

Retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter

1
2011



RETNINGSLINJER

Retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter

til §§ 5-14 og 5-15 i
forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg

Retningslinjer nr. 1/2011

Retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Dag Bachke, NVE

Forfattere: Ivar Elstad, Norconsult
Ragnar Hartmann, SWECO
Gjermund Mølle, Statkraft
Dag Bachke, NVE

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 100

Forside: Rørgate til Bøylefoss kraftstasjon. Foto: Roar Sivertsgård, NVE

ISSN: 1501-9810

Sammendrag: Retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter utdypet bestemmelser gitt i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften) §§ 5-14 og 5-15. Retningslinja erstatter foreløpig utgave av mars 2009

Emneord: Luker, ventiler, tverrslagsporter, rør, laster, påvirkninger, dimensjonering

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Februar 2011

Innhold

Forord	6
Sammendrag	7
1 Generelt	8
2 Laster	9
2.1 Generelt	9
2.2 Permanente laster	9
2.3 Variable laster	10
2.4 Ulykkeslaster	11
2.5 Lastfaktorer	11
3 Materialer	12
3.1 Generelt	12
3.2 Stål	13
3.3 Støpejern	13
3.4 Aluminium	13
3.5 Glassfiberarmert umettet polyester (GRP-rør)	14
3.6 Polyetylen (PE-rør)	14
3.7 Trematerialer	14
3.8 Betongmaterialer	14
3.9 Bruksområde for stenge-/tappeorganer	14
3.10 Bruksområde for rør	15
4 Dimensjonering	16
4.1 Generelt	16
4.2 Dimensjonering av stålkonstruksjoner inkl. stålrør	17
4.3 Dimensjonering av aluminiumskonstruksjoner	18
4.4 Dimensjonering av duktile støpejernsrør	18
4.5 Dimensjonering av GRP- rør	18
4.6 Dimensjonering av PE-rør	19
4.7 Dimensjonering av trekonstruksjoner	19
4.8 Dimensjonering av armert gummiduk	19
5 Spesielle bestemmelser for stenge-/tappeorgan	19
5.1 Utforming	19
5.2 Dimensjonering	19
5.3 Manøvreringsutstyr og manøvrering	21
5.4 Tekniske planer, idriftsettelse og sluttrapport	22
6 Spesielle bestemmelser for rør og fundamenter	22
6.1 Utforming	22
6.2 Dimensjonering av rør	23
6.3 Dimensjonering av betongfundament	24
6.4 Stabilitetskrav for nedgravde rør	25
6.4.1 Glidning	25
6.4.2 Avvinkling	25

6.5	Transport, håndtering og lagring av rør	26
6.6	Tekniske planer og bygging	26
6.7	Ildriftsettelse og sluttrapport.....	27
6.8	Tilsyn med rør.....	27
7	Referanser	28
Vedlegg A.	Materialer/ Stål.....	30
Vedlegg B.	Dimensjonering generelt	31
B. 1	Bruk av sikkerhetsfaktorer eller leverandørregler	31
B. 2	Dimensjonerende levetid, utmatting	31
B. 3	Beskyttelse mot nedbrytning	32
Vedlegg C.	Stenge- og tappeorganer, luker	34
C. 1	Lukeblad og porter, plan- og skallkonstruksjoner, lukelager	34
C. 2	Platekasse	34
C. 3	Manøvreringsutstyr	35
C. 4	Glideluker.....	36
C. 5	Rulleluker	36
C. 6	Segmentluker.....	36
C. 7	Klappeluker	37
C. 8	Gummiluker.....	37
C. 9	Sektorluke.....	38
C. 10	Valseluke.....	38
Vedlegg D.	Stenge- og tappeorganer, stengsler	39
Vedlegg E.	Stenge- og tappeorganer, ventiler	40
E. 1	Ventilfunksjoner.....	40
E. 2	Dimensjonering	40
E. 3	Rørbruddsventil.....	41
Vedlegg F.	Stengeorganer, tverrslagsporter.....	43
F. 1	Hoveddeler.....	43
F. 2	Dimensjonering	43
F. 3	Utførelse	44
Vedlegg G.	Rør og fundamentering.....	45
G. 1	Rør generelt - dimensjonering og utførelse	45
G. 1.1	Rør generelt	45
G. 1.2	Bend og forgreninger	45
G. 1.3	Flensforbindelser.....	45
G. 1.4	Koblinger.....	46
G. 2	Fundamentering av frittliggende rør.....	47
G. 2.1	Fundamenttyper	47
G. 2.2	Forankringsfundament	47
G. 2.3	Mellomfundament.....	47
G. 2.4	Systemstabilitet, samvirke rør og fundament.....	48
G. 3	Fundamentering av nedgravde rør	48
G. 3.1	Rørgrøft og omfylling.....	48

G. 3.2	Tiltak mot utvasking	49
G. 3.3	Sikring mot aksiell forskyvning og utknekking.....	49
G. 3.4	Strekkefaste rør uten ekspansjonsboks	49
G. 4	Innstøpte rør	49
G. 4.1	Rørets ulike partier.....	49
G. 4.2	Dimensjonering	50
G. 5	Kommentarer knyttet til ulike rørtyper.....	51
G. 5.1	Stålrør	51
G. 5.2	Duktile støpejernsrør	52
G. 5.3	GRP-rør	54
G. 5.4	PE-rør	56
G. 5.5	Trerør.....	57
G. 5.6	Betongrør.....	58
Vedlegg H.	Vurdering av eldre konstruksjoner.....	59
H. 1	Generelle betraktninger.....	59
H. 2	Eldre stål.....	59
H. 3	Eldre materialers mekaniske egenskaper.....	60
H. 4	Beregningskontroll	61
H. 5	Spesielt for stenge-/tappeorganer	61
H. 6	Spesielt for rør	62

Forord

NVE har gjennom tidene utgitt diverse retningslinjer og fastsatt regler for stenge- og tappeorganer og rør. De mest aktuelle NVE-publikasjonene er:

- NVE (1942). Vassdragstilsynets regler for kontinuerlig bygde trerør
- NVE (1981). Forskifter for dammer. "Regler og anbefalinger"
- NVE (1991). Retningslinjer for stenge-/tappeorganer og rør
- NVE (1993). Gummiluker
- NVE (1995). Glassfiberarmerte rør

Retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter ble første gang utgitt i 2009 (utgave 1). Innholdet bygget for det meste på forslag fra rådgivende ingeniører Norconsult AS ved Ivar Elstad, og SWECO Norge AS ved Ragnar Hartmann. Etter at det forelå ny forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften) fra 1.1.2010, er retningslinja revidert med korrekte henvisninger til forskriften. Noe av innholdet er også revidert og sendt på begrenset høring til bransjen. Den endelige teksten er delvis korrigert i henhold til tilbakemeldinger som har kommet.

Sentralt i revisjonen for denne utgaven av retningslinja (utgave 2) er kapittel 6: Spesielle bestemmelser for rør og fundamenter. Endringene omfatter dimensjonering av rør, stabilitetskrav for nedgravde rør (ny tekst), tekniske planer og bygging, samt tilsyn med rør (ny tekst).

Oslo, februar 2011


Rune Flatby
avdelingsdirektør


Lars Grøttå
seksjonssjef

Sammendrag

Retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter utdyper bestemmelser gitt i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg [1] (damsikkerhetsforskriften) §§ 5-14 og 5-15, og gir uttrykk for den praksis som NVE vil følge i sin saksbehandling for å påse at kravene i forskriften oppfylles. Andre løsninger enn de som er anført i retningslinja kan aksepteres dersom like god sikkerhet kan dokumenteres.

Retningslinja gjelder for anlegg i konsekvensklasse 1 og høyere, men NVE anbefaler at den også brukes for anlegg i konsekvensklasse 0, og med samme standard ved prosjektering som for anlegg i klasse 1. Dette gjelder spesielt for anlegg som er bygget på grunnlag av konsesjon etter vassdragslovgivningen, der det alltid er NVE som står for byggesaksbehandlingen inklusiv godkjenning av tekniske planer.

I retningslinja er det inkludert et Vedlegg A – H, med mer detaljerte opplysninger og beskrivelser av anleggskomponenter og utførelse. Dette er utfyllende materiale og data som er ment å skulle brukes sammen med retningslinja.

1 Generelt

Stenge- og tappeorganer er alle typer luker, ventiler og andre innretninger med formål stenging, tapping, regulering og avledning av vannføring. Med rør menes rør for transport av vann fra magasin til kraftstasjon, eller mellom magasiner, inklusive fundamenter og komponenter som naturlig hører til disse rørene. Med tverrslagsport forstås gang- eller kjøreport for adkomst til vannvei i tunnel eller bergrom.

Retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter utdyper bestemmelser gitt i forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg [1] (damsikkerhetsforskriften) §§ 5-14 og 5-15, og gir uttrykk for den praksis som NVE vil følge i sin saksbehandling for å påse at kravene i forskriften oppfylles. Andre løsninger enn de som er anført i retningslinja kan aksepteres dersom like god sikkerhet kan dokumenteres.

Bruddkonsekvenser for alle stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter skal bestemmes i forbindelse med klassifisering av dam eller vannvei, jf. damsikkerhetsforskriften § 4-1. Det fastsettes en samlet konsekvensklasse for hver dam eller vannvei. Denne klassen bestemmes av bruddkonsekvensene for den anleggsdelen eller den anleggskomponenten som har størst bruddkonsekvens med hensyn til bruddvannføring, vannstandsending eller vannstråle.

Ved bygging og fornyelse skal tekniske planer utarbeides av kvalifisert fagperson innenfor aktuelle fagområder tilknyttet fagområde III stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter. NVE-godkjent fagansvarlig i fagområde III skal utføre/kontrollere planene i henhold til krav gitt i damsikkerhetsforskriften § 5-2. Dette kan også gjelde planer for anleggskomponenter/anleggsdeler som ikke inngår i fagområde III, men som den godkjente fagansvarlige har kompetanse til, jf. damsikkerhetsforskriften § 2-6 andre ledd. Dersom fagansvarlig selv ikke innehar f.eks. betongkompetanse skal han sørge for at betongfundamenter, tverrslagsporter og lignende blir prosjektert av personer med slik kompetanse. Tilsvarende gjelder hvis geotekniske problemstillinger inngår i planene. NVE kan kreve framlagt dokumentasjon på at tekniske planer er utført og kontrollert av personer med tilstrekkelig kompetanse, jf. damsikkerhetsforskriften § 8-1.

