

# Evaluering av kulvertdata fra Bane NOR og Statens vegvesen

Av Joel Gianni, Vegard Nilsen, Joakim Sellevold og Lars Molstad

Joel Gianni (M.Sc) er sivilingeniør fra NMBU og jobber i Bane NOR.

Vegard Nilsen (Ph.D) er post.dok. ved NMBU.

Joakim Sellevold (M.Sc) er Ph.D-kandidat ved NTNU og jobber i Statens vegvesen.

Lars Molstad (M.Sc) er Ph.D-stipendiat ved NMBU.

## Summary

*Assessment of culvert data from Bane NOR and the Norwegian Public Roads Administration.* Culverts have an important function of transporting water through roads and railways, but increased precipitation due to climate change is challenging their capacity. Most culverts are associated with small catchments, and this makes them particularly sensitive to short rainfall events. When the culvert capacity is exceeded, major damage can result. Therefore, knowledge of culvert capacity is useful for identifying culverts at risk. For that purpose, complete culvert data registers are important for assessing risk and taking measures. The aim of this work has been to analyze the culvert registers of Bane NOR containing 15,578 culverts and the Norwegian Public Roads Administration containing 554,127 culverts and assess the proportion of culverts for which a hydraulic capacity assessment can be made for inlet and outlet control conditions. While the registers contain a lot of useful data, the analysis shows poor completeness for certain important physical attributes. Changes and extensions to the existing registers are suggested.

## Sammendrag

Kulverter har en viktig funksjon i å lede vann på tvers av veg og jernbane, men økt og mer intens nedbør pga. klimaendringer utfordrer kapasiteten. De fleste kulverter er tilknyttet små nedbørsfelt og det gjør dem spesielt følsomme for kortvarige regnhendelser. Når kulvertkapasiteten blir oversteget, kan det føre til store skader. Derfor er kunnskap om kulvertkapasitet nyttig for å avdekke de mest utsatte kulvertene. Man er da avhengig av komplette registre for å kunne risikovurdere kulvertene og gjøre eventuelle klimatilpasningstiltak. Målet med arbeidet har vært å se på innholdet i kulvertregistrene til Bane NOR (15 578 kulverter) og Statens vegvesen (554 127 kulverter), og vurdere hvor stor andel av kulvertene man kan gjøre en hydraulisk kapasitetsvurdering av ved strømming med enten inn- og utløpskontroll. Selv om registrene inneholder mye nyttig informasjon, er flere hydraulisk relevante attributter (egenskaper) ikke registrert godt nok. Det foreslås endringer og utvidelser i dagens registre.

## Symbolliste

$A$  = Tverrsnittsareal [ $m^2$ ]

$C_{0,5}$  = Koeffisient [ $s^2/ft$ ]

$D$  = Rørdiameter [m]

$H_w$  = Energinivå [m]

$K_v$  = Konverteringsfaktor (1.811) [ $ft^{0.5}/m^{0.5}$ ]

$Q$  = Vannføring [ $m^3/s$ ]

$\Delta H$  = Energitap [m]

$n$  = Manningstall [ $s/m^{1/3}$ ]

$L$  = Kulvertens lengde [m]

$R$  = Hydraulisk radius [m]

$V$  = Gjennomsnittlig strømningshastighet [m/s]

$V_d$  = Gjennomsnittlig strømningshastighet nedstrøms [m/s]

$V_o$  = Gjennomsnittlig strømningshastighet i utløpet [m/s]

$g$  = Gravitasjonskonstanten (9,81) [ $m/s^2$ ]

## Innledning

*Kulvert* og *stikkrenne* er gjennomløp som hovedsakelig brukes for å lede vassdrag på tvers av veg eller jernbane (NVE, 2022). Statens vegvesen (SVV) og Bane NOR bruker begrepene *kulvert* og *stikkrenne* noe forskjellig avhengig av dimensjon, men i denne artikkelen er *kulvert* benyttet for alle gjennomløp. Kulverter har en veldig viktig funksjon for samferdselsinfrastruktur, men blir også sterkt påvirket av økt og mer intens nedbør som følger med klimaendringene. De fleste kulverter under veg og jernbane er tilknyttet små nedbørsfelt, som av NVE ofte defineres som felt opp til ca. 50 km<sup>2</sup> (NVE, 2015). Små nedbørsfelt har kort responstid og er dermed følsomme for kortvarige regnhendelser og intense snøsmeltings-perioder, dvs. hendelser som er forventet å bli særlig påvirket av klimaendringer (Norsk klimaservicesenter, 2019). Derfor er risikovurdering av dagens kulverter, særlig i små og mellomstore felt, viktig.

Bane NOR og SVV, som har ansvar for registrering og/eller drift av en betydelig andel av kulverter som finnes i Norge, opplyser at man har dårlig kjennskap til den hydrauliske kapasiteten for hver enkelt av dagens kulverter. Om man ønsker å kartlegge kapasiteten til eksisterende kulverter, er det viktig med gode registre slik at vi kjenner til kulvertegenskapene (dimensjon, form, helning osv.) som trengs for å kunne estimere kapasiteten. Bane NOR og Statens vegvesen har slike registre i dag, men det er uklart i hvilken grad de inneholder de nødvendige egenskapsdataene.

Formålet med dette arbeidet er å gå gjennom innholdet og datatilgjengeligheten i Bane NORs og SVVs kulvertregistre, og vurdere hvor stor andel av kulvertene som har nok data knyttet til seg for å gjøre en kapasitetsvurdering, og deretter anbefale endringer i registreringsrutiner.

