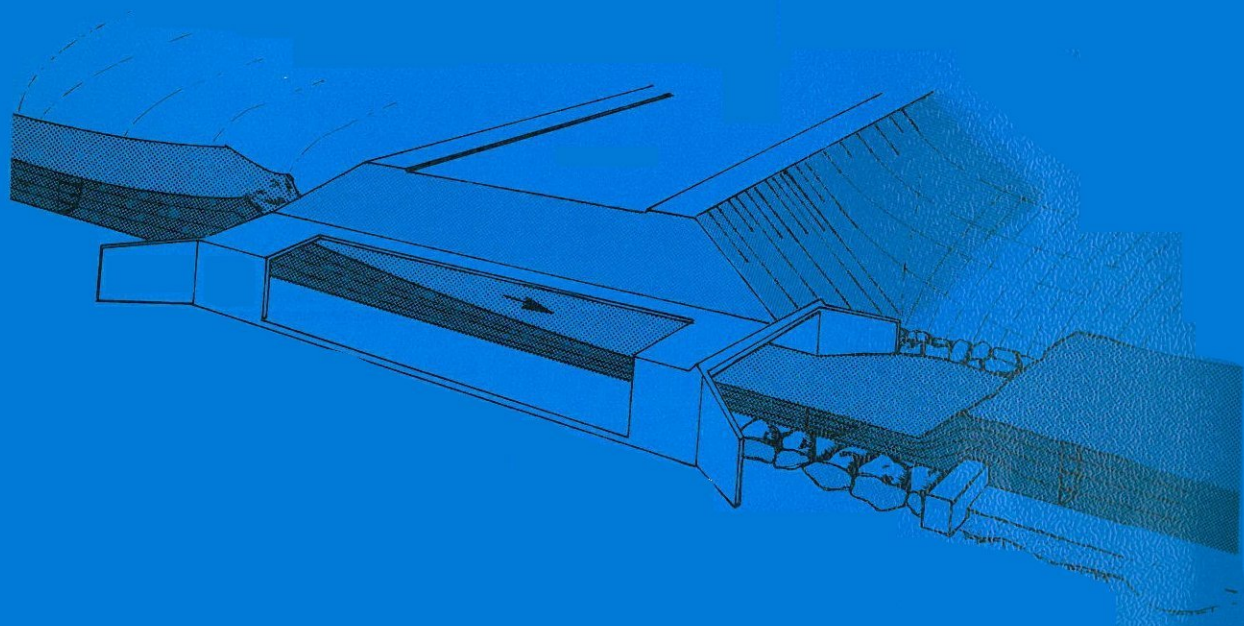


EDB-PROGRAM

VANN

VERSJON 82



STATENS VEGVESEN

EDB-PROGRAM

VANN

VERSJON 82

BRUKERBESKRIVELSE

32



STATENS VEGVESEN

HÅNDBØKENE I STATENS VEGVESEN

Dette er en håndbok i vegvesenets interne håndbokserie - en samling fortløpende nummererte publikasjoner som først og fremst skal tjene som praktiske hjelpemidler for den enkelte tjenestemann ved utførelse av de ulike arbeidsoppgaver innen etaten.

Det er den enkelte fagavdeling innen Vegdirektoratet som har hovedansvaret for utarbeidelse og ajourføring. De daglige fellesfunksjoner som utgivelse av håndbøker fører med seg, blir ivaretatt av det sentrale håndboksekretariatet.

Vegvesenets håndbøker utgis på 3 nivåer:

Nivå 1 - Grå bunnfarge på omslaget - omfatter Lover, Avtaler og Forskrifter som godkjennes av overordnet myndighet eller av Vegdirektoratet etter fullmakt.

Nivå 2 - Oransje bunnfarge på omslaget - omfatter Normaler og Retningslinjer som godkjennes av Vegdirektoratet.

Nivå 3 - Blå bunnfarge på omslaget - omfatter Veiledninger, Lærebøker og Vegdata - som godkjennes av Vegdirektoratets avdelinger.

Veiledning-Beskrivelse eller tegning ment som råd og hjelp ved utførelse av administrative og tekniske aktiviteter.

EDB-program
VANN

Nr. 094 i Vegvesenets håndbokserie
Opplag: 300
Trykk: LOBO, Oslo
ISBN 082-7207-112-6

FORORD

EDB-programmet VANN kan være et hjelpemiddel ved dimensjonering av kanaler og kulverter. Programmet kan bare brukes til hydraulisk dimensjonering av lokale konstruksjonselement (kanaler, kulverter) med ensartede forhold i hele lengderetningen.

Dersom en vil undersøke forholdene i et større strømningsystem, må en selv koble sammen resultatene fra de forskjellige systemelementene.

Programmet ligger på Statens driftssentral. Spørsmål vedrørende programmet kan rettes til Vegdirektoratets bruavdeling.

Vegdirektoratet
Bruavdelingen
Oslo

Ansvarlig avdeling: Bruavdelingen

INNHOLD		Side
1	INNLEDNING	
1.1	Symboler	7
1.2	Anvendelsesområde	7
2	DEFINISJONER OG BEREGNINGSGRUNNLAG	
2.1	Generelt	8
2.2	Normalvannstand, normalhastighet	8
2.3	Spesifikk energi, alternative dybder	9
2.4	Kritisk dybde, kritisk hastighet	10
2.5	Vannstandssprang	10
2.6	Kontrollpunkt, innløps-/utløpskontrollert kulvert	12
2.7	Innløpsdybde	13
2.8	Utløpsdybde,	13
3	DATALINJER	
3.1	Generelt	14
3.2	Definering av prosjekt	14
3.3	Vannføring, bunnhelning	14
3.4	Tverrsnittsdata, ruhet	15
3.5	Kanalstrømningsberegning	17
3.6	Kulvertberegning	17
3.7	Oversikt over datalinjene	20
4	KJØRING AV PROGRAMMET	
4.1	Generelt	21
4.2	Kjøring på Statens driftssentral	21
4.3	Eksempler	21
5	FEILMELDINGER	
5.1	Inngangsdata	27
5.2	Beregningen	27
B	BILAG	
B1	Tabell over Manningtall	28
B2	Tabell over erosjonsfarlige hastigheter	28

1 INNLEDNING

1.1 Symboler

Symboler	Enhet
A vannareal	m ²
b bredde	m
Es spesifikk energi	m
Fr Froude's tall	
I _b bunnhelning	
I _e helning energilinje	
M Mannings tall	m ^{1/3} /s
P våt omkrets	m
Q vannføring	m ³ /s
R hydraulisk radius	m
g tyngdens akselerasjon	m/s ²
v hastighet	m/s
x lengdeaksen	m
y dybde	m
ρ tetthet	kg/m ³

Andre symboler er definert i figurer eller tekst.