Bygging og fornyelse foretas av foretak med godkjenning i henhold til forskrift om godkjenning av foretak for ansvarsrett (GOF), jf. damsikkerhetsforskriften § 3-5, § 3-7 og § 3-8.

Ved planlegging av stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter, skal tekniske planer sendes NVE til godkjenning i god tid før byggestart, jf. damsikkerhetsforskriften § 5-2. Alle planer og beregninger skal presenteres på en klar og oversiktlig måte.

For konsesjonsgitte anlegg skal også miljø- og landskapsplaner være sendt inn og godkjent av NVE før arbeider kommer til utførelse, jf. konsesjonsvilkår.

Ved bygging (produksjon i verksted og montasje på anlegg) av stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter, skal det utarbeides kontrollplan og sluttrapport, jf. damsikkerhetsforskriften § 6-1.

2 Laster

2.1 Generelt

Det vises generelt til damsikkerhetsforskriften § 5-3 og retningslinjer for laster og dimensjonering [2].

En vurdering av relevante laster må inkludere alle faser i et anleggs levetid; dvs. under bygging og ved idriftsettelse med første gangs belastning/oppfylling og i driftsituasjoner.

Aktuelle lastgrupper er permanente laster, variable laster og ulykkeslaster.

Permanente og variable laster kombineres på ugunstigste måte så sant kombinasjonen er fysisk mulig. Ulykkeslaster regnes enkeltvis sammen med de permanente lastene.

Karakteristiske laster er aktuelle kombinasjoner av forannevnte laster uten lastfaktorer. Ved beregning med faste sikkerhetsfaktorer legges karakteristisk last til grunn.

Dimensjonerende last er karakteristisk last multiplisert med en lastfaktor γ_f , som ideelt sett gjenspeiler usikkerhet ved lastfastsettelse.

2.2 Permanente laster

I tillegg til definisjonene i damsikkerhetsforskriften § 5-3 a) og retningslinjer for laster og dimensjonering, kan følgende permanente laster defineres for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter:

Overtrykk: Dette refereres til høyeste normale statiske trykk, normalt definert som høyeste regulerte vannstand (HRV). Hvis det har betydning for dimensjonering, kontrolleres det også for bestemmende lavt statisk trykk eller lavt overvannsnivå (LRV).

Undertrykk: Dette oppstår under eller nedstrøms visse luker avhengig av lufting. Ved rør kan det bli undertrykk hvis røret blir liggende over vannveiens trykklinje. Varighet er avgjørende for hvor vidt angitt last skal defineres som permanent last.

Utvendig vanntrykk: For platekasser nedstrøms injeksjonsskjerm/tetningsskjerm, skal det antas at utvendig trykk endres lineært fra høyeste statiske vanntrykk til 1/3 av høyeste vanntrykk ved nedstrøms avslutning. Ved tappeluker skal en imidlertid benytte fullt statisk trykk fram til platekassens nedstrøms avslutning. For innstøpte rør nedstrøms injeksjonsskjerm fastsettes utvendig vanntrykk ut fra geologiske forhold, målt/beregnet poretrykk, overdekning, avstand til drenerende hulrom, etc. Nedgravde og sjølagte rør kan få utvendig vanntrykk avhengig av forholdene.

Utvendig jordtrykk: For rør fastlegges utvendig jordtrykk ut fra anerkjent standard eller regelverk. Ved fastleggelse tas det hensyn til overdekning, omfyllingsmasse og utførelse.

Trykkdifferanser: Ved innvendig og utvendig trykk som er innbyrdes koblet, settes trykkdifferansen til minst 10 % av største trykk og ikke mindre enn 0,1 MPa (eller 10 m vannsøyle). For innløpskonuser samt lukers platekasser, fastlegges trykkdifferanse oppstrøms injeksjonsskjerm/tetningstverrsnitt som differansen mellom utvendig vanntrykk og innvendig statisk trykk fratrukket maksimal hastighetshøyde. Nedstrøms

tetningstverrsnitt, er innvendig trykk lik atmosfæretrykk, eventuelt et undertrykk hvis dette kan forekomme. Utvendig trykk forutsettes å endre seg langsomt og kan derfor ha etterslep i forhold til bestemmende statisk trykk.

2.3 Variable laster

I forhold til damsikkerhetsforskriften § 5-3 b) og retningslinjer for laster og dimensjonering [2] gjøres følgende presiseringer:

Overtrykk: Her inngår flomstigning ved dimensjonerende flom (DFV), trykkstigning (trykkstøt) og/eller svingegrenser grunnet manøvrering av luke/ventil og/eller pumpe/turbinregulering. Hvis det har dimensjoneringsmessig betydning, skal det kontrolleres for både høyeste og laveste nivå. For vannvei beregnes karakteristisk verdi ut fra den vannføringsendring og den stasjonære driftstilstand som samlet gir ugunstigst resultat. Fastlagt last kontrolleres ved anleggsmåling. Det skal tas hensyn til at lokal trykkvariasjon regnet i prosent av lokalt statisk trykk varierer langs vannveien. Ved luker og annet utstyr i konsekvensklasse 2 og høyere, plassert mot magasiner, vurderes det om disse skal kontrolleres for effekt av bølger, vindoppstuvning, etc.

Undertrykk: Ved luftinnslipping gjennom lufterør eller luftinnslippingsventil, kan karakteristisk undertrykk nedstrøms stengeorganet beregnes fra en luftstrøm tilsvarende fullastvannføring i kraftverksrør eller maksimal tømme kapasitet for pumperør. Kan annet ikke dokumenteres tilfredsstillende, settes undertrykket til minst 0,03 MPa eller 3,0 m vannsøyle. For tappeluker med lukket vannvei nedstrøms fastlegges undertrykket på grunnlag av tappevannføringen.

Strømningslast: Strømningslast er dynamiske laster fra vannstrømming som kan være permanente, eksempelvis ved en fast endring av strømningsretningen, eller variable. For de siste skal utmattningseffekten vurderes.

Aktuelle analyser kan omfatte utmattingssikkerhet og resonansrisiko. Det sistnevnte består i å sammenlikne lastfrekvens med konstruksjonens egensvingefrekvens.

Trafikklast: Foruten lastens karakter og størrelse skal det tas hensyn til overdekning samt rørgrøftens og omfyllingsmassenes egenskaper. Som minimum regnes 80 kN akseltrykk fordelt på 2 flater på 0,2 x 0,3 m og hjulavstand 2,0 m. For veier vises det til retningslinjer fra Statens vegvesen.

Snø- og vindlast: Belastning på frittliggende rør bestemmes i henhold til NS 3491. Tilleggslast grunnet jordsig, snøsig, fullstendig nedsnøing eller issvelling vurderes ut fra lokale forhold og avgjør hvorvidt belastningene skal regnes som variabel last eller ulykkeslast, jf. også pkt. 2.4.

Islast: Det kan tas hensyn til stivhetsforskjell mellom luke og tilgrensende bygningskonstruksjoner samt at is i noen tilfeller løftes hvis lukefronten er sterkt skrånende og isen ikke fryser fast til denne.

Temperatur: Last grunnet temperaturvariasjon i innspente konstruksjonsdeler innendørs, i tunneler eller nedgravd i grøft, fastlegges for temperaturvariasjon mellom 0 °C og + 15 °C til + 25 °C avhengig av forholdene. For utendørs konstruksjoner som står delvis i kontakt med vann, settes laveste temperatur lik - 10 °C. For utendørs konstruksjoner som ikke utveksler varme med vannet eller kan være tømt, settes laveste og høyeste

temperatur ut fra stedlige forhold. Ved konstruksjoner utsatt for sollys kan det forutsettes + 40 °C.

Jordskjelvlast: Lasttypen skal vurderes for luker og rør i konsekvensklasse 3 og høyere.

2.4 Ulykkeslaster

Det må alltid gjøres en individuell vurdering av hvilke ulykkeslaster som kan opptre. I tillegg til de ulykkeslaster som er beskrevet i damsikkerhetsforskriften § 5-3 c) og i retningslinjer for laster og dimensjonering [2] herunder forhold ved PMF-flom, kan følgende laster være aktuelle for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter:

- Innvendig undertrykk som følge av unormale driftsforhold eller ising i inntak eller lufterør. Undertrykket settes lik 0,1 MPa eller 10 m vannsøyle.
- Belastning som følge av svikt. Hvis flomluke ikke åpner under flom, settes resulterende flomvannstand som ulykkeslast.
- Trykkvariasjoner som følge av momentan avstengning skal vurderes for konstruksjoner i konsekvensklasse 3 og høyere.
- Last på grunn av ras av stein, løsmasse eller snø mot rør og fundamenter skal vurderes, jf. også pkt. 2.3.
- Unormal vannstand på grunn av ras inn i magasin eller ras i vannvei skal vurderes.

Spesiell engangslast som ulykkeslast kan være:

- Trykkprøving og tetthetsprøving.
- Last som følge av innstøping eller injisering.
- Spesielle laster ved produksjon, transport og montasje.
- Poretrykk i rørgrøft
- Last på installert konstruksjon som følge av tunnelutslag under vann.
Avhengig av hvilke marginer som legges i lastfastsettelsen, kan det være påkrevd å anvende større lastfaktorer enn angitt i tabell 2.1 i kapittel 2.5.

Laster som virker på nødstengeorgan ved nødstenging skal ikke anses som ulykkeslast.

2.5 Lastfaktorer

Generelt vises det til pkt. 1.3.1 i retningslinjer for laster og dimensjonering [2]. Som minimumsverdier for aktuelle lastfaktorer γ_f gjelder verdiene i tabell 2.1:

For tappe- og flomorganer og tilsvarende konstruksjoner som i hovedsak manøvreres med strømmende vann skal det for permanente laster fra vanntrykk benyttes en lastfaktor i bruddgrensetilstand $\gamma_f = 1,4$.

For tappe- og flomorganer i konsekvensklasse 3 og høyere skal det i tillegg gjøres utmattingsanalyser.