## Kulverthydraulikk og dimensjoneringspraksis

Når vi bruker begrepet *hydraulisk kapasitet* om en kulvert sikter vi til sammenhengen mellom vannføringen  $Q$  gjennom kulverten og vanndybden  $H_w$  oppstrøms kulvertinnløpet. For en gitt kulvert er det slik at jo høyere vannføringen er, jo høyere vil vannstanden oppstrøms innløpet være. En kulverts kapasitet, dvs.  $Q - H_w$ -sammenhengen, kan være bestemt av forhold ved kulvertinnløpet alene (såkalt innløpskontroll) eller ved forhold ved hele kulverten (såkalt utløpskontroll), se Tabell 1. Bratte, korte kulverter der også vanndybden i vassdraget nedstrøms er liten vil ha en tendens til å være innløpskontrollerte og vice versa. Tradisjonelt har man i Norge forsøkt å bygge kulverter som er innløpskontrollerte og har fritt (ikke dykket) innløp ved dimensjonerende flom (Statens vegvesen, 2014).

Ved utløpskontrollerte kulverter er det behov for mer informasjon for å kunne beregne kapasiteten enn for innløpskontrollerte kulverter. En og samme kulvert kan imidlertid vekse mellom å være innløpskontrollert og utløpskontrollert, avhengig av vannføringen og nedstrøms forhold i vassdraget. Det er også slik at selv om en

Tabell 1. Forhold som påvirker hydraulisk kapasitet for en kulvert. Kilde: V240, 2020.

Forhold	Innløpskontroll	Utløpskontroll
Innløpets utforming	x	x
Innløpets størrelse/dimensjon	x	x
Utløpets utforming		x
Kulvertens tverrsnitt		x
Kulvertens ruhet		x
Nedstrøms strømningsforhold		x



Figur 1. Viser innløpstyper: Avskåret, utstikkende og front/vingemur. Kilde: FHWA (2012).

kulvert er innløpskontrollert ved en viss vannføring, trenger man likevel informasjon om (særlig) kulvertens helning og nedstrøms vann- dybde for å faktisk kunne avgjøre om kulverten vil være innløps- eller utløpskontrollert. Altså er det viktig med komplette dataregistre, også for kulverter som normalt er innløpskontrollerte.

Dimensjonering av kulverter innebærer å bestemme dimensjonerende vannføring fra nedbørfeltet oppstrøms kulverten og deretter velge en dimensjon og utforming som holder oppstrøms vannivå på et akseptabelt nivå ved dimensjonerende flom. Gjentetting og erosjonsfare er også forhold som må hensyntas (Fergus, T. m.fl., 2010).

Retningslinjer for dimensjonering av kulverter er beskrevet i Statens vegvesen i håndbok V240 (Statens vegvesen, 2020). Formelverket for hydrauliske beregninger i V240 er i stor grad basert på amerikanske *Federal Highway Administration* (FHWA) sine retningslinjer (FHWA, 2012), og er også implementert i programvaren HY-8 (FHWA, 2021), som er åpent tilgjengelig.

Innløpsutformingen er av stor betydning for hydraulikken, særlig for innløpskontrollerte kulverter. Innløpsutformingen kan defineres av tre parametere:

1. Type (f.eks. avskåret, utstikkende, front/vingemur som vist i Figur 1)
2. Kantutforming
3. Tverrsnittsform- og areal (sirkulær, rektangulær osv.)

Formelverket i V240/FHWA krever at man definerer type innløp for kulverten, og det er derfor viktig at innløpsutformingen er registrert på relevant måte i kulvertregistrene.

For innløpskontroll gjelder formel (1) som vist under. Det er verdt å merke seg at hver enkelt innløpsutforming har egne, unike verdier for koeffisientene  $C_0 - C_5$ . Her er det benyttet formelen for HY-8 for å illustrere. Denne formelen blir også benyttet i *Hydraulic Design of Highway Culverts - HDS-5* (Schall et al. 2012). Formel (1) gir samme resultat som andre formeler for innløpskontroll.

$$\frac{H_W}{D} = C_0 + C_1 \left[ \frac{K_u Q}{AD^{0,5}} \right] + C_2 \left[ \frac{K_u Q}{AD^{0,5}} \right]^2 + C_3 \left[ \frac{K_u Q}{AD^{0,5}} \right]^3 + C_4 \left[ \frac{K_u Q}{AD^{0,5}} \right]^4 + C_5 \left[ \frac{K_u Q}{AD^{0,5}} \right]^5 \quad (1)$$

For utløpskontroll gjelder formel (2) som er vist under. Energitapet ved innløpet beskrives av det første leddet, og hver enkelt innløpsutforming har en egen verdi (singulærtapskoeffisient) for  $k_e$ . Det andre leddet er friksjonstapet gjennom kulverten, mens det siste leddet endrer seg med utløpets utforming og tar hensyn til hastighetsforskjell mellom utløpet og nedstrøms hastighet.

$$\Delta H = \left( k_e \frac{V^2}{2g} \right) + \left( 19,63 \frac{n^2 L}{R^{4/3}} \frac{V^2}{2g} \right) + \left( \frac{V_0^2}{2g} - \frac{V_d^2}{2g} \right) \quad (2)$$

**Forskningsspørsmål**

1. Hva er dekningsgraden for de ulike kulvertattributtene i registrene og hvilke tallverdier er de vanligste for disse attributtene?
2. Hvor mange kulverter har registrert attributter i tilstrekkelig kombinasjon til å kunne gjøre en kapasitetsberegning ved henholdsvis innløpskontroll og utløpskontroll?
3. Hvilke attributter bør man fokusere på å samle inn data for hvis man skal få mest mulig nytte ut av ytterligere data-innsamling?
4. Hvilke endringer i registreringsrutiner kan anbefales?

**Metode**

**Datainnhenting og databehandling**

Bane NOR registrerer sine kulverter i dataregisteret BaneData, mens SVV registrerer sine i Nasjonal vegdatabank (NVDB). Denne studien baserer seg på data hentet fra BaneData 27.01.2021 (15 578 kulverter) og fra NVDB 12.02.2021 (554 127 kulverter). Dataene ble analysert ved hjelp av Excel i starten for å få en rask oversikt før de ble videre behandlet i Python.