1.2 Anvendelsesområde

VANN er et hjelpemiddel til dimensjonering av kanaler og kulverter. Programmet kan enten gjennomføre en kanalstrømningsberegning eller en fullstendig kulvertberegning. Mulige tverrsnitt er lukkede firkanttverrsnitt, sirkulære, lavbygde og trapestverrsnitt. For trapestverrsnitt kan programmet kun utføre kanalstrømningsberegning.

Ved kulvertberegning tar programmet kun for seg selve kulverten. Brukeren må selv vurdere om oppstrøms/nedstrøms forhold er slik at det er meningsfylt å bruke programmet. Spesielle hindringer (krapp sving, store blokker osv.) kan påvirke strømningsforholdene i avgjørende grad. Resultatene fra beregningen kan under slike forhold bli meningsløse.

2 DEFINISJONER OG BEREGNINGSGRUNNLAG

2.1 Generelt

For kanalstrømning beregnes normal og kritisk strømning. Dersom normaldybden er mindre enn kritisk dybde beregnes i tillegg normalstrømningens konjugerte dybde. Det vil si den dybden en får dersom en tvinger fram et vannstandssprang. Resultatene er nyttige i følgende vurderinger:

- Hvilken kapasitet har tverrsnittet?
- Vil strømningen være strykende (overkritisk), preget av stående bølger (nær kritisk) eller rolig (underkritisk)?
- Erosjonsfare
- Sjanse for et vannstandssprang og dermed økende erosjonsfare i sprangområdet.

For kulverter utføres kanalstrømningsberegning. I tillegg undersøkes om strømningen er innløps- eller utløpskontrollert (kfr. 2.6). Hvis den er innløpskontrollert, beregnes innløpsdybden, utløpsstrømningen og konjugert utløpsstrømning. Kulvertberegningen kan brukes i følgende vurderinger.

- Er kulvertens kapasitet tilstrekkelig?
- Er det fare for oversvømmelse?
- Erosjonsfare nedstrøms kulverten

2.2 Normalvannstand; normalhastighet

I en lang kanal med konstant

- vannføring
- tverrsnittsform/areal
- ruhet
- bunnhelning

vil dybden nærme seg normaldybden (y_n) asymptotisk.

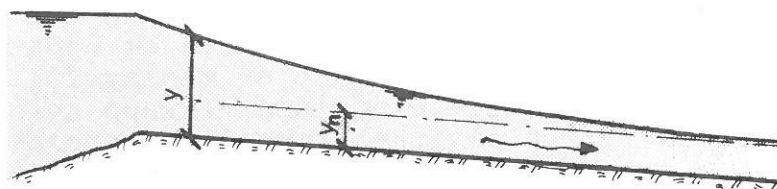
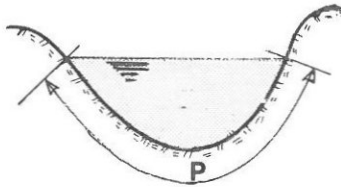


Fig. 1 Strømningsforløp i en kanal med egenskaper som beskrevet i pkt. 2.2

Vannhastigheten som tilsvarer normaldybden, kalles normalhastigheten (v_n). Strømningen benevnes normalstrømning.

Mannings formel gjelder ved normalstrømning:



$$1) \quad V = V_n = MR^{2/3} |S|^{1/2}$$

$$l_e = l_b \quad R = \frac{A}{P}$$

$$b = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (\text{kfr. fig.3})$$

Fig. 2 Våt omkrets

For å beskrive strømningssforholdene mer generelt må en ta i bruk begrepet spesifikk energi.

2.3 Spesifikk energi, alternative dybder

Spesifikk energi E_s er strømningens energi i et gitt snitt. Referansepunkt er kanalbunnen.

Energibetegnelsen blir her brukt noe upresist (kfr. dimensjonene), men knepet letter framstillingen. Ved moderate helninger kan en uttrykke E_s som følger (kfr. fig. 3).

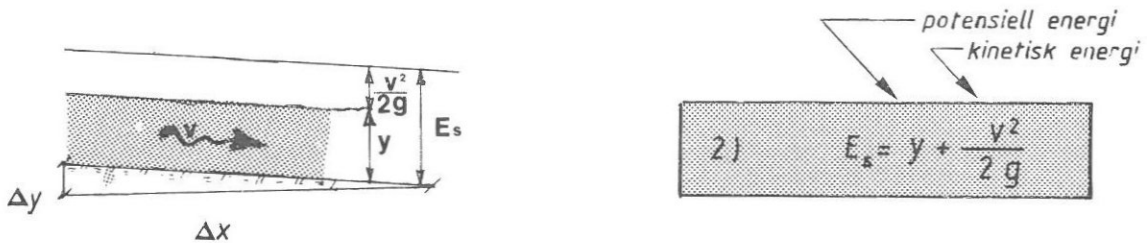


Fig. 3 Spesifikk energi

Likning (2) er framstilt grafisk i figur 4. Det er forutsatt konstant vannføring. En merker seg at for $E_s \neq E_c$ kan vannspeilet ligge på to alternative nivåer.

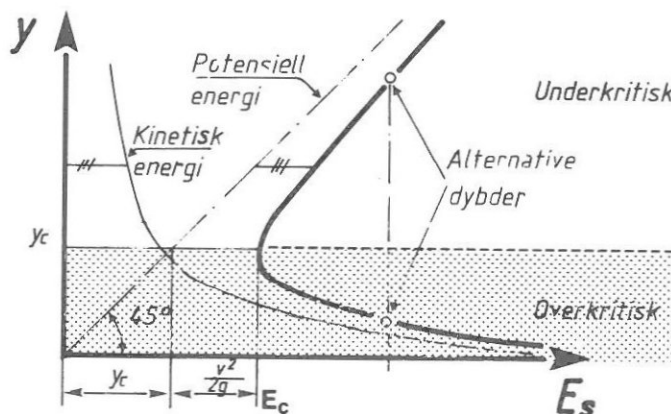


Fig. 4 Sammenheng mellom vanddybde og spesifikk energi (konstant vannføring)

2.4 Kritisk dybde, kritisk hastighet

I fig. 4 merker en seg at E_s har et minimumspunkt $E_{s\min}$ for en gitt dybde y_c , kritisk dybde. Tilsvarende vannhastighet kalles kritisk hastighet v_c . Strømningen kalles i dette tilfellet kritisk strømning.

Derivasjon av likning 2 gir følgende uttrykk:

$$(3) \quad \frac{dE_s}{dy} = 1 - \frac{Q^2 b}{g A^3} \quad \left(b = \frac{A}{y}\right)$$

Faktoren $\sqrt{\frac{Q^2 b}{g A^3}}$ kalles Froude's tall, F_r . Ved kritisk strømning har en

$$F_r^2 = \frac{Q^2 b}{g A^3} = 1$$

Froude's tall kan brukes til å karakterisere strømningsforholdene og et eventuelt vannstandssprang.

En merker seg spesielt at en ved kritisk strømning har en entydig sammenheng mellom vannføring og dybde.