Tabell 2.1 Lastfaktorer

Lasttype:	Brudd- grense- tilstand	Ulykkes- grense- tilstand	Utmattings- grense- tilstand	Bruks- grense- tilstand
Permanente laster fra statisk vanntrykk:	$\gamma_f = 1,2$	$\gamma_f = 1,0$	$\gamma_f = 1,0$	$\gamma_f = 1,0$
Andre permanente laster:	$\gamma_f = 1,2$	$\gamma_f = 1,0$	$\gamma_f = 1,0$	$\gamma_f = 1,0$
Jordtrykk, avhengig av beregningsgrunnlag:	$\gamma_f = 1,0$	$\gamma_f = 1,0$	$\gamma_f = 1,0$	$\gamma_f = 1,0$
Lastdifferanser og variable laster:	$\gamma_f = 1,2$	$\gamma_f = 1,0$	$\gamma_f = 1,0$	$\gamma_f = 1,0$

Dimensjonerende last ved kombinasjon av laster, er produktet av ugunstigste karakteristiske last og aktuell lastfaktor.

Ved dimensjonering med faste sikkerhetsfaktorer, designfaktorer eller leverandørregler settes vanligvis lastfaktoren $\gamma_f = 1,0$.

3 Materialer

3.1 Generelt

Belastede deler skal utføres av materialer med spesifikasjoner og tilhørende dokumentasjon som i nødvendig grad sikrer delenes pålitelighet. Ved materialvalg tas det hensyn til last, spenningsnivå, laveste funksjonstemperatur og bruddkonsekvens.

Materialer dokumenteres etter prinsippene i NS-EN 10204 [3] på følgende måte:

- "type-2.1": Verksattest; - produsenten gir erklæring om samsvar med bestillingen
- "type-2.2": Prøvingsrapport; - som "type-2.1" + prøveresultater fra ikke spesifikk kontroll
- "type-3.1": Kontrollsertifikat; - som "type-2.1" + prøveresultater fra spesifikk kontroll. Produsentens kontrollavdeling skal være organisatorisk uavhengig av produksjonsavdelingen.
- "type 3.2": Kontrollsertifikat; - som "type 3.1", men kontrollen skal helt eller delvis utføres av kjøpers representant eller en offentlig institusjon.

Kravet til dokumentasjon avhenger av hovedkomponentenes påkjenning og bruddkonsekvensklasse og gjelder for alle vesentlige deler.

3.2 Stål

Aktuelle standarder for valsede stålmaterialer som benyttes ved vanlig verkstedsproduksjon er:

- NS-EN 10025-1: Generelle tekniske leveringsbetingelser
- NS-EN 10025-2: Varmvalsede produkter av ulegert konstruksjonsstål
- NS-EN 10025-3: Varmvalsede produkter av sveisbare, finkornbehandlede konstruksjonsstål
- NS-EN 10028: Flate produkter av stål for trykkpåkjent utstyr. For store rør benyttes ofte NS-EN 10028-3 i stedet for NS-EN 10025-3

For sveiste konstruksjoner i bruddkonsekvensklasse 3 og høyere, eller ved store materialtykkelser eller lave temperaturer benyttes det vanligvis finkornstål.

Vanlig stålmateriale med flytegrense over 460 MPa skal ikke benyttes for sveist konstruksjon uten at det på forhånd er foretatt en vurdering av forhold knyttet til produksjon, montasje og kontroll, samt pålitelighet i driftsfase.

For seriefremstilte produkter som eksempelvis verksproduserte rør foreligger det tilpassede standarder som inkluderer både material- og produktspesifikasjoner.

Støpestål i henhold til NS-EN 1503 [4] benyttes for ventiler, i henhold til NS-EN 1563 [5] for vanlige formål og i henhold til SN-EN 10203 [6] for trykkpåkjent utstyr.

Skrueforbindelser med betydning for en konstruksjons pålitelighet skal ikke gis høyere fasthetsklasse enn 8.8 uten at det dokumenteres at verken spenningskorrosjon eller hydrogensprøhet vil kunne gi forhøyet bruddrisiko. Skruene skal være varmforsinkede, eventuelt rustfrie av kvalitet A2-70 eller syrefaste av kvalitet A4-80.

3.3 Støpejern

For duktile støpejernsrør benyttes NS-EN 545 [7] som beskriver krav og prøvemetoder for rør med hensyn til materiale med mekaniske egenskaper, men også dimensjoner og toleranser, standard overflatebehandling, beregningsregler mm.

For andre konstruksjoner i duktilt støpejern, blant annet ventiler i midlere dimensjon og trykk, benyttes NS-EN 1563 [5].

Grått støpejern benyttes bare for små ventiler og andre lite påkjente produkter. Der grått støpejern kommer til anvendelse, skal krav i henhold til NS-EN 1561 [8] tilfredsstilles.

3.4 Aluminium

I vannkraftsammenheng benyttes aluminium hovedsakelig som 4-kantrør eller andre profiler til nåle- og bjelkestengsler, og vanlig materialkvalitet er EN-AW-6082, (AlSi1MgMn) eller EN-AW - 6060 tilstand T6 (AL-MgSi).

3.5 Glassfiberarmert umettet polyester (GRP-rør)

For GRP-rør og tilhørende rørdeler henvises det til NS-EN 1796 [9], alternativt NS-EN 14364 [10], og tilhørende standarder som beskriver krav og prøvemetoder med hensyn til materiale, dimensjoner og toleranser og mekaniske egenskaper.

3.6 Polyetylen (PE-rør)

For PE-rør henvises det til NS-EN 12201 [11] og tilhørende standarder som beskriver krav og prøvemetoder med hensyn til materiale, dimensjoner og toleranser og mekaniske egenskaper

3.7 Trematerialer

Styrkeklasser for trematerialer fremgår av NS-EN 338 [12]. For kvalitetssorterte gran og furumaterialer benyttes ofte fasthetsklasse C18, for øvrig benyttes C14. Virke for konstruksjoner i klimaklasse 3 med lastvarighetsklasse P eller A i henhold til NS 3470 [13] skal være impregnert.

For spesielle formål, eksempelvis tetningsstokker for gamle luker etc. kan det benyttes både eik, malmfuru eller andre tilsvarende bestandige trematerialer.

3.8 Betongmaterialer

Generelt med hensyn til betong som materiale vises det til NS-EN 206-1 [14]. Med hensyn til betongrør vises det generelt til NS-EN 639 [15] og spesielt til NS-EN 641 [16] for slakkarmerte rør og NS-EN 642 [17] for forspente rør.

3.9 Bruksområde for stenge-/tappeorganer

Tabell 3.1 under angir vanlige bruksområder for ulike materialer avhengig av konsekvensklasse og karakteristisk trykk (h) for luker eller relativ belastning ($p \cdot D$) for ventiler, der p er karakteristisk trykk (MPa) og D er nominell rørdiameter (m). Dersom materialet benyttes utover materialtabellens begrensninger, skal det minst dokumenteres i henhold til NS-EN 10204 – ”type 3.1”:

Tabell 3.1 Bruksområde for stenge-/tappeorganer

	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3 og 4
Lavlegert og rustfritt stål:	Ubegrenset	Ubegrenset	Ubegrenset
Duktilt støpejern (ventil):	$p \cdot D \leq 2,5$ *	$p \cdot D \leq 2,0$	$p \cdot D \leq 1,5$
Aluminium og betong:	$h \leq 20$ m	$h \leq 20$ m	ikke anvendt
Gummi:	$h \leq 4$ m	$h \leq 3$ m	ikke anvendt
Tre og andre materialer:	$h \leq 6$ m	ikke anvendt	ikke anvendt

* For ventiler med PN ≤ 10 (trykk-klasse, bar) og DN ≤ 250 (nominell diameter, mm) kan grått støpejern benyttes.

Materialer med betydning for stenge-/tappeorganets funksjon og pålitelighet skal dokumenteres som angitt nedenfor:

- For ventiler med $PN \leq 10$ og $DN \leq 250$ dokumenteres i henhold til NS-EN 10204 - "type 2.1".
- Stenge-/tappeorganer i konsekvensklasse 1 og 2 skal minst dokumenteres i henhold til NS-EN 10204 - "type 2.2" eller tilsvarende.
- Stenge-/tappeorganer i konsekvensklasse 3 skal minst dokumenteres i henhold til NS-EN 10204 - "type 3.1" eller tilsvarende.

Ved kontroll i henhold til NS-EN 10204-"type 3.1", skal den fagansvarlige godkjenne kontrollopplegget.

3.10 Bruksområde for rør

Tabell 3.2 under angir vanlige bruksområder for standardiserte, serieproduserte rør, avhengig av konsekvensklasse, relativ belastning og installasjonsform. Relativ belastning er produktet ($p \cdot D$) der p er karakteristisk trykk (MPa) og D er nominell rørdiameter (m). Dersom materialet benyttes utover materialtabellens begrensninger, skal rør klassifisert i konsekvensklasse 1 og 2 dokumenteres i henhold til NS-EN 10204 – "type 3.1", og rør i konsekvensklasse 3 og høyere i henhold til NS-EN 10204 – "type 3.2".

Tabell 3.2 Bruksområde for rør

<i>Frittliggende rør</i>	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3 og 4
Stålrør:	$p \cdot D \leq 3,5$	$p \cdot D \leq 2,5$	$p \cdot D \leq 2,0$
GRP-rør:	$p \cdot D \leq 2,0$	$p \cdot D \leq 1,6$	ikke anvendt
PE-rør	$p \cdot D \leq 0,6$	ikke anvendt	ikke anvendt
Duktile støpejernsrør:	$p \cdot D \leq 2,0$	$p \cdot D \leq 1,6$	ikke anvendt
Trerør:	$p \leq 0,4$ MPa	ikke anvendt	ikke anvendt
Forspente betongrør:	ikke anvendt	ikke anvendt	ikke anvendt
<i>Nedgravde rør</i>	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3 og 4
Stålrør:	$p \cdot D \leq 3,5$	$p \cdot D \leq 2,5$	$p \cdot D \leq 2,0$
GRP-rør:	$p \cdot D \leq 2,5$	$p \cdot D \leq 2,0$	$p \cdot D \leq 1,6$
PE-rør:	$p \cdot D \leq 1,2$	$p \cdot D \leq 1,0$	ikke anvendt
Duktile støpejernsrør:	$p \cdot D \leq 3,5$	$p \cdot D \leq 2,5$	$p \cdot D \leq 2,0$
Trerør:	ikke anvendt	ikke anvendt	ikke anvendt
Forspente betongrør:	$p \cdot D \leq 2,0$	$p \cdot D \leq 1,6$	ikke anvendt

Rør lagt i tunnel betraktes som nedgravde rør.