**Forarbeid og analyse**

Før analysen av dataene ble det gjennomført et forarbeid for å sjekke at alle kulverter som var registrert var unike, og det ble definert hva som er gyldige verdier i registrene. Attributter med tallverdi (for eksempel bredde) der tallverdien var registrert som 0 ble behandlet som tomme/manglende data. Forarbeidet viste også at en del attributter hadde unaturlig stor variasjon i størrelsen på registrerte tallverdier, noe som kan tyde på at enhetsbruken ikke har vært konsekvent. Det er ikke gjort noen korreksjon for dette.

**Fysiske attributter og hydraulisk relevante attributter**

Kulverter i BaneData har 55 attributter hvorav 16 kan defineres som «fysiske attributter» og 39 som «administrative attributter», mens kulverter

Tabell 2. Hydraulisk relevante attributter i dataregistrene til Bane NOR og SVV. Navn og skrivemåte for attributtene er hentet direkte fra registrene – derfor er de noe ulike for Bane NOR og SVV.

Fysisk egenskap	Attributter i BaneData	Attributter i NVDB
Innløpets utforming	Geometrisk utforming innløp	TVERRSNITTSFORM
Innløpets dimensjon	Bredde åpning innløp (mm) og Høyde åpning innløp (mm) [For rektangulære]	BREDDE, INNVENDIG og HØYDE, INNVENDIG [For rektangulære] eller DIAMETER, INNVENDIG [For sirkulære]
Utløpets utforming	Geometrisk utforming utløp	TVERRSNITTSFORM
Kulvertens lengde	Lengde (m)	LENGDE
Kulvertens ruhet	Materialtype innløp	MATERIALTYPE
Kulvertens helning	[registreres ikke i dette registeret]	HELNING/FALL eller GEOMETRI, LINJE

i NVDB har 68 attributter hvorav 22 kan defineres som «fysiske attributter» og 46 som «administrative attributter». De fysiske attributtene som gir direkte informasjon om egenkapene som er listet opp i Tabell 1 er her kalt «hydraulisk relevante attributter», og er vist i Tabell 2.

### Analyse av dataregistrene

Det ble gjort en analyse av dekningsgraden til de fysiske attributtene i dataregistrene, altså hvor mange/stor andel av kulvertene som har registrert en gyldig verdi for de ulike attributtene. Videre ble det gjort en analyse av hvilke verdier som er de vanligst registrerte for de hydrauliske relevante attributtene. Til slutt ble det gjort en analyse der hver enkelt kulvert i registrene ble undersøkt for hvilken *kombinasjon* av attributter som er registrert for den aktuelle kulverten, som ga informasjon om hvor mange kulverter som har tilstrekkelige data registrert til å kunne gjøre kapasitetsberegninger ved hhv. innløpskontroll og utløpskontroll.