F_r	Karakteristiske forhold
$F_r < 1$	Underkritisk strømning ($v < v_c$, $y > y_c$) Forstyrrelser nedstrøms kan forplante seg oppstrøms.
$F_r > 1$	Overkritisk strømning ($v > v_c$, $y < y_c$) Strømningen er oppstrøms kontrollert Forstyrrelser nedstrøms kan ikke forplante seg oppstrøms

Tabell 1: Sammenheng mellom Froude's tall og strømnings karakter

2.5 Vannstandssprang

I et vannstandssprang går strømningen fra overkritisk til underkritisk strømning. For en gitt spesifikk energi $E_s > E_{s\min}$ ($=E_{\text{kritisk}}$) er det to alternative vanddybder.

I fig. 5 er kurven for E_s knyttet sammen med et vannstandssprang. På grunn av energitapet i spranget, så er dybden etter spranget ikke y_2 men y_3 .

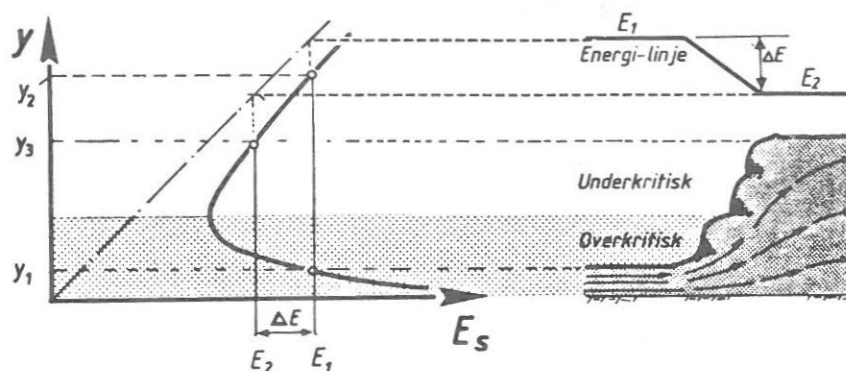


Fig. 5 Energiforhold og dybder i et vannstandssprang

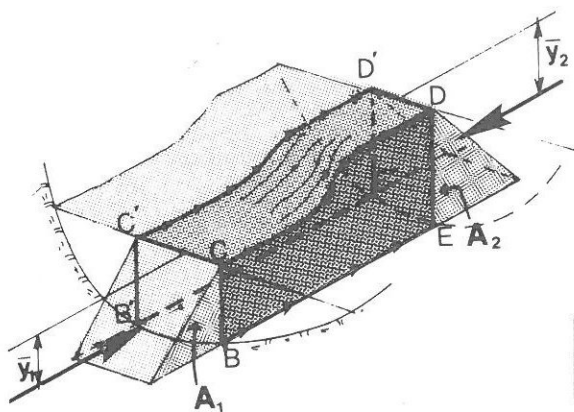
Vannstandsspranget innebærer en brå økning av vanddybden. Vannhastigheten avtar og forholdene nedstrøms et sprang er mindre erosjonsfarlige.

Vannstandssprangets form kan karakteriseres ved hjelp av Froude's tall (kfr. tabell 2).

F_r	Skisse av sprang	Karakteristiske trekk
$0 < F_r < 1,7$		Lite utviklet sprang stående bølger.
$1,7 \leq F_r < 2,5$		Frontbølgen blir brutt. Strømningen relativt rolig med overflateturbulens.
$2,5 \leq F_r < 4,5$		Den overkritiske strømmingen går inn i fronten. Frontvalse og irregulære bølger som kan vedvare nedstrøms spranget.
$4,5 \leq F_r < 9,0$		Markert sprang, stabilt og fritt for bølger.
$F_r > 9,0$		Spranget blir kraftigere og stadig mer turbulent.

Tabell 2: Karakterisering av vannstandssprang ved hjelp av Froude's tall

Sammenhengen mellom oppstrøms og nedstrøms dybde kan finnes ved hjelp av impulsatsen. Definerer en \bar{y} som avstand fra vannspeil til tyngdepunkt i vått areal (kfr. fig. 6), så kan impulsatsen under stasjonære forhold skrives:



$$(4) \quad \frac{Q^2}{g A_1} + A_1 \bar{y}_1 = \frac{Q^2}{g A_2} + A_2 \bar{y}_2$$

Fig. 6 Vannstandssprang

2.6 Kontrollpunkt, innløps-/utløskontrollert kulvert

Punkt med kjent sammenheng mellom vanndybde og vannføring kalles kontrollpunkt. Overgang fra underkritisk til overkritisk strømning er eksempel på kontrollpunkt.

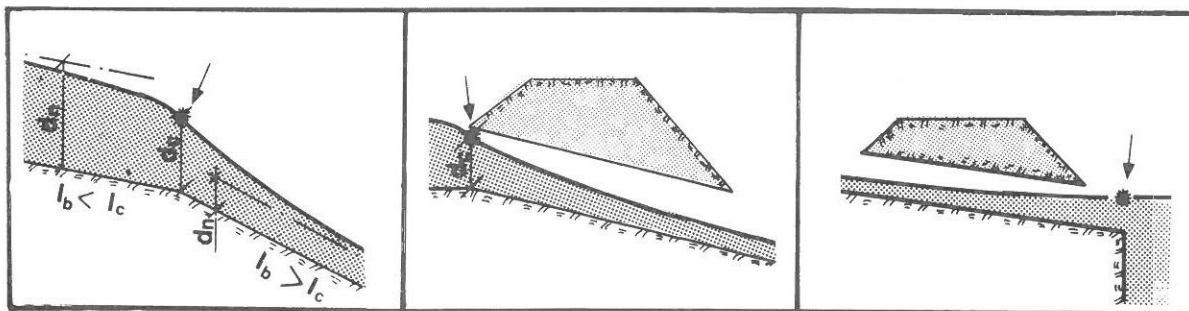


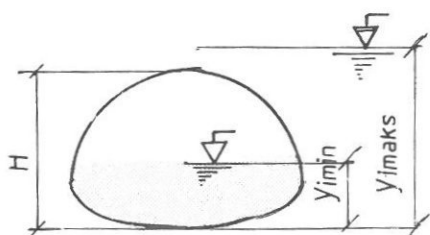
Fig. 7 Eksempel på kontrollpunkt. Kontrollpunktet er merket med ↓

Innløpskontrollert kulvert: Kontrollpunktet ligger i innløpet eller oppstrøms. Det er en entydig sammenheng mellom vannføring og innløpsdybde.

Utløpskontrollert kulvert: Kontrollpunktet ligger nedstrøms kulverten. Innløpsdybde kan ikke angis. Antar en derimot tilnærmet normalstrømning kan en ved hjelp av tapskoeffisienter på bevegelsesenergien anslå stuvningshøyden i innløpet.