Materialer med betydning for rørets funksjon og pålitelighet skal dokumenteres slik:

- Rør uavhengig av materialtype, skal minst dokumenteres i henhold til NS-EN 10204 – “type 2.2” eller tilsvarende, bortsett fra forspente betongrør som dokumenteres i henhold til NS-EN 10204-”type 3.1”. Det skal minst tas ett prøvesett fra hver produksjonsserie/ dimensjon/trykk-klasse.
- Rør i bruddkonsekvensklasse 3 og høyere skal minst dokumenteres i henhold til NS-EN 10204 – “type 3.1” eller tilsvarende.

Vedlegg G.5 angir hvilke krav til dokumentasjon som i hvert enkelt tilfelle blir aktuelt avhengig av materialvalg.

Ved kontroll i henhold til NS-EN 10204 - “type 3.1” og NS-EN 10204 - “type 3.2” skal den fagansvarlige godkjenne kontrollopplegget.

4 Dimensjonering

4.1 Generelt

Dimensjonering av stenge-, tappeorganer og rør i stål, tre, aluminium og betong gjøres vanligvis ved kontroll i brudd-, ulykkes-, bruks- og utmattingstilstand.

Dimensjonering av rør, rørdeler og ventiler i duktilt støpejern og plast (GRP, PE) gjøres vanligvis ved kontroll i bruddgrensetilstand ved bruk av sikkerhetsfaktor som inkluderer både lastfaktor og materialfaktor. Dimensjonering med fast sikkerhetsfaktor skal ikke resultere i mindre solid konstruksjon enn ved bruk av metoden med lastfaktor og materialfaktor.

Anvendt beregningsmodell skal for aktuell konstruksjon og opptredende last angi materialspenninger og/eller deformasjoner slik at dette på en god måte dokumenterer konstruksjonens funksjonsevne og pålitelighet. Valgt beregningsmodell skal baseres på anerkjente beregningsstandarder, pålitelige teoretiske utredninger og/eller vel dokumenterte empiriske data.

Ved flerakset spenningstilstand, skal det for materialer med tilnærmet like mekaniske egenskaper i ulike retninger fastlegges jevnføringspenning i henhold til von Mises formel.

Begrenses dimensjonerende levetid av spesielle materialtekniske prosesser eller utmatting hvor dette ikke lar seg påvirke ved vedlikeholdstiltak, skal aktuell levetid kvantifiseres.

Ved kontroll av eldre konstruksjoner vises det til Vedlegg H.

4.2 Dimensjonering av stålkonstruksjoner inkl. stålrør

Dimensjonering kan skje med dimensjonerende laster i henhold til kapittel 2. Ut over dette vises det til NS 3472 [18] og NS-EN 13445 [19].

Ved dimensjonering av ny stålkonstruksjon skal nominell godstykkelse fratrekkes 1 mm på hver korrosjonsutsatt flate som nærmere beskrevet i Vedlegg B3. I forbindelse med standardiserte stålfiler kan det benyttes 10 % reduksjon av tverrsnittsdataene.

Materialets karakteristiske fasthetsverdi kan være flytegrense, men begrenset til 80 % av materialets garanterte bruddgrense. Dimensjonerende materialfasthet er karakteristisk fasthetsverdi dividert med materialfaktor.

Materialfaktorene i tabellen blir minimumsverdier så fremt ikke annet angis:

Tabell 4.1 Materialfaktorer

Sikkerhetsreserve:	Bruddgrensetilstand	Ulykkesgrensetilstand	Utmattingsgrensetilstand	Bruksgrensetilstand
Konstruksjon med plastisitetsreserve:	$\gamma_m = 1,25$	$\gamma_m = 1,10$	$\gamma_m = 1,00$	$\gamma_m = 1,00$
Konstruksjon uten plastisitetsreserve:	$\gamma_m = 1,60$	$\gamma_m = 1,30$	$\gamma_m = 1,00$	$\gamma_m = 1,00$

En konstruksjon har plastisitetsreserve hvis den er utført av duktile materialer med minst 15 % bruddforlengelse og tilfredsstillende bruddmekaniske egenskaper ved aktuell brukstemperatur.

En konstruksjon kan også ha plastisitetsreserve ved at flyting i ett ledd medfører endret lastbilde slik at andre deler av konstruksjonen overtar lasten.

En konstruksjon er uten plastisitetsreserve hvis materialet ikke oppviser noen klar flytegrense eller hvis konstruksjonen bryter sammen når flytegrense eller knekkgrense overskrides. Dette kan inntreffe ved velting, elastisk knekking eller i tilfeller med ikke tilfredsstillende bruddmekaniske egenskaper. Ved teoretiske beregningsmodeller for knekking som ikke tar hensyn til produksjonsunøyaktigheter etc., settes $\gamma_m > 1,6$ i bruddgrensetilstanden.

For konstruksjoner med plastisitetsreserve kan det for små områder med primær membran- eller bøyepening, benyttes $\gamma_m = 1,10$ i bruddgrensetilstand og $\gamma_m = 1,0$ i ulykkesgrensetilstand. Det forutsettes at områdenes utstrekning i hovedspenningsretning ikke overstiger $\sqrt{r \cdot t}$ eller maksimalt $5 \cdot t$, hvor r er krumningsradius for sylinder eller kuleskall og t er materialtykkelse. Jevnføringsspenning utenfor nevnte område skal samtidig ikke overskride en dimensjonerende spenning fastlagt med $\gamma_m = 1,25$ i bruddgrensetilstand og $\gamma_m = 1,10$ i ulykkesgrensetilstand.

For rørbobliger etc. der deformasjon kan gi bruddlignende tilstand, vises det til siste avsnitt i kapittel 6.2.

For konstruksjoner med plastisitetsreserve kan det for en lokal spenningsspiss som skyldes diskontinuitet, kjerv, etc., aksepteres $\gamma_m \leq 1,0$ i bruddgrensetilstand så fremt det ikke er fare for utmatting. Tillatt verdi for det enkelte tilfelle avhenger av beregningsmetodens usikkerhet, materialets bruddmekaniske egenskaper, kontrollnivå, etc.

For konstruksjoner i støpestål forutsettes det at materialfaktoren økes med minimum 25 % i forhold til tilsvarende valsede materialer.

4.3 Dimensjonering av aluminiumskonstruksjoner

Dimensjonering kan skje med dimensjonerende laster i henhold til kapittel 2. Ut over dette vises det til NS 3471 [20].

Materialets karakteristiske fasthetsverdi for korttidslast kan være garantert flytegrense, men begrenset til 80 % av materialets garanterte bruddgrense. For aluminiumskonstruksjoner som skal dimensjoneres for langtidslast, settes karakteristisk fasthetsverdi lik 80 % av korttidslastens karakteristiske fasthetsverdi.

Dimensjonerende materialfasthet er karakteristisk fasthetsverdi dividert med materialfaktor i henhold til tabell 4.1 i kapittel 4.2.

4.4 Dimensjonering av duktile støpejernsrør

Dimensjonering skjer med karakteristisk last og tillatt kapasitet ved kontinuerlig belastning (PFA) som angitt i NS-EN 545 [7].

Ved kontroll av ringspenning med karakteristisk innvendig trykk (statisk trykk + dynamisk trykk), skal ringspenningen ikke overstige 140 MPa. Ved fleraksial spenning skal jevnføringsspenningen, fastlagt i henhold til von Miseses formel, ikke oversige 150 MPa. Ved fastleggelse av materialspenning benyttes minstetykkelsen på røret som er nominell tykkelse fratrukket toleranseavviket, jf. NS-EN 545 [7] Annex A.

For mer beskrivelse om kontroll og dokumentasjon av duktile rør vises det til Vedlegg G.5.2.

4.5 Dimensjonering av GRP- rør

GRP-rør dimensjoneres med karakteristisk last som angitt i kapittel 2.

Frittliggende og nedgravde GRP-rør skal for alle konsekvensklasser oppfylle krav i henhold til NS-EN 1796 [9] eller tilsvarende standard (NS-EN 14364), men skal ha en sikkerhetsfaktor (FS_{min}) på 1,8 etter 50 år ved en kontinuerlig belastning lik karakteristisk trykk. Rørene skal ha en korttids ringstivhet (SN) på minimum 5000 N/m².

For nedgravde rør i konsekvensklasse 1 kan det, ut fra gitte forutsetninger, tillates en sikkerhetsfaktor (FS_{min}) på 1,6, jf. pkt. 6.2 Dimensjonering av rør

For mer beskrivelse om kontroll og dokumentasjon av GRP-rør vises det til Vedlegg G.5.3.

4.6 Dimensjonering av PE-rør

PE-rør dimensjoneres med karakteristisk last som angitt i kapittel 2.

Rørene skal for alle konsekvensklasser oppfylle krav i henhold til NS-EN 12201 [11] m/nasjonalt tillegg eller tilsvarende standard, men med sikkerhetsfaktor på 1,9 (også betegnet c = designfaktor).

PE-rør skal ha en minimum korttids ringstivhet, S_{calc} , på 5000 N/m².

For nedgravde rør i konsekvensklasse 1 kan det, ut fra gitte forutsetninger, tillates en sikkerhetsfaktor på 1,6, jf. kapittel 6.2 Dimensjonering av rør.

For mer beskrivelse om kontroll og dokumentasjon av PE-rør vises det til Vedlegg G.5.4.

4.7 Dimensjonering av trekonstruksjoner

Dimensjonering skjer med dimensjonerende last i henhold kapittel 2 og til NS 3470 med klimaklasse 3 og lastfordelingsfaktor $k_{fs} = 1,0$. I tillegg vises det til Vassdragstilsynets regler for kontinuerlig bygde trerør av 1942 [21].

4.8 Dimensjonering av armert gummiduk

Armert gummiduk benyttes i gummiluker og i manøvreringsputer. Dimensjonering skjer med karakteristisk last og bruddsikkerhet 2,0 etter 40 års levetid, alternativt bruddsikkerhet på 8,0 for ny duk med karakteristisk last som korttidslast.