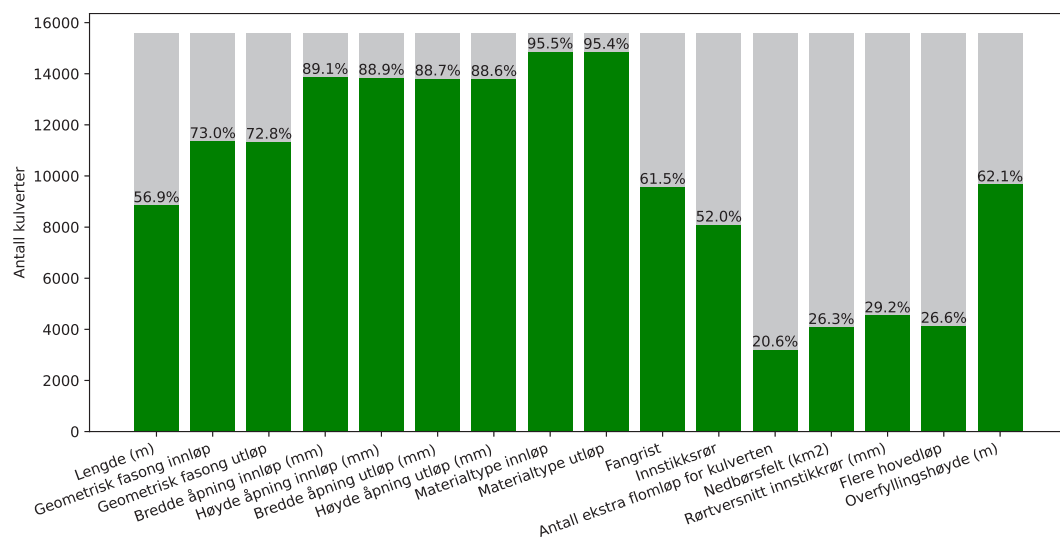
## Resultat og diskusjon

### Dekningsgrad for fysiske attributter

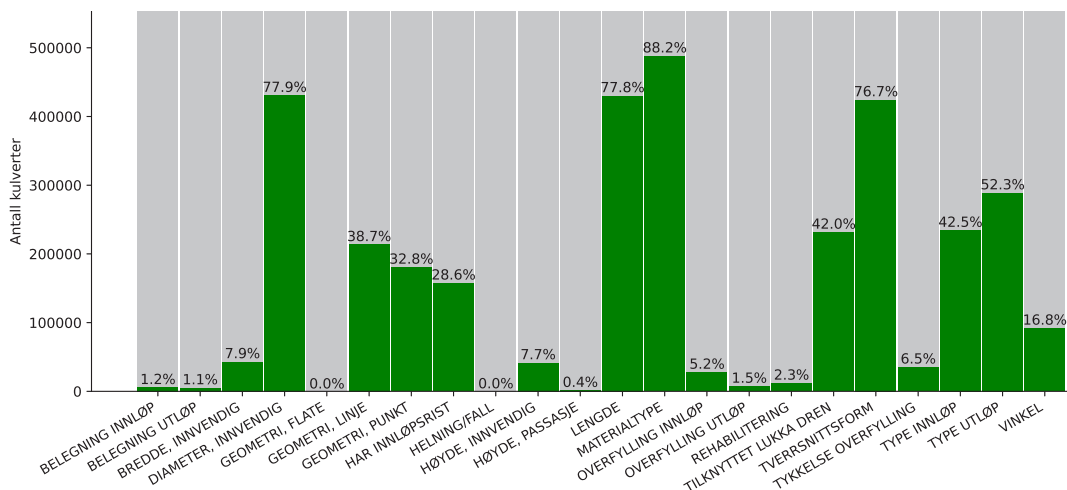
Analysen av dekningsgraden for fysiske attributter viser at det er forskjell på Bane NOR og SVV. Hos Bane NOR (Figur 2) er *materialtype*

og *bredde* og *høyde* blant de som er best dekket med ca. 90 %, etterfulgt av attributter som *utforming* og *lengde*, som er registrert med ca. 50 – 73 %. Det er verdt å merke seg at *diameter* og *helning* ikke blir registrert som egne attributter i Bane NOR. Drøftelser med ansatte i Bane NOR viste at det er historiske grunner til at man ikke registrerer *diameter* ettersom de fleste kulverter på jernbane var kvadratiske/rektangulære kulverter som var satt sammen av stein. At *høyde* og *bredde* har høy registreringsgrad, reflekterer derfor både at kulvertene stort sett er rektangulære og at registreringen er ganske komplett. Når det gjelder *helning*, kunne Bane NOR fortelle at dette ikke er ansett som relevant for deres kulverter/stikkrenner ettersom man antar at kulvertene er innløpskontrollerte, og dermed er *helning* ikke et attributt man har prioritert. Likevel er det satt i gang et arbeid i Bane NOR hvor man har begynt å registrere innmåling av kulvertene med *x*, *y* og *z*-koordinaterer – som gjør det mulig å finne *helning* og potensielt koble det sammen med BaneData.

For dekningsgraden hos SVV (Figur 3) ser man at oversikten ser litt annerledes og mindre komplett ut. Her er det verdt å merke seg at antall kulverter er betydelig større hos SVV og at registeret til SVV (NVDB) inneholder flere attributter enn Bane NOR sitt register. Man ser



Figur 2. Dekningsgrad for fysiske attributter hos Bane NOR. Kilde: BaneData.



Figur 3. Dekningsgrad for fysiske attributter hos SVV. Kilde: NVDB.

at attributter som *materiale*, *diameter*, *lengde* og *tvverrsnittform* er blant de best registrerte med over 75 % dekning. På den andre siden av skalaen (minst dekket) er *bredde* og *høyde*, og *helning* som var registrert hos godt under 10 % av alle registrerte kulverter i NVDB. Informasjon om helning ligger imidlertid også innbakt i attributtet *geometri*, *linje* og er derfor i realiteten bedre registrert. Grunnen til at *diameter* er registrert hos betydelig flere kulverter enn *bredde* og *høyde* i SVV henger sammen med at de fleste kulvertene i SVV er sirkulære kulverter.

### Hydraulisk relevante attributter

Her presenteres de vanligst registrerte verdiene for de attributtene som er definert som hydraulisk relevante (Tabell 2).

### Spesielt om innløpsutforming

Ideelt sett burde registrene til SVV og Bane NOR inneholdt informasjon om innløpsutforming (Figur 1) som samsvarer med det som trengs for å benytte formelverket til FHWA/V240. Dette er imidlertid ikke tilfellet. I dataregistrene til SVV og Bane NOR er innløpsutforming enten ikke godt nok dekket eller ikke dekket i det hele tatt. I BaneData registreres det kun *Geometrisk fasong innløp* med verdiene: *rektangulært*, *sirkulært*, *bu* eller *øvrig*. Utover

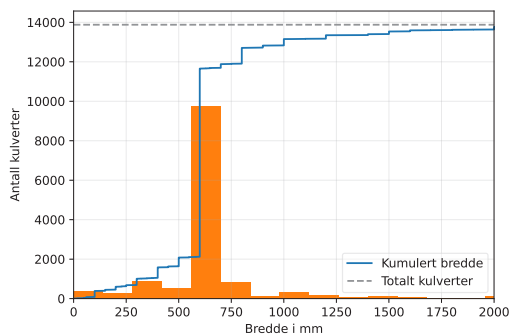
det er det ikke ytterligere attributter som beskriver innløpets utforming eller type innløp i BaneData.

I NVDB registreres tvverrsnittform som *TVERRSNITTSFORM* og oppgis som *sirkulær*, *rektangulær*, *flatbunnet med hvelv* eller *ellipsform*. Videre har man attributtet *TYPE INNLOP* som registreres som *Kum over stikkrenne*, *Åpent i grøft*, *Åpent i grøft med støtteskjold* eller *Åpent med frontmur*. Disse beskrivelsene er likevel ikke iht. rammeverket til FHWA/V240 som man legger til grunn i formler. Ideelt skulle attributtet *TYPE INNLOP* beskrevet om kulvertens innløp er *avskåret*, *utstikkende* eller *front/vingemur* slik det er beskrevet av FHWA (2012). Kantutforming er ikke inkludert i NVDB.

Et viktig funn er altså at verken BaneData eller NVDB inneholder en fullstendig beskrivelse av innløpsutformingen.