2.7 Innløpsdybde

Innløpsdybden for innløpskontrollerte kulverter finnes ved hjelp av empiriske formler. Formlene er på dimensjonsløs form og er konstruert ved hjelp av nomogrammer utgitt av "Us Bureau of Reclamations". Nomogrammene er konstruert etter omfattende forsøk. Formlene har følgende gyldighetsområde:



Tverrsnittstype	Grenser
Lavbygd rør	$0,35 < \frac{y_i}{H} < 1,2$
Sirkulært rør	$0,5 < \frac{y_i}{H} < 1,2$
Firkant	$\frac{y_i}{H} < 1,2$

Fig. 8 Begrensning av innløpsdybde

2.8 Utløpsdybde

Utløpsdybde for innløpskontrollerte kulverter finnes ved å anta at strømmingen er nær kritisk i innløpet. Deretter løses differensiallikningen:

$$(5) \quad \frac{dy}{dx} = \frac{l_b - \frac{v^2}{M^2 R^{4/3}}}{1 - \frac{Q^2 b}{g A^3}} = \frac{l_b - l_e}{1 - F_r^2}$$

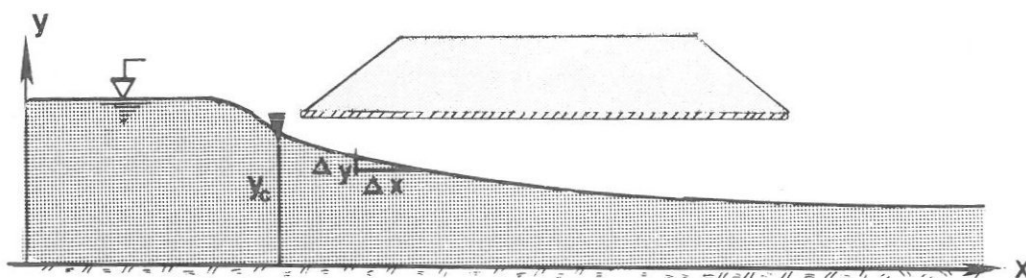


Fig. 9 Strømningsforløp i innløpskontrollert kulvert

Nøyaktighet: Beregningsmetodene som er valgt gir et maksimalt avvik på ± 5 mm for de beregnede dybdene.

3 DATALINJER

3.1 Generelt

Det er fem forskjellige typer datalinjer.

Type	Definering av:	Kodeord
1	prosjekt	PROSJ
2	vannføring, bunnhelning	START
3	tverrsnittsgeometri, ruhet	TRAPES, FIRKANT, SIRKEL og LAVBYGD
4	kulvertlengde, innløp og evt. materiale	KULVERT
5	avslutning av beregningen	STOPP

Data som er gitt i en START-linje gjelder for hele kjøringen eller inntil ny START-linje gis.

Kanalstrømningsberegning bestilles ved å gi en linje av type 3.

Etterfølges en slik linje av en linje type 4, så utfører programmet en fullstendig kulvertberegning.

Maksimalt antall datalinjer er 25.

Innlesningen av data er i fritt format. Som skilletegn brukes enten komma eller mellomrom. Hver linje skal starte med et linjenummer. Linjene kan nummereres fra 0 til 1000.

"Manningtall" er gitt i egen tabell i bilaget (tabell 5).

3.2 Definering av prosjekt

Linjenr	, ,	PROSJ	, ,	tittel inntil 50 tegn
---------	-----	-------	-----	-----------------------

Inntil tre linjer i begynnelsen av et datasett kan benyttes til tekst.

3.3 Vannføring, bunnhelning

Linjenr	, ,	START	, ,	Q	, ,	I _b
---------	-----	-------	-----	---	-----	----------------

Parameter	Enhet	Nedre/Øvre grense
Q	m ³ /s	0,5 - 100
I _b	-	0,005 - 0,100

Det må alltid gis minst en START-linje pr. kjøring og den første må komme like etter den siste PROSJ-linjen. Opplysninger gitt i en START-linje gjelder til ny START-linje gis.

3.4 Tverrsnittdata, ruhet

TRAPES (elv):

Trapec angir at beregningen skal utføres for et trapesformet tverrsnitt. Trapestverrsnittet kan ikke brukes i en kulvertberegning.

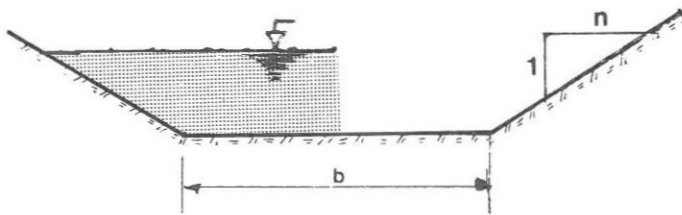


Fig. 10 Definerings av trapes

Linjenr	TRAPES	M	b	n
---------	--------	---	---	---

Parameter	Enhet	Nedre/Øvre grense
M	$m^{1/3}/s$	10 - 100
b	m	0,5 - 100
n		0 - 10000
Q/b	m^2/s	0,1 - 25

FIRKANT:

Firkant angir at beregningen skal utføres for et rektangulært tverrsnitt.

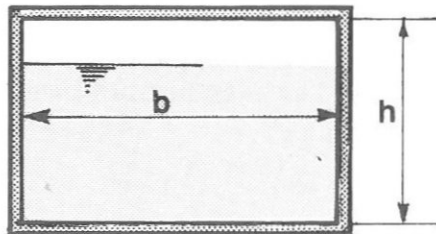


Fig. 11 Definerings av firkanttverrsnitt

Linjenr	FIRKANT	M	b	h
---------	---------	---	---	---

Parameter	Enhet	Nedre/Øvre grense
M		10 - 10
b	m	0,5 - 6,0
h	m	0,3 - 4,0

SIRKEL:

Sirkel angir at beregningen skal utføres for et sirkulært tverrsnitt.

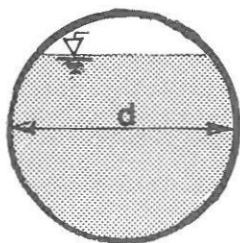


Fig. 12 Sirkulært tverrsnitt

Linjenr	SIRKEL	M	d
---------	--------	---	---

Parameter	Enhet	Nedre/Øvre grense
M	$m^{1/3}/s$	10 - 100
d	m	0,3 - 6,0

LAVBYGD:

Lavbygd angir at beregningen skal utføres for et lavbygd (flatbunnet) rør. Programmet regner med den formen som er angitt nedenfor. Se ellers Bruhåndboka, kap. 17.