For luftfylt gummiluke er maksimal tillatt overtopping 20 % av lukehøyden når luken står i øverste stilling.

5 Spesielle bestemmelser for stenge-/tappeorgan

5.1 Utforming

Stenge- og tappeorganer utformes med tanke på tilsyns- og vedlikeholdsvennlighet og slik at eventuelle skadekonsekvenser minimaliseres og funksjonalitet opprettholdes. Spesielt vurderes fare for fastfrysing og fare for blokkering med is/drivgods.

Utformingen av stenge- og tappeorganer skal eliminere skadelig vibrasjon, kavitasjon og erosjon. Behov for lufttilførsel nedstrøms tappeorgan må alltid vurderes.

Gummiluker skal være utstyrt med et automatisk nødåpnesystem for å hindre overbelastning. Ved kontrollert tapping av vann over gummiluke tillates det verken v-formet innknekking av duk eller at det oppstår vibrasjoner i duken.

5.2 Dimensjonering

Stenge- og tappeorganer skal generelt dimensjoneres for laster i henhold til kapittel 2.

For konstruksjoner innstøpt i betong kan det ved forenklet beregning forutsettes:

- Dimensjonerende skjærspenning mellom blåserenset stål og betong: 0,5 MPa
- Dimensjonerende flatetrykk mellom stål og betong: 15,0 MPa

Neglisjeres skjevbelastning på grunn av lukedeformasjon og andre skjevheter mellom luke og føring, kan flatetrykk som angitt nedenfor anvendes, når flater skal beveges og belastes i forhold til hverandre. Ved høyere påkjenning må skjevbelastning vurderes.

- Dimensjonerende trykk for plan bronselast mot glatt rustfri stålflate: 14,0 MPa
- Dimensjonerende trykk for plan polyamidlist mot glatt rustfri stålflate: 10,0 MPa

Sylindriske rullelukehjul som får mindre enn 100 000 omdreininger med belastning i løpet av levetiden, skal ikke ha Hertz-trykk i kontaktflate mellom skinne og hjul som overskrider $2,3 \cdot R_e$. Her er R_e det svakeste materialets flytegrense. Hertz-trykket skal heller ikke overskrider $5,4 \cdot HB$ (MPa) med HB lik det svakeste materialets Brinell-hardhet. For hjul som får mer enn 100 000 omdreininger med belastning skal Hertz-trykket ikke overstige $3,0 \cdot HB$ (MPa) når dette fastlegges som om banen er sylindrisk. Er hjul eller rullebaner utført av polymer, benyttes materialenes langtidverdier.

I forbindelse med fastleggelse av karakteristiske manøvreringskrefter regnes:

- Egenvekt av luke og opptrekk. For luke med ikke lukkede hulrom og ribber, steg etc., tas det hensyn til mulighet for manglende drenering grunnet tette dreneringshull, oppfylling av sand, grus, snø og is.
- All relevant hydrostatisk og hydrodynamisk last.
- All friksjonslast inkludert tetningsfriksjon, friksjon i lagringer og friksjon i eventuell hydraulisk sylindrer. For pakninger regnes tetningsfriksjonen ut fra en kombinasjon av pakningens forspenningskraft i tørr tilstand tillagt en tilleggs kraft pga vanntrykkets deformasjon av pakningen.
- Massekrefter neglisjeres dersom tyngdepunktets akselrasjon eller retardasjon er mindre enn $0,5 \text{ m/s}^2$.

Minimumsverdier for friksjonsfaktorer er:

- Gummi Shore A 85° mot rustfritt stål: 0,7
- Gummi Shore A 55° mot rustfritt stål: 0,9
- Glidelister av bronse uten smøring mot rustfritt stål: 0,6
- Glidelister av polymer uten smøring mot rustfritt stål: 0,4
- Tapplager generelt, bronse mot rustfritt stål: 0,25
- Rullelukehjul, smurt, godt beskyttet bronselager: 0,2
- Minimumsverdi for spesialglidelager, godt beskyttet: 0,15

Rullemotstandsarm for hjul mot skinne settes til 0,5 mm.

Er det lagringer med hardkrombelagt karbonstål i glideflate vurderes konsekvens ved forhøyet lagerfriksjon.

Resulterende lukkekraft for luker som skal lukke eller holdes lukket ved egen tyngde og/eller statisk vanntrykkresultant, skal ha en kontinuerlig nedoverrettet last som

overstiger motvirkende krefter med minst 25 %. Er bunntetning av flatgummitype skal lukketrykket være minst 5 kN/m tettelengde.

Ved fastleggelse av nødvendig spillkapasitet, skal det ut fra foreliggende usikkerhet regnes påslag til karakteristisk manøvreringskraft. *Påslagsfaktorer* angis nedenfor:

- Glideluker manøvrert mot fullt vanntrykk og glidelistfriksjon 0,6: 1,0
- Glideluker manøvrert trykkavlastet: 1,2
- Rulleluker og segmentluker: 1,2
- Sektorluker, klappeluker, valse- og segmentluker benyttet som flomluke: 1,3

Retningslinjens krav knyttet til last- og materialfaktorer omfatter også manøvreringsutstyret.

Virvelavløsningsfrekvenser skal ikke overskride 60 % av 1. ordens egensvingefrekvens for den konstruksjonsdel som virvelavløsningen påvirker.

Ved fastleggelse av stengende moment på ventiler eller luker som skal fungere som nødstengeorgan, skal det i bruddgrensetilstand regnes med maksimal stasjonær bruddvannføring.

For ventiler eller luker som skal kunne stenge ved maksimal bruddvannføring uten at disse har primær nødstengefunksjon, eksempelvis hvor vannvei er i konsekvensklasse 1, kan nødstenging regnes i ulykkesgrensetilstand.

5.3 Manøvreringsutstyr og manøvrering

Alt utstyr for manøvrering av stenge- og tappeorganer skal så langt som mulig tilfredsstillende Arbeidstilsynets "Forskrift om maskiner" [22] og tilsvarende forskrifter, eksempelvis "Forskrift om tekniske innretninger" [23].

Åpne-/lukketider for flomavledningsorganer og lukketid for nødstengeorganer skal være korte, forholdene i vassdraget tatt i betraktning. Der kort manøvreringstid vanskelig lar seg realisere, eksempelvis ved gummiluker, skal manøvreringstiden ikke overskride 1 time.

Lukketiden for nødstengeorganer skal være så kort som forsvarlig.

Uavhengig av om manøvrering av stenge- og tappeorganer skjer lokalt eller ved fjernkontroll, skal det være indikering på helt lukket og vanligvis på helt åpen stilling. Åpningen skal kunne kontrolleres lokalt enten som mekanisk eller digital posisjonsvisning. Fjernstyrte tappeorgan skal ha fjernvisning av posisjon.

Ved stenge- og tappeorganer som helt eller delvis kan fjernstyres, skal venter for henholdsvis lokalstyring og fjernstyring plasseres lokalt og bare kunne betjenes herfra. Lokal manøvrering av slike systemer skal skje ved bruk av relelogikk i kontaktorskapp.

Styresystemet for manøvrering av stenge- og tappeorganer skal sikres mot feilmanøvrering og mot utilsiktet manøvrering som følge av ytre påvirkning. Mikroprosessorstyrte anlegg for fjernstyring av stenge- og tappeorganer, skal tåle overspenninger og mekaniske feil uten at utilsiktet manøvrering finner sted.

Fjernstyrte tappe- og flomluker skal ha signal til driftssentral/personell for varsling av forhold med sikkerhetsmessig betydning. I tillegg skal det vurderes om fjernsynsovervåking av lukene til driftssentral er nødvendig, jf. damsikkerhetsforskriften § 7-1.

Stenge- og tappeorganer som benyttes til nødstenging, flomavledning eller beredskapstapping skal ha et manøvreringssystem med høy pålitelighet. I tillegg til manuell manøvrering (håndpumpe, sveiv), skal det for stenge- og tappeorganer i konsekvensklasse 2 og høyere etter en risikovurdering være tilrettelagt for bruk av reserveutstyr. Med dette menes fastmontert eller mobilt strømaggregat, mobilt oljehydraulikkaggregat eller tilkoblingsmulighet for reserve løfte- eller senkeinnretning.

Tilhørende elektrisk styring skal også ha høy pålitelighet. Etter en risikovurdering skal dublering av komponenter, reservedelshold samt mulighet for provisoriske styresystemer vurderes.

Etter fastlagte tilsynrutiner skal stenge- og tappeorganer gjennomgå en kvalitetskontroll for å verifisere anleggets tilstand. Kontrollen skal omfatte alle sikkerhetsaspekter knyttet til mulig feilmanøvrering som følge av feilkoblinger, feil som utløses av atmosfæriske forstyrrelser etc. Kontroll av nødstengeorganers funksjonalitet, inkludert prøving av utløser, skal inngå. Kontrollen skal dokumenteres og fremvises NVE på forespørsel.

5.4 Tekniske planer, idriftsettelse og sluttrapport

Ved bygging og fornyelse skal tekniske planer for stenge- og tappeorganer utarbeides i henhold til damsikkerhetsforskriften § 5-2 og § 5-14, og sendes NVE til godkjenning.

Ved idriftsettelse skal det foreligge en plan for første gangs prøving av stenge- og tappeorganer, jf. damsikkerhetsforskriften § 6-2. Tetthet og manøvrerbarhet skal verifiseres og dokumenteres i forbindelse med idriftsettelsen. Nødstengefunksjon skal testes. Testen utføres normalt med maksimal driftsvannføring.

Protokoll fra idriftsettelsen skal inngå i en sluttrapport som sendes NVE, jf. damsikkerhetsforskriften § 6-1.

6 Spesielle bestemmelser for rør og fundamenter

6.1 Utforming

Frittliggende og nedgravde rør med skjøter/koblinger og fundamenter, skal representere et entydig statisk system der det er definert hvor røret fastholdes og hvor det kan forskyve seg på grunn av trykk og temperaturendringer.

Alle rør skal ha mulighet for innvendig inspeksjon for tilsyn og vedlikehold, enten manuelt eller med fjernstyrt kamera. Frittliggende og nedgravde rør med nominell diameter større enn 600 mm utstyres med mannlokk eller demonterbare mellomstykker. Avstanden mellom adkomstene skal ikke overskride 500 m.