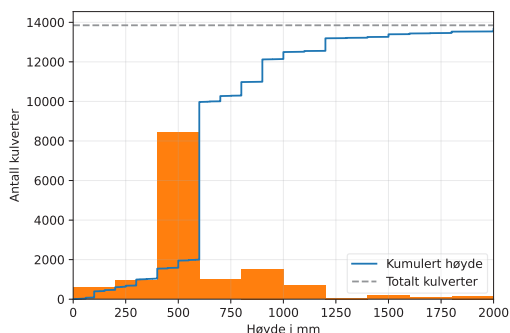
### Hydrauliske relevante attributter hos Bane NOR

*Bredde* registreres som «*Bredde åpning innløp (mm)*» og måles i millimeter. Den vanligste bredden er 600 mm, og denne dimensjonen utgjør hele 64 % av alle kulverter. Figur 4 under viser fordelingen i form av histogram og kumulert antall (som viser antall kulverter som har bredde mindre eller lik tallet på x-aksen).



Figur 4. Kulvertbredde hos Bane NOR; histogram (oransje) og kumulert antall. Kilde: BaneData.

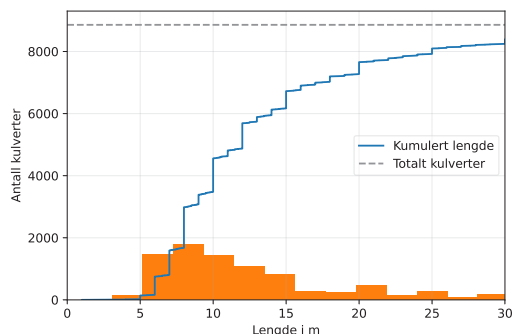
Høyde registreres som «Høyde åpning innløp» og måles også i millimeter. I likhet med bredde, er den vanligste høyden også 600 mm (Figur 5). Det er viktig å se bredde og høyde i sammenheng ettersom disse utgjør dimensjonene for rektangulære kulverter.



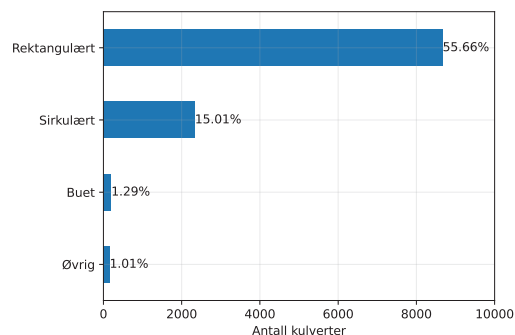
Figur 5. Kulverthøyde hos Bane NOR; histogram (oransje) og kumulert antall. Kilde: BaneData.

Lengde registreres som «Lengde (m)» og måles i meter. Analysen viser at lengden varierer mellom 5-30 meter (Figur 6). En stor andel av kulvertene har hele tall som lengde og det kan se ut som at mange registrerte lengder er fra standard rørlengder som typisk er 6, 12, 24 meter.

Utforming registreres som «Geometrisk fasong innløp» og man kan velge blant fire typer i en nedtrykksmeny: rektangulær, sirkulær, buet og øvrig. Den vanligste utformingen er rektangulær (Figur 7). Det er verdt å merke seg at langt flere kulverter er registrert med bredde og høyde enn antall kulverter som er registrert som rektangulære.

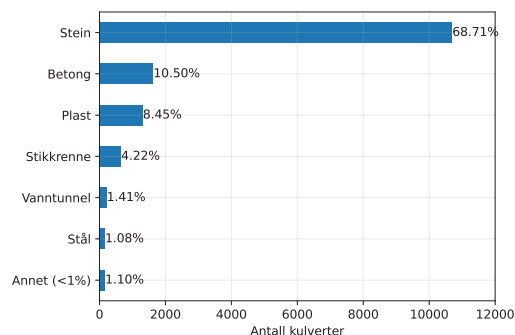


Figur 6. Kulvertlengde hos Bane NOR; histogram (oransje) og kumulert antall. Kilde: BaneData.



Figur 7. Kulvertutforming hos Bane NOR. Kilde: BaneData.

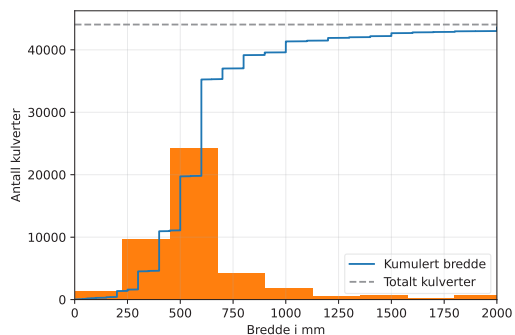
Materialtype registreres som «Materialtype innløp» og man ser av de registrerte dataene (Figur 8) at det ikke er nedtrykksmeny på dette attributtet, men fritekstfelt. Ettersom det er mange ulike materialtyper som er registrert med ulike skrivemåter, er det vanskelig å stole på disse dataene. Man kan likevel se at den vanligste materialtypen er stein, etterfulgt av betong, plast og stål.



Figur 8. Materialtype for kulverter hos Bane NOR. Kilde: BaneData.

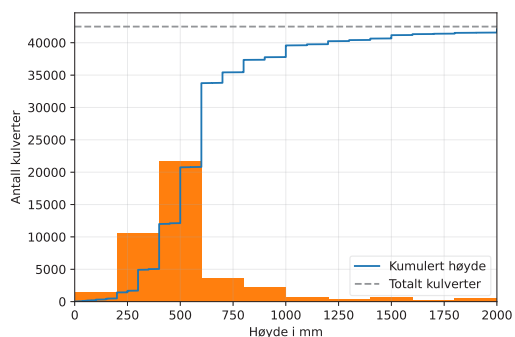
### Hydraulisk relevante attributter hos SVV

Bredde registreres som «BREDDE, INNVDIG» i NVDB og måles i millimeter (mm). Den vanligste bredden er 600 mm, men 400 mm og 500 mm er også vanlige bredder (Figur 9).