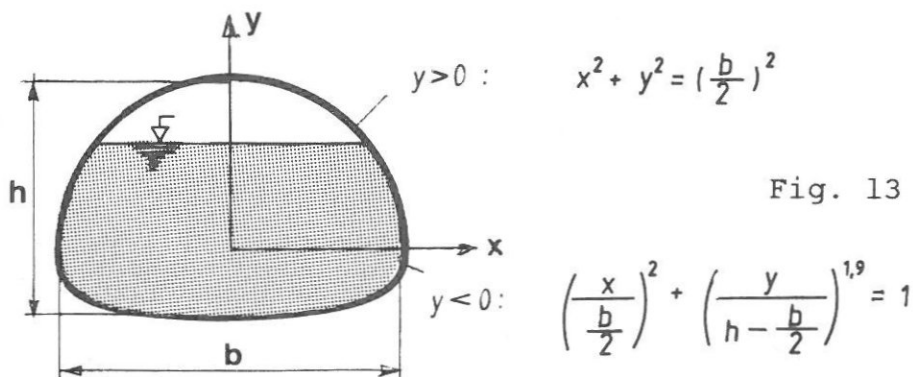


Fig. 13 Lavbygd tverrsnitt

Linjenr	LAVBYGD	M	b	h
---------	---------	---	---	---

Parameter	Enhet	Nedre/Øvre grense	
M	$m^{1/3}/s$	10	- 100
b	m	1,5	- 6,0
h	m	$\min \left[\begin{array}{l} 1 \\ 0,3 + \frac{b}{2} \end{array} \right] - 4,0$	

3.5 Kanalstrømningsberegning

Dersom det ikke gis en "type 4-linje" etter en "type 3-linje" (kfr. 3.1), så utfører programmet en kanalstrømningsberegning, det vil si beregning av normal- og kritisk strømming.

3.6 Kulvertberegning

Kulvert angir at det skal utføres en kulvertberengning. Tverrsnittet er definert på foregående linje. For sirkulære tverrsnitt må materialet angis. For firkant og lavbygde tverrsnitt skal materialet ikke angis.

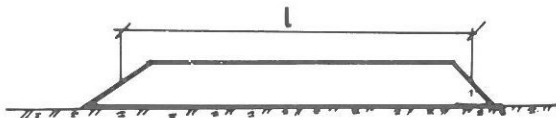


Fig. 14 Kulvertlengde

Linjenr	KULVERT	l	innløpstype
---------	---------	---	-------------

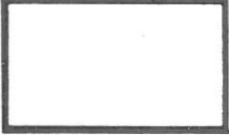
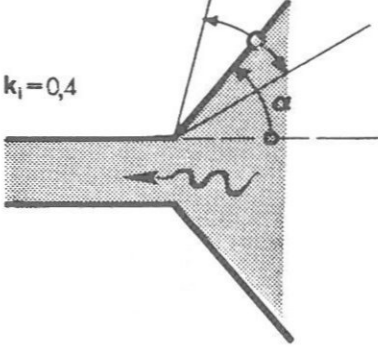

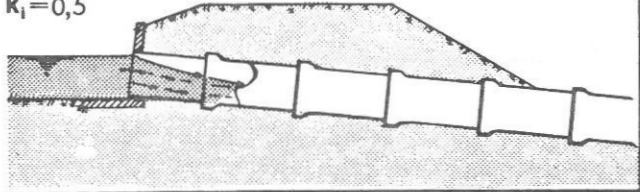
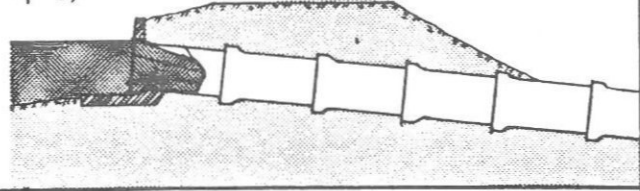
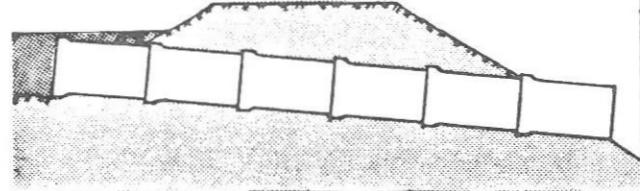
Sirkulære tverrsnitt:

Linjenr	KULVERT	l	innløpstype	materiale
---------	---------	---	-------------	-----------

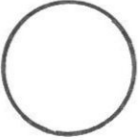
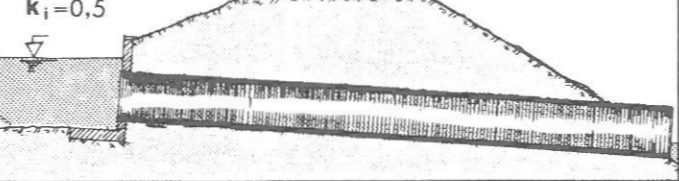

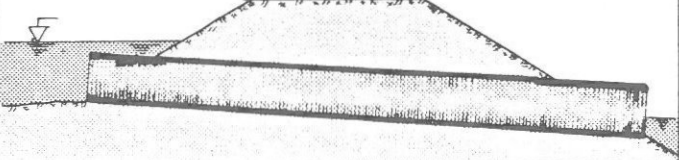


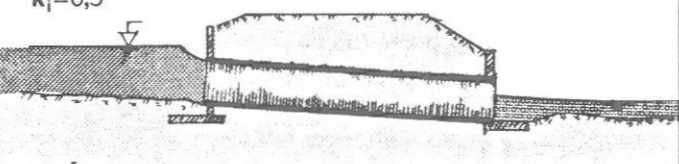
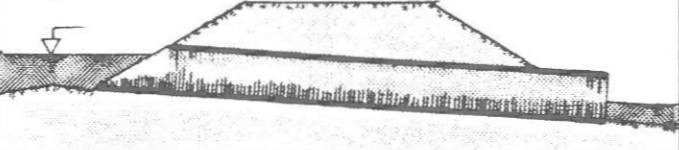

Parameter	Enhet	Nedre/Øvre grense
l	m	0 - 100
Materiale		STAAL/ BETONG

Oversikt over aktuelle innløpstyper ved de ulike tverrsnitt er angitt i tabell 3.

K_i : Tapskoeffisient innløp

TVERRSNITT		INNØPSTYPE
<p data-bbox="326 719 498 801">FIRKANT (REKTANGEL) (BETONG)</p> 	<div data-bbox="592 629 671 667" style="display: inline-block;">$k_i = 0,4$</div>  <div data-bbox="1031 712 1188 741" style="display: inline-block;">$\alpha \in [30^\circ - 75^\circ]$</div>	A
<p data-bbox="330 1420 435 1480">SIRKEL BETONG</p> 	<div data-bbox="592 1301 686 1339" style="display: inline-block;">$k_i = 0,5$</div> <p data-bbox="816 1267 921 1296" style="text-align: center;">Frontmur</p>  <div data-bbox="1303 1368 1329 1397" style="display: inline-block;">A</div>	A
	<div data-bbox="592 1536 686 1574" style="display: inline-block;">$k_i = 0,2$</div> <p data-bbox="722 1514 1000 1543" style="text-align: center;">Muffeende i frontmur</p>  <div data-bbox="1303 1603 1329 1632" style="display: inline-block;">B</div>	B
	<div data-bbox="592 1771 686 1809" style="display: inline-block;">$k_i = 0,2$</div> <p data-bbox="722 1760 1016 1789" style="text-align: center;">Utstikkende muffeende</p>  <div data-bbox="1303 1850 1329 1879" style="display: inline-block;">C</div>	C