Rør og vannvei skal ha anordninger som muliggjør sikker fylling og tømming, samt utstyr/anordninger for inn- og utslipping av luft, jf. damsikkerhetsforskriften § 5-15. Lufterør sikres mot ising og utilsiktet tilstopping.

Rør i konsekvensklasse 1 skal i oppstrøms ende ha et arrangement som muliggjør manuell avstenging ved rørbruddsvannføring. Rør i konsekvensklasse 2 og høyere skal i rørets oppstrøms ende ha installert et stengeorgan med automatisk og fjernutløst rørbruddsstengefunksjon, jf. Vedlegg E.3. Etter utløst stenging skal kun lokal åpning være mulig.

Ved rør i konsekvensklasse 3 og høyere skal overvåking av inngående vannmengde sammenholdt med turbinvannføring installeres dersom det er store konsekvenser ved lekkasjer som er mindre enn største driftsvannføring.

6.2 Dimensjonering av rør

Alle rør skal beregningsmessig kontrolleres for karakteristisk innvendig overtrykk langs hele rørtraséen. Karakteristisk overtrykk tilsvarer høyeste statiske trykk tillagt maksimal svingegrense eller maksimalt dynamisk trykk (trykkstøt) beregnet for ulike snitt langs røret. Tilhørende minimumstrykk skal normalt ingen steder være under atmosfæretrykket. Et begrenset undertrykk kan aksepteres dersom tilfredsstillende sikkerhet kan dokumenteres.

Som utgangspunkt for fastleggelse av dynamisk trykk langs rørtraséen kan fagansvarlig bruke turbin/pumpeleverandørens garanterte data for maksimal trykkstigning/synking ved avslag på fullast med vannstand på HRV ved innløpet til turbin eller pumpe. Delastavslag eller avslag på LRV vurderes dersom dette kan gi ugunstigere trykk langs rørtraséen.

Dersom garantiverdien fra leverandør ikke foreligger, skal fagansvarlig fastsette en velbegrunnet verdi på trykkstøtet. Uten grundig dokumenterte beregninger skal ikke dynamisk trykk ved kraft- eller pumpestasjon settes lavere enn 30 % av statisk vanntrykk. Dette gjelder for rør i alle konsekvensklasser.

I vannveisystemet med mer enn ett inntak fastlegges dynamisk trykk ut i fra ugunstigste vannveiskonfigurasjon. Ved anlegg med frekvensregulator skal forholdene med kombinerte lasttilfeller som avslag – påslag eller påslag – avslag i ugunstigste tidspunkt vurderes. For anlegg med flere aggregater skal det på samme måte vurderes ulike driftskonstellasjoner.

Trykkforplantning langs rørtrasé ved turbin-/ventilavslag varierer og er avhengig av traséens geometri, rørmateriale og rørdimensjon, samt innvirkning av eventuell oppstrøms tunnel, svingesjakt etc.

Ved dimensjonering av rør i konsekvensklasse 2 eller høyere skal det framlegges dynamiske beregninger av trykkstøtet langs rørtraséen. Beregningene skal ta hensyn til turbinens eller pumpens karakteristikk med hensyn til trykk og vannføring som funksjon av tid.

For rør i konsekvensklasse 1 kan det forenklet antas lineært avtagende trykkstigning fra kraftstasjon til nærmeste frie vannspeil eller til vesentlig økt strømningsverrsnitt. Men

gjøres en slik forenkling skal rørene dimensjoneres med en sikkerhetsfaktor tilsvarende for samme rørtype i konsekvensklasse 2.

For nedgravde GRP-rør og PE-rør i konsekvensklasse 1, hvor det utføres dynamiske beregninger av trykkstøtet langs rørtraséen, kan det tillates en lavere sikkerhetsfaktor på rørene, jf. kap. 4.5 og 4.6.

Rør kontrolleres i bruddgrensetilstanden mot innknekking for et karakteristisk undertrykk som spesifisert i kapittel 2.3. Rør plassert i konsekvensklasse 2 og høyere skal tåle fullt innvendig vakuum i ulykkesgrensetilstand.

Ved normtrykkdimensjonering der koblinger, ekspansjoner, etc., dimensjoneres med innvendig karakteristisk vanntrykk som eneste last og der deformasjon kan gi bruddliknende tilstand, legges sikkerhetsfaktor 2,4 til grunn. Sikkerhetsfaktoren refereres til materialets karakteristiske fasthetsverdi som angitt i kapittel 4.2 (flytegrense), jf. Vedlegg G.1.4.

6.3 Dimensjonering av betongfundament

Formålet med betongfundamenter, som forankringsfundament eller som mellomfundament, er å holde røret på plass og hindre forskyvninger og setninger. Gjelder både for frittliggende- og nedgravde rør.

Aktuelle laster på fundamenter er nærmere beskrevet i Vedlegg G. Det vises også til "Rørledninger for vannkraftanlegg. Prosjektering, drift og vedlikehold" fra Vassdragsregulantenenes forening, 1993 [24].

Damsikkerhetsforskriften [1] samt NVEs retningslinjer for betongdammer [25] komplettert med NS 3473 [26] legges til grunn ved dimensjonering av forankringsfundamenter.

Sikkerheten mot velting og glidning dimensjoneres/kontrolleres for karakteristiske laster.

Før velting gjelder:

I bruddgrensetilstand skal forholdet mellom stabiliserende og veltende moment minst være 1,4. I stabiliserende moment kan det regnes med virkning fra fjellbolter eller spennstag, og for spennstag gjelder at kontroll og etterspenning av spennlast er mulig.

I ulykkesgrensetilstand skal forholdet mellom stabiliserende og veltende moment minst være 1,1. Virkning av fjellbolter og spennstag inngår.

Før glidning gjelder:

I bruddgrensetilstand skal sikkerheten mot glidning minst være 1,4 og i ulykkesgrensetilstand minst 1,1. I glidemotstanden kan medregnes friksjonskraften mellom sideflater og omkringliggende masser, inklusiv bruk av bolter eller spennstag. Ved nedgravde rør er det ikke tillatt å regne passivt jordtrykk mellom betongvegg og grøftevegg.

Ved fundamentering på løsmasse gjennomføres en vurdering/kontroll av grunnforhold med tanke på bæreevne og fare for telehiv.

Dersom fundamentet er utført med fundamentplate, kan massen over platen medregnes som stabiliserende vekt.

Dimensjonering av betongfundamenter for nedgravde rør må ses i sammenheng med samlet systemstabilitet for rør og fundament, jf. Vedlegg G.3.3.

6.4 Stabilitetskrav for nedgravde rør

6.4.1 Glidning

Sikkerhet av nedgravde rør mot glidning ivaretas av friksjonen mellom rør og omfyllingsmasser. For rørtraséer brattere enn 20° skal det utføres beregninger som viser hvordan stabiliteten av rørene blir ivaretatt. Det skal anvendes anerkjente beregningsmodeller ifm. stabilitetsanalysen. Som en forenkling kan det forutsettes en modell hvor rør og overliggende masse glir, og hvor glidflaten som medregnes vil være langs nedre halvdel av røret, samt etter to vertikale flater i omfyllingsmassen fra rør til terrengoverflaten. Sikkerheten mot glidning skal i bruddgrensetilstanden minst være 1,5, forutsatt at grøfttraséen er drenert. Det skal også gjennomføres kontroll av sikkerheten mot glidning ved vannfylt grøft til topp av rør i ulykkesgrensetilstanden, i fall dreneringen ikke er virksom, og med sikkerhet minst lik 1,1. Modellen tar ikke hensyn til lengdeendringer/bevegelser av hvert rør pga. trykk- eller temperaturvariasjoner. Ved vanskelige grunnforhold, og der det ellers reises tvil om global sikkerhet er ivaretatt, skal grunnforholdene vurderes av geoteknisk sakkyndig.

Sentrale parametre ifm. med en slik stabilitetsanalyse av nedgravde rør vil være egenvekten, friksjonsvinkelen og hviletrykkskoeffisienten i omfyllingsmassene, friksjonskoeffisienten mellom rør og masser samt overdekningen.

Dersom beregninger gir for liten friksjon mellom rør og masser kan sikkerheten økes ved bruk av for eksempel betongfundamenter, jf. pkt. 6.3, eventuelt i kombinasjon med strekkfaste koplinger.

6.4.2 Avvinkling

Ved horisontale og vertikale retningsendringer i rørtraséen oppstår det bendkrefter som kan bli betydelige. Kravet er at rør skal ligge i ro uten deformasjoner. Uten strekkfaste skjøter skal det i glidemotstanden bare regnes med stabiliserende bidrag fra overdekningsmassen vertikalt over røret, og maksimalt i en lengde på $1/3$ av lengden på tilstøtende rør. Stabiliserende bidrag fra rør- og vannvekt gjelder også i en lengde på $1/3$ av lengden på tilstøtende rør. Ved avvinkling tillates det ikke å regne passivt jordtrykk mellom rør og grøftevegg. Ved bendkrefter større enn tillatt kan for eksempel rørene stabiliseres med betongfundamenter.

Ved større trykk og dimensjoner på røret skal avvinklinger i rørskjøtene både vertikalt og sideveis, som tillates ut fra rørløseverandørens leggeanvisning, også kontrolleres. Kontrollen gjennomføres ved ugunstigste kombinasjoner av vanntrykk, rørdiameter, overdekning, etc. Det skal benyttes en montasjeunøyaktighet på $0,5^\circ$ i forbindelse med kontrollen, jf. Vedlegg G.3.3.

6.5 Transport, håndtering og lagring av rør

Rør skal transporteres, håndteres og lagres etter beskrivelse satt opp av fagansvarlig. Beskrivelsen skal som et minimum tilfredsstillende leverandørens krav. Hvis ikke annet er bestemt skal nødvendig dokumentasjon i henhold til kapittel 3.10 følges.

6.6 Tekniske planer og bygging

Ved bygging og fornyelse av rørgater skal det utarbeides tekniske planer som sendes NVE til godkjenning, jf. damsikkerhetsforskriften § 5-2 og § 5-15, og retningslinjer for planlegging og bygging [27].

Ved anlegg hvor bygging skjer over tid, og hvor det på forhånd er uklart hvordan enkeltkomponenter i rørtraséen (f.eks. betongfundamenter) skal detaljprosjekteres, kan NVE akseptere at planer for dette utarbeides separat etter at utgraving/preparering av grøft er påbegynt. Forutsetningen er at planer for enkeltkomponentene sendes inn og blir godkjent før arbeider igangsettes.