Figur 9. Kulvertbredde hos SVV; histogram (oransje) og kumulert antall. Kilde: NVDB.

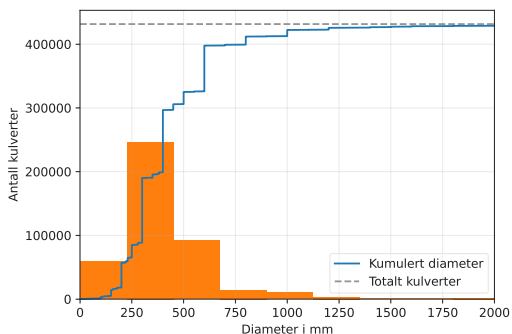
Høyde registreres som «HØYDE, INNVDIG» og måles også i millimeter. I likhet med bredde, er den vanligste høyden også 600 mm (Figur 10). I tillegg er 400 mm og 500 mm vanlige høyder. Om det er diameter eller bredde/høyde man skal se på, er avhengig av formen på kulverten. Det er derfor viktig å se bredde og høyde i sammenheng ettersom disse utgjør dimensjonen for ikke-sirkulære kulverter.



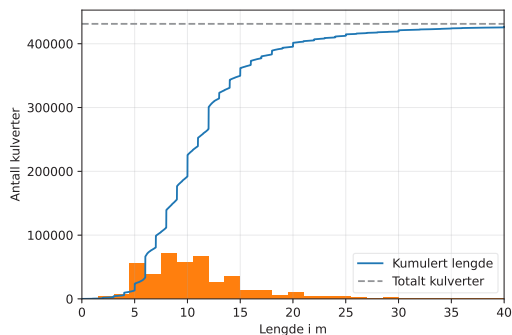
Figur 10. Kulverthøyde hos SVV; histogram (oransje) og kumulert antall. Kilde: NVDB.

Diameter blir registrert som «DIAMETER, INNVDIG» og måles i millimeter (mm). De vanligste størrelsene er 200, 300, 400, 600 (Figur 11). Diameter skal kun registreres for sirkulære kulverter.

Lengde registreres som «LENGDE» og måles i meter (m). Også hos SVV ser det ut som at en



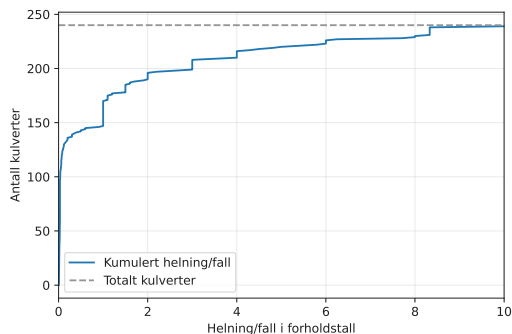
Figur 11. Kulvertdiameter hos SVV; histogram (oransje) og kumulert antall. Kilde: NVDB.



Figur 12. Kulvertlengde hos SVV; histogram (oransje) og kumulert antall. Kilde: NVDB.

stor andel av kulvertene har hele tall som lengde og mange registrerte lengder er fra standard rørlengder som typisk er 6, 8, og 12 meter (Figur 12).

Helning registreres som «HELNING/FALL» og måles i forholdstall. I NVDB er det kun registrert 243 kulverter (av 554.127) med helning og disse er visualisert i Figur 13. Helning kan imidlertid også være indirekte registrert i attributtet «GEOMETRI, LINJE». Hvis det er registrert tre

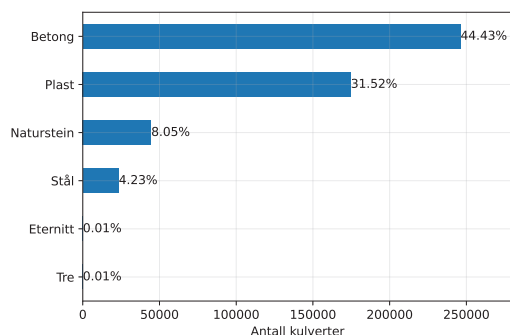


Figur 13. Kulverthelning hos SVV; kumulert antall. Kilde: NVDB.



koordinater ( $x, y, z$ ), kan midlere helning for kulverten beregnes fra disse. 36,6% av kulvertene oppfyller dette, og har dermed helning registrert.

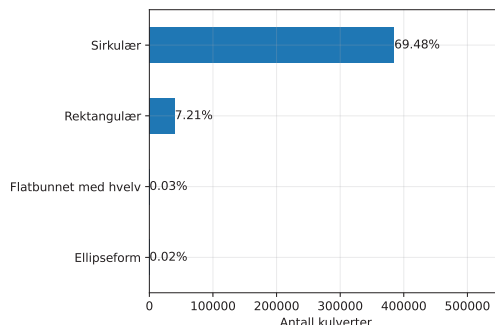
*Materialtype* registreres som «*MATERIAL-TYPE*». Betong er den vanligste materialtypen (Figur 14). I motsetning til BaneData, kan det set ut som at det er nedtrykksmeny for dette attributtet hos NVDB.



Figur 14. Materialtype for kulverter hos SVV.

Kilde: NVDB.

*Form* blir registrert som «*TVERRSNITTS-FORM*» og sirkulær er den vanligste formen på vegsiden (Figur 15), noe som trolig henger sammen med at de fleste kulverter er lagd av prefabrikkerte betong- og plastrør.



Figur 15. Tverrsnittform for kulverter hos SVV.

Kilde: NVDB.