Tabell 3

TVERRSNITT		INNLØPS-TYPE
<p data-bbox="310 689 404 743">SIRKEL STAAL</p> 	<p data-bbox="536 465 624 497">$k_i=0,5$</p> <p data-bbox="755 443 865 474">Frontmur</p> 	A
	<p data-bbox="536 689 624 721">$k_i=0,7$</p> <p data-bbox="686 689 969 721">Formet etter skråning</p> 	B
	<p data-bbox="536 902 624 934">$k_i=0,9$</p> <p data-bbox="686 902 937 934">Utstikkende rørende</p> 	C
	<p data-bbox="567 1115 598 1146">$\frac{d}{25}$</p> <p data-bbox="536 1205 630 1236">$k_i=0,25$</p> <p data-bbox="749 1124 906 1155">Konisk ring</p> 	D
<p data-bbox="294 1482 420 1514">LAVBYGD</p> 	<p data-bbox="536 1346 624 1377">$k_i=0,5$</p> <p data-bbox="755 1332 865 1364">Frontmur</p> 	A
	<p data-bbox="536 1563 630 1594">$k_i=0,7$</p> <p data-bbox="686 1563 969 1594">Formet etter skråning</p> 	B
	<p data-bbox="536 1776 630 1807">$k_i=0,9$</p> <p data-bbox="686 1776 937 1807">Utstikkende rørende</p> 	C

Tabell 3 forts.

Avslutning av beregningen

Linjenr , STOPP

3.7 Oversikt over datalinjene

Linjetype	Aktuelle linjer
1	Linjenr , PROSJ , tittel med max 50 karaterer
2	Linjenr , START , Q , I_b ,
3	Linjenr , TRAPES , M , b , n Linjenr , FIRKANT , M , b , h Linjenr , SIRKEL , M , d Linjenr , LAVBYGD , M , b , h
4	Linjenr , KULVERT , l , innløpstype Linjenr , KULVERT , l , innløpstype , materiale
5	Linjenr , STOPP

Tabell 4

4 KJØRING AV PROGRAMMET

4.1 Generelt

Det vises til "Brukerbeskrivelse 20, Bruprogram generelt".

4.2 Kjøring på "Statens driftssentral"

VANN 82 ligger på Vegdirektoratets bruavdelings programlager (VBA). Data lagres under fritt valgt filnavn. Programmet eksekveres ved hjelp av følgende ordre

FRN VBA/VANN 82, R # filnavn "05".

4.3 Eksempler

På en ny vegparsell skal det prosjekteres to nye kulverter A og B. Innvendig høyde i kulvert A er på grunn av vegens planum begrenset til 2 m. Lengden anslås til 10 m og maksimal vannføring er beregnet til $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Følgende to muligheter ønskes undersøkt:

- Lavbygd rør med bredde 3 m og høyde 2 m. Innløp: B (Kfr. tabell 3)
- Kulvert med bredde 3 m og høyde 2 m. Innløp: A

For å vurdere muligheten for vannstandssprang er vi også interessert i normaldybden i elveløpet som har en tilnærmet trapesform med bunnbredde 3 m og sideskråning 1:2. "Manningtallet" er anslått til 30. For hele elveløpet inkludert kulverten er helningen 0,01. Fig. 15 illustrerer aktuelle løsninger og utgangsbetingelser.

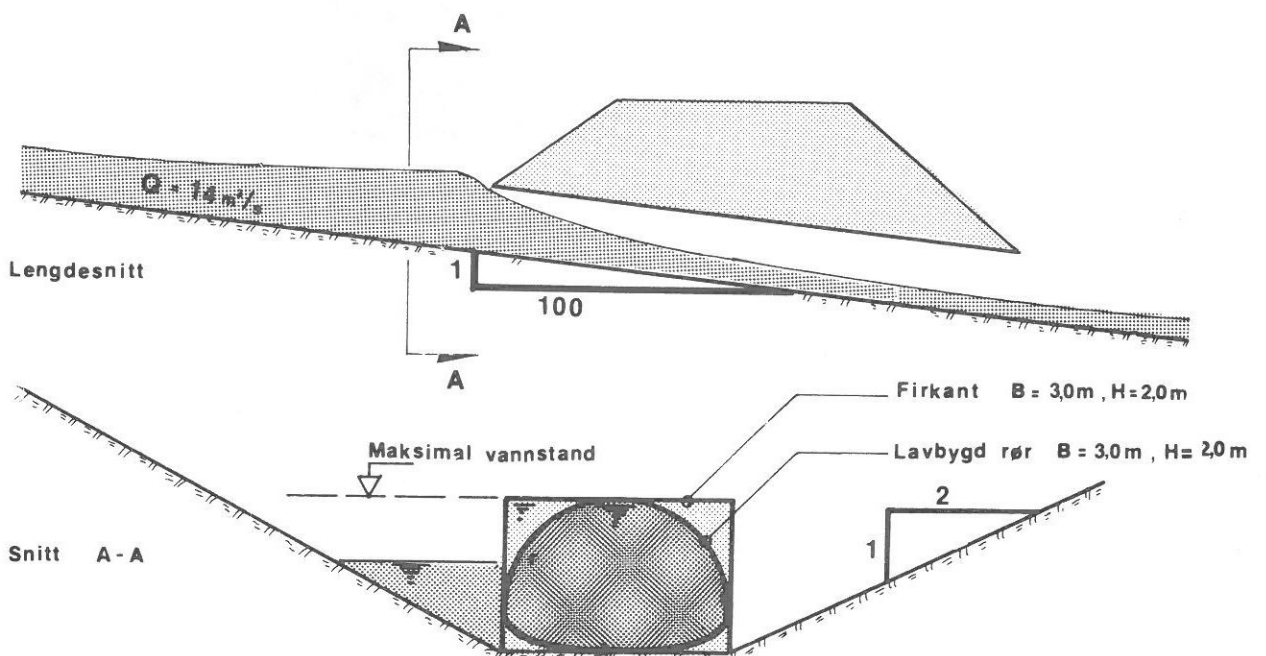


Fig. 15 Kulvert A

Dimensjonerende vannføring i kulvert B er $32 \text{ m}^3/\text{s}$. Lengden er ca. 10 m. Elveløpets helning er 0,025. "Manning-tallet" er anslått til 25. Elveløpet har trapesform med bunnbredde 3 m og sideskråning 1:4. Følgende kulvertløsninger vurderes:

- a Betongkulvert med bunnplate bredde 3 m, høyde 3 m. Innløp: A
- b Betongkulvert med bunnplate bredde 4 m, høyde 3 m. Innløp: A
- c Sirkulært korrovert rør med diameter 3,2 m. Innløp: B
- d Sirkulært korrovert rør med diameter 3,8 m. Innløp: B

Fig. 16 viser aktuelle løsninger og utgangsbetingelser.