Tekniske planer skal minst inneholde:

- Kart med inntegnet rørtrasé i horisontal- og vertikalplanet
- Plassering av bend, spesielle rørdeler, forankringer samt overganger mellom ulike rørtyper, trykklasser og rørdimensjoner
- Dimensjonering av rør med tilhørende konstruksjonsdeler, inkl. trykkstøtsberegninger
- Kontroll av sikkerheten mot glidning av nedgravde rør i trasé med helning større enn 20°
- Stabilitetsberegning av betongfundamenter eller andre typer forankringer
- Kontroll av skråningsstabilitet der rør legges i bratt løsmasseterreng og ellers ved vanskelige grunnforhold
- Beskrivelse av hvordan rør skal legges relatert til stedlige forhold langs rørtraséen. Dette kan være ved viktige kontrollpunkter som kryssing av veg, jernbane, elv og bekkeløp, og ved retningsendringer i vertikal- eller horisontalplanet
- Drenering og bortledning av vann fra rørgrøft
- Plassering og beskrivelse av stengeanordning

Alle rør skal ellers legges i overensstemmelse med beskrivelse utarbeidet av fagansvarlig. For nedgravde rør skal blant annet preparering av grøftebunn med innbyggingstykkelse og komprimering av masser i forskjellige soner rundt røret være angitt. Beskrivelsen skal tilfredsstillende krav gitt i Vedlegg G.3.1, for øvrig i henhold til rørleverandørens spesifikasjoner. Rørene legges slik at de er tilfredsstillende sikret mot aksial forskyvning, utknekking og utglidning.

Ved bygging og fornyelse av rør skal det foreligge en plan for gjennomføring av det tekniske kontrollarbeidet i byggeperioden, jf. krav gitt i damsikkerhetsforskriften § 6-1. Planen skal bl.a. inneholde kontroll av rørleveranse, rørmontasje og utførelse av bygningstekniske arbeider i tilknytning til anlegget.

Kontrollør skal påse at beskrivelser, leggeanvisning og tegninger følges. Kontrollen kan for eksempel gjennomføres ved bruk av skjemaer hvor nødvendige data og opplysninger

ved rørlegginga inngår. Kontrollskjemaet kan inneholde rørnummerering, helning, avvinkling, omfyllingsmasser, komprimering, drenering, betongfundamenter, kryssing av veg og bekkeløp, koordinatfesting, overdekning, etc. Samlet dokumentasjonen på utførelsen skal inngå i en sluttrapport, jf. kap. 6.7. NVE kan også kreve innsendt periodiske rapporter i byggefasen.

6.7 Idriftsettelse og sluttrapport

Ved idriftsettelse skal det foreligge en plan for første gangs oppfylling av vannveien, jf. damsikkerhetsforskriften § 6-2. Det skal kontrolleres at rør med koblinger og muffe er tette og at det ikke har oppstått svikt ved fundamenter. Med tett stengeorgan oppstrøms og nedstrøms kan tetthet for nedgravd rør kontrolleres med presisjonsmanometer eller ved prøving med statisk trykk ved vannstandsmåling i stigerør. Er maksimalt statisk trykk over 5 bar, praktiseres normalt trinnvis trykkøkning og mellomliggende kontroll dersom annet ikke er beskrevet i oppfyllingsprosedyren. Ved kontrollen tas det hensyn til aktuelle temperaturvariasjoner, vannmetting av betongforing og sig av PE- eller GRP-rør.

Prosjekteringsforutsetninger knyttet til fastlagt karakteristisk innvendig rørtrykk ved turbin eller pumpe skal kontrolleres ved prøve og dokumenteres ved idriftsettelsen. Forholdene ved andre vannstander enn ved prøvevannstanden kan dokumenteres ved beregning. Videre kontrolleres det at andre normale driftssituasjoner, for eksempel med full pålasting eller ved bruk av omløps- eller tappeventiler, ikke gir ugunstigere forhold enn forutsatt i prosjekteringen.

Ved bygging og fornyelse av rørgater skal det utarbeides en sluttrapport med resultat av alle prøver og inspeksjoner samt ajourførte tegninger. Protokoll fra idriftsettelsen skal inngå i rapporten. Rapporten sendes NVE senest 6 måneder etter avslutning av arbeidene, jf. damsikkerhetsforskriften § 6-1 og retningslinjer for planlegging og bygging.

6.8 Tilsyn med rør

Det skal foreligge en plan for overvåking av røret med tilhørende komponenter, jf. damsikkerhetsforskriften § 7-2. For småkraftverk hvor inntaksdammen kommer i konsekvensklasse 0 og trykkrøret i konsekvensklasse 1 eller høyere, vil tekniske krav i damsikkerhetsforskriften kun gjelde for røret. NVE kan for et slikt konkret anlegg gi dispensasjon fra kravet om fullt tilsynsprogram for røret. Et forslag til forenklet tilsynsprogram skal utarbeides og sendes NVE, og senest samtidig med innsending av sluttrapporten, jf. siste avsnitt i kap. 6.7.

På grunn av faren for at større røtter o.l. på sikt kan gjøre skade på nedgravde rør vil ikke NVE tillate at det beplantes skog/vokser opp større trær over og nær inntil rørgata. Jf. ellers damsikkerhetsforskriften § 5-6 om nødvendig adkomst til et vassdragsanlegg for tilsyn, drift og vedlikehold.

7 Referanser

- [1] OED (2010), Forskrift om sikkerhet ved vassdragsanlegg (damsikkerhetsforskriften).
- [2] NVE (2003), Retningslinjer for laster og dimensjonering.
- [3] NS-EN 10204 (2005), Metalliske materialer, Typer av inspeksjonsdokumenter.
- [4] NS-EN 1503 (2000), Ventiler - Materialer for hus og deksler.
- [5] NS-EN 1563 (1997), Støperiteknikk – Kulegrafittjern.
- [6] SN-EN 10203 (1992), Cold reduced electrolytic tinplate.
- [7] NS-EN 545 (2002), Vannledninger, rør, rørdeler og tilbehør av duktilt støpjern og deres sammenføyninger, Krav og prøvingsmetoder.
- [8] NS-EN 1561 (1997), Støperiteknikk - Grått støpejern
- [9] NS-EN 1796 (2006), Rørledninger av plast for vannforsyning med og uten trykk, Glassfiberarmert herdeplast (GRP) basert på umettet polyesterplast (UP).
- [10] NS-EN 14364 (2009), Avløpsledninger av plast med eller uten trykk - Glassfiberforsterket herdeplast (GRP) basert på umettet polyesterharpiks (UP) - Krav til rør, deler og skjøter.
- [11] NS-EN 12201 (2003), Rørledninger av plast for vannforsyning, Polyetylen (PE), Del 1: Generelt.
- [12] NS-EN 338 (2003), Konstruksjonstrevirke – Fasthetsklasser.
- [13] NS 3470 (1999), Prosjektering av trekonstruksjoner, Beregnings- og konstruksjonsregler, Del 1: Allemenne regler.
- [14] NS-EN 206-1 (2003), Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar.
- [15] NS-EN 639 (1994), Generelle krav til trykkør av betong inklusive skjøter og deler.
- [16] NS-EN 641 (1994), Armerte sirkulære trykkør av betong inklusive skjøter og deler.
- [17] NS-EN 642 (1994), Forspente sirkulære og ikke-sirkulære trykkør av betong, inklusive skjøter, deler og spesielle krav til stålforspenning for rør.
- [18] NS 3472 (2001), Prosjektering av stålkonstruksjoner, Beregnings- og konstruksjonsregler, 3. utg.
- [19] NS-EN 13445 (2009), Ikke-fyrte trykkbeholdere.
- [20] NS 3471 (2001), Prosjektering av aluminiumskonstruksjoner, Beregnings- og konstruksjonsregler.
- [21] NVE (1942), Vassdragstilsynets regler for kontinuerlig bygde trerør.
- [22] Arbeidstilsynet (2009), Forskrift om maskiner.
- [23] Arbeidstilsynet (1982), Forskrift om tekniske innretninger.

- [24] Vassdragsregulantenenes forening (1993), Rørledninger for vannkraftanlegg. Prosjektering, drift og vedlikehold.
- [25] NVE (2005), Retningslinjer for betongdammer.
- [26] NS 3473 (2003), Prosjektering av betongkonstruksjoner, Beregnings- og konstruksjonsregler.
- [27] NVE (2001), Retningslinjer for planlegging og bygging.

Vedlegg A. Materialer/ Stål

Ståltykkelse, beregningstemperatur og eventuell varmebehandling av påkjente sveiser er vesentlig ved valg av kvalitetsklasse, herunder krav til slagseighet. For vanlig lagerført stål benyttes ofte følgende grenser.

Tabell A.1 Veggtykkelse og materialkvalitet

Standard og materialkvalitet	NS -EN 10025-2	NS -EN 10025-2
Tilstand og maksimum veggtykkelse	S235JR	S355J2
-10 °C, Ikke sveist, eller varmebehandlet etter sveising	≤ 30 mm	> 30 mm
-10 °C, Bærende deler sveist uten varmebehandling etterpå	≤ 10 mm	≤ 28 mm
-30 °C, Ikke sveist, eller varmebehandlet etter sveising	≤ 10 mm	> 30 mm
-30 °C, Bærende deler sveist uten varmebehandling etterpå	0 mm	≤ 17 mm

Ved lavere temperaturer og/eller større godstykkelser enn angitt i tabellen, brukes finkornstål, eksempelvis i henhold til NS-EN 10025-3, kvalitetsklasse N eller NL.

Vedlegg B. Dimensjonering generelt

B. 1 Bruk av sikkerhetsfaktorer eller leverandørregler

Ved dimensjonering med faste sikkerhetsfaktorer eller leverandørregler benyttes karakteristisk last.

For trykkpåkjennte konstruksjoner kan NS-EN 13445 benyttes. Standarden gjelder hovedsakelig konstruksjoner av stål. Ved overveiende statisk belastning samt lastforutsetninger, beregningsregler, utførelse og kontroll slik standarden forutsetter, skal fastlagte globale spenninger hovedsakelig oppvise 1,5 som sikkerhet mot flyting og 2,4 som sikkerhet mot brudd. Standardens beregningsregler inkluderer dessuten kontroll mot utmatting.