### Datilgjengelighet for innløpskontrollberegninger

Ved å studere hvilke kombinasjoner av attributter som er registrert for enkeltkulverter, kan man anslå hvor mange kulverter som har de nødvendige data registrert for å kunne gjøre en kapasitetsberegning. Resultatet av en slik analyse under antakelse om innløpskontrollerte kulverter er presentert i Tabell 3. Det er viktig å merke seg at nødvendig informasjon om innløpets utforming iht. FHWA/V240 mangler i registrene. Det er derfor lagt til grunn i analysen at man for samtlige kulverter vil være nødt til å hente info om kantutforming og innløpstype for å kunne gjøre en fullstendig beregning. Selv uten denne informasjonen om innløpsutforming kan man likevel gjøre visse overslagsberegninger.

Tabell 3. Antall kulverter som har tilstrekkelig data registrert for å kunne gjøre innløpskontrollberegninger. Med «utforming» menes her tverrsnittformen til kulverten. Det er i analysen forutsatt at man enten innhenter informasjon om den detaljerte innløpsutformingen iht. behovet i FHWA/V240 eller antar denne for å gjøre overslagsberegninger.

Analyse for:	Antall	Totalt	Andel
<b>SVV</b>			
Kulverter med sikker utforming (sirkulære og rektangulære)	381 000	554 127	69 %
Kulverter med antatt utforming (sirkulære og rektangulære)	75 842	554 127	14 %
Sikker + antatt utforming	456 842	554 127	82 %
<b>Bane NOR</b>			
Kulverter med sikker utforming (rektangulære)	8 033	15 578	52 %
Kulverter med antatt utforming (sirkulær)	2 144	15 578	14 %
Sikker + antatt utforming	10 177	15 578	65 %

Tabell 3 skiller mellom kulverter med sikker gjennomløpsutforming (*Kulverter med sikker utforming*) og de som baserer seg på antatt gjennomløpsutforming (*Kulverter med antatt utforming*). For SVV er «*Kulverter med sikker utforming*» de kulvertene som er oppgitt som sirkulære og samtidig har registrert diameter, eller kulverter som er oppgitt som rektangulære og samtidig har oppgitt bredde og høyde. *Kulverter med antatt utforming* er de kulvertene mangler registrert utforming, men som har registrert enten kun diameter (antatt sirkulære) eller både bredde og høyde (antatt rektangulære). For Bane NOR er det lagt til grunn at kun rektangulære kulverter kan anses som *Kulverter med sikker utforming* ettersom BaneData kun

registrerer bredde og høyde, men ikke diameter. Etter dialog med Bane NOR ble *Kulverter med antatt utforming* valgt som kulverter som er oppgitt som sirkulære og samtidig har samme verdi for både bredde og høyde.

De to tallene for sikker og antatt utforming er videre summert for å vise potensialet og hvor mange flere kulverter man kunne gjort beregninger for, dersom de manglende attributtene hadde blitt registrert. For SVV viser analysen at forskjellen på disse er 69 % vs. 82 %, mens for Bane NOR er det 52 % vs. 65 %. Det understrekes igjen at disse tallene forutsetter en komplett beskrivelse av innløpet (type, tverrsnitt og kantutforming).

Tabell 4. Antall kulverter som har tilstrekkelig data registrert for å kunne gjøre utløpskontrollberegninger. For hver ny rad i tabellen er det mest begrensede attributtet tatt ut av analysen ved å anta full dekningsgrad for attributtet (markert i blått). Med «utforming» menes her tverrsnittformen til kulverten. Det er i analysen forutsatt at man enten innhenter informasjon om den detaljerte innløpsutformingen iht. behovet i FHWA/V240 eller gjør antakelser om denne for å gjøre overslagsberegninger. Man må også kjenne til strømningsforholdene nedstrøms kulverten eller gjøre antakelser om disse.

Analyse med faktisk registrerte attributter og attributter som er antatt fullstendig registrert	Antall, summert	Totalt	Andel, summert
<b>SVV</b>			
1) Utforming, dimensjon, lengde, helning, materialtype	158 852	554 127	29 %
2) Utforming, dimensjon, lengde, helning, materialtype	346 020	554 127	62 %
3) Utforming, dimensjon, lengde, helning, materialtype	380 378	554 127	69 %
4) Utforming, dimensjon, lengde, helning, materialtype	412 451	554 127	74 %
5) Utforming, dimensjon, lengde, helning, materialtype	489 017	554 127	88 %
6) Utforming, dimensjon, lengde, helning, materialtype	554 127	554 127	100 %
<b>Bane NOR</b>			
1) Utforming, dimensjon, lengde, helning, materialtype	0	15 578	0 %
2) Utforming, dimensjon, lengde, helning, materialtype	6 239	15 578	40 %
3) Utforming, dimensjon, lengde, helning, materialtype	10 136	15 578	65 %
4) Utforming, dimensjon, lengde, helning, materialtype	10 936	15 578	70 %
5) Utforming, dimensjon, lengde, helning, materialtype	14 873	15 578	95 %
6) Utforming, dimensjon, lengde, helning, materialtype	15 578	15 578	100 %

## Datatilgjengelighet for utløpskontroll-beregninger

Tabell 4, rad 1, viser resultatet av analysen som er gjort for antall kulverter som har tilstrekkelig data registrert til at man kan gjøre hydrauliske beregninger under antakelse av utløpskontroll. Attributtet *dimensjon* i Tabell 4 er et attributt som sies å være registrert hvis en sirkulær kulvert har oppgitt diameter eller en rektangulær kulvert har oppgitt bredde og høyde. For SVV er registreringsgraden for *helning* her basert på registrert 3D-informasjon i attributtet *GEO-METRI*, *LINJE* mens hos Bane NOR er det ikke registrert *helning*. På samme måte som for analysen for innløpskontroll er det lagt til grunn at man for samtlige kulverter vil være nødt til å hente info om kantutforming og innløpstype for å kunne gjøre en fullstendig beregning iht. FHWA/V240. Man må også kjenne til strømningsforholdene nedstrøms kulverten eller gjøre antakelser om disse.