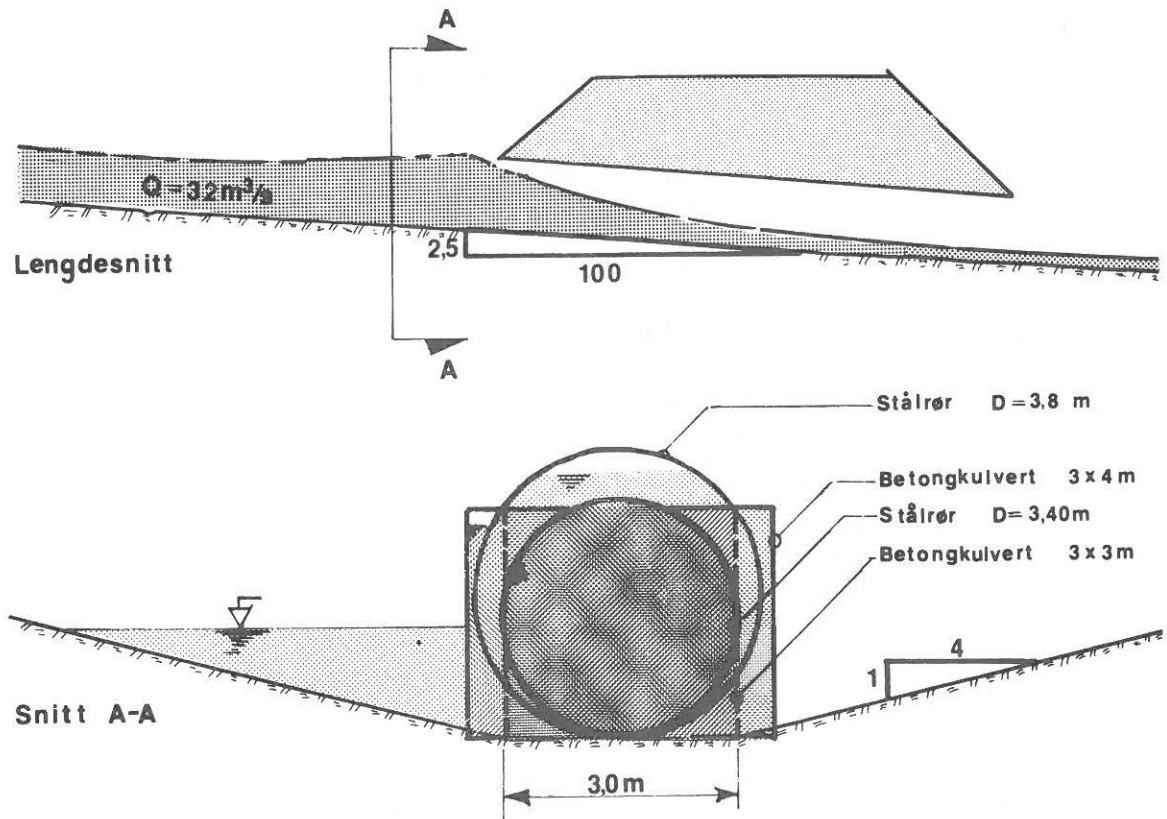


Fig. 16 Kulvert B

KULVERT LAVBYGD RØR
 BREDDER : 3.00 M.
 HØYDE : 2.00 M.
 LENGDE : 10.00 M.
 INNLOP : B

VANNFØRING : 14.00 KBM/S
 BUNNHELLING : 0.010
 MANNINGS TALL : 40.0

	DYBDE (M)	HASTIGHET (M/S)	BEVEG. ENERGI (M)	FROUDE-TALL
NORMAL STRØMNING	=	FRISPEILSSTRØMNING TVILSOMT IFULL = 0.0114 TVERRSNITTET MÅ ØKES		
KRITISK STRØMNING	=	1.38	3.84	0.75
				1.0

=====

KULVERT FIRKANT
 BREDDER : 3.00 M.
 HØYDE : 2.00 M.
 LENGDE : 10.00 M.
 INNLOP : B

VANNFØRING : 14.00 KBM/S
 BUNNHELLING : 0.010
 MANNINGS TALL : 80.0

	DYBDE (M)	HASTIGHET (M/S)	BEVEG. ENERGI (M)	FROUDE-TALL
NORMAL STRØMNING	=	0.87	5.37	1.47
KRITISK STRØMNING	=	1.30	3.58	0.65
INNØPSDYBDE	=	2.24		
UTØPSSTRØMNING	=	1.11	4.22	0.91
KONJUGERT UTØPSSTR.	=	1.53	3.06	0.48
				1.8
				1.0

=====

TRAPES BUNNBR.
 SIDEH. : 3.00 M.
 : 2.0:1

VANNFØRING : 14.00 KBM/S
 BUNNHELLING : 0.010
 MANNINGS TALL : 30.0

	DYBDE (M)	HASTIGHET (M/S)	BEVEG. ENERGI (M)	FROUDE-TALL
NORMAL STRØMNING	=	1.11	2.42	0.30
KRITISK STRØMNING	=	1.03	2.68	0.37
				0.9
				1.0

=====

KULVERT FIRKANT
 BREDE : 3.00 M.
 HØYDE : 3.00 M.
 LENGDE : 10.00 M.
 INNLOP : A

VANNFØRING : 32.00 KBM/S
 BUNNHELLING : 0.025
 MANNINGS TALL : 80.0

	DYBDE (M)	HASTIGHET (M/S)	BEVEG. ENERGI (M)	FROUDE-TALL
NORMAL STRØMNING	= 1.13	9.44	4.55	2.8
KRITISK STRØMNING	= 2.26	4.71	1.13	1.0

◆◆KULVERTEN HAR FOR LITEN INNLOPSKAPASITET.
 ØK TVERRSNITTET.

=====

KULVERT FIRKANT
 BREDE : 4.00 M.
 HØYDE : 3.00 M.
 LENGDE : 10.00 M.
 INNLOP : A

VANNFØRING : 32.00 KBM/S
 BUNNHELLING : 0.025
 MANNINGS TALL : 80.0

	DYBDE (M)	HASTIGHET (M/S)	BEVEG. ENERGI (M)	FROUDE-TALL
NORMAL STRØMNING	= 0.88	9.11	4.23	3.1
KRITISK STRØMNING	= 1.87	4.28	0.93	1.0
INNLOPSDYBDE	= 2.88			
UTLOPSSTRØMNING	= 1.45	5.51	1.55	1.5
KONJUGERT UTLOPSSTR.	= 2.36	3.39	0.59	0.7

=====

KULVERT SIRKEL
 DIAM. : 3.20 M.
 LENGDE : 10.00 M.
 INNLOP : B
 MATER. : STAAL

VANNFØRING : 32.00 KBM/S
 BUNNHELLING : 0.025
 MANNINGS TALL : 40.0

	DYBDE (M)	HASTIGHET (M/S)	BEVEG. ENERGI (M)	FROUDE-TALL
NORMAL STRØMNING	= 2.03	5.95	1.80	1.4
KRITISK STRØMNING	= 2.44	4.87	1.21	1.0

◆◆KULVERTEN HAR FOR LITEN INNLOPSKAPASITET.
 ØK TVERRSNITTET.