I tillegg viser radene 2 – 5 i Tabell 4 hvor mange flere kulverter man kan gjøre beregninger for hvis man antar full dekningsgrad på det attributtet som har dårligst dekningsgrad i raden over. Analysen gir altså en pekepinn på hvilke attributter som i størst grad begrenser muligheten til å regne på hydraulisk kapasitet, og som dermed er attributter det kan være aktuelt å konsentrere seg om hvis man skal gjøre ytterligere datainnsamling.

Tallene for SVV og Bane NOR tyder på at det er de samme egenskapene/attributtene som begrenser mulighetene til å gjøre kapasitetsberegninger, dog i noe ulik grad. For eksempel er det slik at ved antatt full registreringsgrad av *helning*, vil man med SVVs data kunne beregne kapasitet for 62 % av kulvertene mot 40 % hos Bane NOR.

## Konklusjoner

Med utgangspunkt i analysene som er gjennomført kan man konkludere med at de hydraulisk relevante attributtene er godt, men i varierende grad, registrert i kulvertregistrene til Bane NOR og SVV. En viktig input til kapasitetsberegningen for kulverter er innløpsutformingen, men

denne er ikke registrert i tilstrekkelig grad eller på en måte som samsvarer med nødvendig input til dimensjoneringsmetoden i FHWA/V240. Dette gjør at man i stor grad er avhengig av antagelser for å kunne benytte seg av disse dimensjoneringsmetodene.

Hvis man ser bort fra manglende registrering av innløpsutforming, ser det ut som det med dagens registreringsgrad er mulig å gjøre innløpskontrollberegninger på 52 % av kulvertene hos Bane NOR og 69 % av kulvertene hos SVV.

For utløpskontrollberegninger er det langt færre kulverter som er mulig å gjøre kapasitetsberegninger for, nemlig ingen hos Bane NOR (ettersom *helning* ikke er registrert) og 29 % hos SVV.

Manglende registrering av relevant innløpsutforming og *helning* er altså de aspektene ved registrene som virker klart mest begrensende for hydrauliske beregninger. Som nevnt innledningsvis krever en korrekt kapasitetsberegning at man påviser om kulverten er inn- eller utløpskontrollert, og da er man avhengig av å kjenne til *helningen* (selv om kulverten skulle vise seg å være innløpskontrollert til slutt).

Resultatet av analysene viste videre at begge registrene inneholder en del mangler, feilregistreringer og tallverdier som kan feiltolkes fordi enhetsbruken ikke har vært konsistent.

## Anbefaling

Om man legger til grunn resultatet av analysene, anbefales det å prioritere de mest begrensende attributtene. Det er særlig viktig å registrere innløpsutformingen på en tilfredsstillende måte, slik at man kan benytte seg av FHWAs/V240s formler for å beregne hydraulisk kapasitet. Det er også viktig å bedre dekningsgraden for kulvertenes *helning*, som trengs ikke bare for utløpskontrollerte kulverter, men for å kunne påvise om kulvertene faktisk er inn- eller utløpskontrollerte.

Videre viser studien at det er behov for endringer i registreringsrutinene, f.eks. når det gjelder innløpsutforming. Det anbefales å bruke begrensninger og sperrefunksjoner for å sørge for korrekt og konsistent registrering av verdier. Et

eksempel kan være at det ikke skal være mulig å registrere diameter på rektangulære kulverter, på samme måte som det ikke skal være mulig å registrere bredde eller høyde på kulverter som er oppgitt som sirkulære. I tillegg bør det innføres kontrollfunksjoner for å sørge for at man har realistiske verdier og korrekt enhetsbruk. Videre bør man unngå bruk av fritekstregistrering i attributter som er aktuelle å bruke i automatiserte analyser.

For flomrisikovurderinger av det store antall kulverter i registrene kreves ikke bare gode kulvertdata og automatiserte kapasitetsberegninger, men også automatiserte beregninger for forventet vannføring for ulike gjentakintervall i de nedbørfeltene som er tilknyttet kulvertene. Innsats på begge disse områdene bør skje parallelt fremover.

## Takk

Takk til Bane NOR og SVV for tilgang på kulvertdata, samt gode diskusjoner og bistand med tolkning av attributtene.

## Referanseliste

FHWA - Federal Highway Administration (2012). *HYDRAULIC DESIGN OF HIGHWAY CULVERTS*. Third edition. Rapport nr. FHWA-HIF-12-026 HDS5. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/culverthyd/culvert.cfm>

FHWA – Federal Highway Administration (2021). *HY-8 Culvert Hydraulic Analysis Program*. Versjon 7.70. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/software/hy8/>

Fergus, T., Hoseth, K. A. og Sæterbø, E. (red.) (2010). *Vassdragsåndboka. Håndbok i vassdragsteknikk*. Andre utgave. Tapir akademiske forlag. URL: <https://www.nve.no/vassdragsandboka/>

Norsk klimaservicesenter (2019). *Klimapåslag for korttidsnedbør – Anbefalte verdier for Norge*. NCCS rapport nr. 5/2019. URL: <https://bit.ly/3sDCSvt>

NVE – Norges vassdrags- og energidirektorat (2015). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt*. Veileder nr. 7-2015. URL: [https://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015\\_07.pdf](https://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_07.pdf)

NVE – Norges vassdrags- og energidirektorat (2022). *Sikringsåndboka. Modul F2.306: Kulvert – Prosjektering*. URL: <https://sikringsandboka.nve.no/moduler/modul-f2-306-kulvert-prosjektering/>

Statens vegvesen (2014). *Vegbygging*. Håndbok N200. URL: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-n200-september-2014.pdf>

Statens vegvesen (2020). *Vannhåndtering – Flomberegninger og hydraulisk dimensjonering*. Håndbok V240. URL: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v240-vannhandtering.pdf>