=====

KULVERT SIRKEL DIAM. : 3.80 M.
 LENGDE : 10.00 M.
 INNLOP : B
 MATER. : STAAL

VANNFØRING : 32.00 KBM/S
 BUNNHELLING : 0.025
 MANNINGS TALL : 40.0

	DYBDE (M)	HASTIGHET (M/S)	BEVEG. ENERGI (M)	FROUDE-TALL
NORMAL STRØMNING	= 1.81	6.00	1.83	1.6
KRITISK STRØMNING	= 2.33	4.39	0.98	1.0
INNLOPSDYBDE	= 3.47			
UTLØPSSTRØMNING	= 2.02	5.21	1.38	1.3
KONJUGERT UTLØPSSTR.	= 2.67	3.76	0.72	0.8

=====

TRAPES BUNNR. : 3.00 M.
 SIDEH. : 4.0:1

VANNFØRING : 32.00 KBM/S
 BUNNHELLING : 0.025
 MANNINGS TALL : 25.0

	DYBDE (M)	HASTIGHET (M/S)	BEVEG. ENERGI (M)	FROUDE-TALL
NORMAL STRØMNING	= 1.24	3.25	0.54	1.2
KRITISK STRØMNING	= 1.35	2.84	0.41	1.0
KONJUGERT NORMALSTR.	= 1.46	2.48	0.31	0.8

◆BYE

◆◆COST: KR 10.27 TO DATE: KR10362.00= 52%

◆◆ON AT 11.797 - OFF AT 11.941 ON 01/29/81

5 FEILMELDINGER

5.1 Inngangsdata

Programmet kontrollerer inngangsdata. Det blir undersøkt om det forutsettes data som ikke er gitt (eks. manglende START-linje), om det er en tilstrekkelig mengde data og om de data som er gitt er rimelige og lovlige. Meldingene er selvforklarende.

5.2 Beregningen

● FRISPEILSTRØMNING TVILSOMT

$$I_{full} = nnn$$

TVERRSNITTET MÅ ØKES

Programmet forutsetter at strømmingen i lukkede tverrsnitt skal ha fritt vannspeil. For å kunne garantere dette må kulverten minst ha en bunnhelning som tilsvare falltapet på grunn av friksjon ved fullt tverrsnitt (I_{full}). Når dette ikke er oppfylt, kommer utskriften ovenfor.

● FOR LITE TVERRSNITT

Dersom kritisk strømming ikke er mulig å oppnå eller bare oppstår for strømming med dybde svært nær høyden av tverrsnittet, blir denne meldingen skrevet ut.

● KULVERTEN HAR FOR LITEN INNLØPSKAPASITET. ØK TVERRSNITTET.

Innløpsdybden overstiger tverrsnittshøyden med mer enn 20% ($y_i/H_i > 1.2$ kfr. fig. 9). Frispeilsstrømming i kulverten kan ikke garanteres.

● KONJUGERT DYBDE TILSVARER UTVENDIG DYBDE SOM GIR VANNSTANDS-SPRANG LIKE FØR KULVERTENS MUNNING. KULVERTEN FYLLES. STØRRE DYBDER VIL GI VANNSTANDS-SPRANG LENGRE INNE I KULVERTEN.

Dersom vannstanden i kulvertutløpet ikke blir høyere enn den beregnede konjugerte dybde, vil vannstandssprang ikke opptre i kulverten.

Dersom vannstanden blir høyere vil vannstandssprang opptre inne i kulverten og kulverten fylles.

Hastigheter og bevegelsesmengder som oppgis sammen med denne meldingen refererer til fullt tverrsnitt.

B BILAG

B1 Tabell over "Mannings" tall

Konstruksjonstype	Karakteristiske bunnforhold, materiale etc.	$M \left[\frac{1}{m} \frac{1}{s}^{-1} \right]$
Bekker/ Elver	Jord, uten tilgroing, jevn elvebunn/kurvatur	40-50
	Jord uten tilgroing, kulper, ujevn kurvatur	20-30
	Jord med groe, kulper, etc.	7-20
	Grus uten groe, jevn kurvatur, uten kulper Steinstørrelse: 75 mm < d < 150 mm	25-35
	Grus uten groe, ujevn kurvatur, kulper Steinstørrelse: 75 mm < d < 150 mm	15-25
	Grus med avrunda blokker/rullestein d > 150 mm (fjellelver)	15-25
Primitive kanaler	Jordbunn, jevn god kurvatur, jevn bunn	40-55
	Jordbunn, steinet, ujevn overflate	25-40
	Steinbunn, blokker	20-40
Forseggjorte kanaler Jevn overflate	Betong	60-80
	Plastret/murt bunn, tilhoggen stein	50-80
	Plastret	30-40
Betong kulverter med bunnplate		80
Betongkulverter uten bunnplate		30-40
Korrogerte stålrør		40-45

Tabell 5 Manningtall for en del elvetyper

B2 Erosjonsfarlige hastigheter

For vannhastigheter større enn som er angitt i tabell 6 må en granske faren for erosjon.

Materiale	Gjennomsnittshastighet m/s
Finsand, silt	0,3 - 0,5
Leirig jord	0,5 - 0,8
Graskledd jord	0,5 - 1,2
Feit leire	0,8 - 1,2
Morene-leire	1,0 - 1,2
Grus, fast grastorv	1,0 - 1,5
Småstein	1,2 - 2,0
Steinsetting, betongkledning	2,0 - 5,0

Tabell 6 Erosjonsfarlige hastigheter

**BRU-EDB-PROGRAM FOR STATIKK-
DIMENSJONERING- OG GEOMETRI-
BEREGNING**

Årstall angir utgivelsen av bruker-
beskrivelse

20	Bruprogram generelt		1980
21	Bjelke/kassebru fritt frembygg	COBE	1980
22	Bjelke/kassebru, snittkrefter	COBE/VI	1973
23	Bjelkebru, stål- dimensjonering	COBE/ST	1980
24	Kont. skjeve platebru-snittkr.	BRO 21	1976
25	Et spenns plate-/bjelke- bru-snittkr.	PLABE (BRO 2)	1980 (1973)
26	Pelegr.-pelekr.	PEL	1979
27	Søyler-dimensj.	DIMBET	1982
28	Beregn. av spenn- betongbjelke	PREBET	1975
29	Beregn. av spunt- vegg	SPUNT	1973
30	Beregn. av kulv.	KULVER	1978
31	Svingningsberegn. på utkr. arm	VIND	1976
32	Vanngj.løp i rør	VANN	1982
33	Beregn. av mass. landkar	MASIV	1978
34	Geometriberegn. av bruer	GEOBRU	1979
35	Tegn. av bruer og brusnitt	BRUTEGN	1977