Komponenter i vassdragsanlegg har ofte andre lastforutsetninger enn det standardiserte beregningsregler forutsetter. NS-EN 13445 åpner for alternative beregningsmetoder for alle typer laster, herunder bruk av partialkoeffisienter.

NS-EN 13445 benytter Tresca kriteriet ved kombinerte spenninger i motsetning til denne retningslinjens kapittel 4.1 og NS 3472 som benytter von Miseses kriterium. Ved en dominerende hovedspenning gir kriteriene det samme resultatet.

NS-EN 13445 tillater lokal flyting ved lokale spenningsspisser når det forutsettes overveiende statisk belastning.

For mindre stålrør kan NS-EN 13480 benyttes i stedet for NS-EN 13445. For flere rørtyper finnes også egne standarder som i hovedsak beskriver rørmaterialenes kvalitet og dimensjoner. I liten grad behandles dimensjonering hvor rør inngår i et system.

Ved bruk av standarder for ulike konstruksjoner, eventuelt leverandørregler, kontrolleres dimensjonering og sikkerhetsnivå ut fra NVEs krav. En bør imidlertid ikke underskride det sikkerhetsnivå som standarder og leverandørregler anbefaler, selv om det tilsynelatende er høyere enn det minimum som NVE forutsetter.

Skruer kan beregnes etter NS-EN 13445. Ved beregning etter NS 3472 skal f_y (flytegrense) benyttes i beregningene i stedet for f_u (bruddgrense). Skruer utsatt for varierende belastning skal dimensjoneres for utmatting og skal ha kontrollert tiltrekking.

Nagleforbindelser kan beregnes som skjærpåkjennte skruer.

B. 2 Dimensjonerende levetid, utmatting

Ved komponenter hvor materialegenskapene reduseres med tiden, eller hvor en vil få en svekkelse på grunn av reduserte muligheter for tilsyn og vedlikehold, bør dimensjonerende levetid være minst 50 år når annet ikke fastlegges særskilt. Det samme gjelder for komponenter utsatt for utmatting.

Ved utmattingsgrensetilstand kan lastfaktor $\gamma_f = 1.0$ benyttes i forbindelse med utmattingskurvene i NS 3472, 3. utgave eller NS-EN 13445-3, under forutsetning av at antall lastvekslinger multipliseres med følgende faktorer, jf. NS 3490, tabell J.3:

Tabell B.1 Faktor for lastvekslinger

Bruddkonsekvens	Tilgjengelighet for inspeksjon og reparasjon		
	Ikke, eller vanskelig tilgjengelig	Tilgjengelig	
		I vannveien	Utenfor vannveien
Klasse 2 og høyere	10	3	2
Klasse 1	3	2	1

For komponenter i tørr luft benyttes kurver i henhold til fig. 28 og i ferskvann eller fuktig luft i henhold til fig. 29 i NS 3472 3. utgave eller eksempelvis fig. 17-4 i NS-EN 13445-3, variabel amplitude.

Komponentene behøver vanligvis ikke å kontrolleres mot utmatting hvis det under drift er nær statisk belastning og mindre enn 1000 fulle lastvekslinger mellom ikke påkjent og normalt påkjent tilstand.

Komponentene er ofte utsatt for en kombinasjon av ulike variable påkjenninger, og vanligvis benyttes Miner-Palmgrens delskadeteori ved vurderinger som eksempelvis angitt i de ovenfor nevnte standarder.

For varegrinder og andre komponenter hvor lasttransienters frekvens kan avhenge av spesielle forhold, eksempelvis tilstopping, bør vibrasjoner regnes ut fra minst 3 ganger normal bruttohastighet.

B. 3 Beskyttelse mot nedbrytning

Utsatte flater beskyttes med egnet overflatebehandling. For flater utsatt for sollys, vurderes beskyttelse mot UV-stråling. Ved nedgravde komponenter tas det hensyn til fare for mekanisk skade og aggressive grunnforhold.

Godstykkelsesfradrag for korrosjonsutsatt flate som angitt i kapittel 4.2 gjelder selv om flaten er korrosjonsbeskyttet med maling, eksempelvis i henhold til EnFOs "Malingspesifikasjon for maskinteknisk vannkraftutstyr", Publikasjon 277-1998 eller NS-EN ISO 12944. Fradraget gjelder ikke ved:

- Flater som er lett tilgjengelig for vedlikehold.
- Flater med "ekstra" korrosjonsbeskyttelse, eksempelvis varmforsinket eller katodisk beskyttet kombinert med maling.
- Innvendig i duktilt støpejernsrør med sementbelegging.
- Utvendig på duktilt støpejernsrør med tilfredsstillende korrosjonsbeskyttelse når røret er frittliggende eller nedgravet over grunnvannsspeil.
- Konstruksjoner med kort levetid.

- For nedgravde koblinger og rørskjøter som har skrueforbindelser, benyttes vanligvis beskyttelsestape eller tilsvarende som “ekstra” korrosjonsbeskyttelse.
- Rør av glassfiberarmert umettet polyester (GRP-rør) har vanligvis et slitesjikt som ikke inngår ved kapasitetsfastsettelse.

Vedlegg C. Stenge- og tappeorganer, luker

C. 1 Lukeblad og porter, plan- og skallkonstruksjoner, lukelager

Lukeblad og porter beregnes vanligvis som fritt opplagret sentrisk på glidelister/rullebaner eller anslagslister.

For lukeblad og porter konstruert med frontplate understøttet av bjelker beregnes to-akset spenningstilstand med samvirke mellom plate og bjelker.

For lukeblad og porter utført som sylindrisk skallkonstruksjon med gavlplater tas det ved knekkberegning hensyn til aksielle skallkrefter. Beregninger kan gjøres med elementmetode eller i henhold til NS-EN 13445. Ved bruk av andre beregningsmodeller må det kontrolleres at sikkerhetsnivået er sammenlignbart med det som NS-EN 13445 forutsetter. Ved bruk av teoretiske beregningsmodeller korrigeres disse for geometrisk formfeil, slankhet, egenspenninger m.m.

For lukeblad utført som torsjonsstiv bokskonstruksjon, eksempelvis klappeluke eller segmentluke med ensidig opptrekk, kan kontroll av vridningsdeformasjon samt spenningskonsentrasjoner ved opptrekkside og ved lagre bli av betydning.

Portblad utført som dobbeltkrum endebunn kan dimensjoneres i henhold til NS-EN 13445.

For store luker utsatt for sollys, vurderes det om det må tas hensyn til termisk utvidelse.

Luker med oppstrøms tetning må spesielt kontrolleres for utbøying langs tetningsflaten.

Det bør anvendes smøringsfrie lagringer med korrosjonsfrie flater. Avhengig av forholdene beskyttes disse mot forurensning med egne tetninger. Kravet gjelder også spesiallagre, eksempelvis sfæriske glidelagre.

Utforming og dimensjonering av luftearrangement vektlegges spesielt for tappeanlegg med trykkdifferanse over 20 m. Referanser er EnFO-publikasjon nr. 101-1995 "Høytrykks tappeluker" og VHL-rapport "Retningslinjer for hydraulisk utforming av tappeluker" (1974) med tilhørende tilleggsrapporter. Forutsettes det at luftbehovet i m^3/s tilsvarer maksimal tappevannføring i m^3/s , er dette et anslag som for de fleste tilfeller ligger på trygg side av det nødvendige. Unntak gjelder når tapping medfører skummende avløp som fyller nedstrøms lukket vannvei. Er derimot plassforhold og vannstand nedstrøms tappeorganet slik at luft fra nedstrøms side kan påregnes, blir nødvendig tilført luftmengde svært liten. Maksimal lufthastighet i lufterør settes normalt til ca 50 m/s. Det skal legges spesiell vekt på faren for ising vinterstid.

C. 2 Platekasse

Utvendig overtrykk på grunn av vanntrykk mellom innstøpt platekasse og betong må overføres til omkringliggende betong dersom platekassen ikke er selvbærende.

Platekassen utføres med ribber, eventuelt med forankringsstål. Det kontrolleres at betong og eventuell armering har tilstrekkelig kapasitet for overføring av aktuelle krefter.

Forankringsstål kan regnes i henhold til NS 3473. Ved dynamiske påkjenninger forutsettes det at all last overføres av forankringsstål, ikke av ribber.

For platekasser som utsettes for høy vannhastighet, vurderes utmatting av platefelt.

Selvbærende, sirkulære platekasser kan dimensjoneres etter NS-EN 13445. Innstøpte, sirkulære platekasser kan dimensjoneres som innstøpte rør, eventuelt med ribber og/eller forankringsstål avhengig av utførelsen.

Lukeføringer og portkarmen med tilhørende del av platekassen er samvirkekonstruksjoner mellom stål og betong, hvor en vanligvis tar hensyn til deformasjonsmønstre og ulike deformasjonsmoduler. Beregninger kan i prinsippet gjøres iht. NS 3473/3476.

Med hensyn til utforming og dimensjonering av betongpropper vises det til kapittel F. 2.

C. 3 Manøvreringsutstyr

Manøvreringsutstyrets kapasitet skal sikre manøvrering ved alle aktuelle forhold og ha en gjennomtenkt utførelse.

Motordrevet manøvreringsinnretning skal ha vern som hindrer skade ved kjøring mot endeposisjon. Tilsvarende bør det være vern som begrenser manøvreringskraften ved fastkjøring.

For manuelt manøvreringsutstyr bør kraft på sveiv eller håndtak normalt ikke overstige 100 N. Ved setting eller løstaking ved åpning kan maksimalkraften være 250 N. Det samme gjelder manuell nødbetjening av motordrevet manøvreringsinnretning.

For elektrisk utstyr anbefales:

- FEU 1995: Forskrift om elektrisk utstyr.
- FEL 1998: Forskrift for elektrisk lavspenningsanlegg.
- NEK 400: Elektriske lavspenningsanlegg.

Beskyttelsesklasse i henhold til IEC-norm: Endebrytere, koblingsbokser, etc. - IP 65. Motorer og elektriske skap - IP 54. Trekkbokser etc. som dykkes fylles med egnet tetningsmasse.

Elektriske styreskap bør ha aktuelle signallamper og stillingsvisere, amperemeter og startteller for motorer. Innlagt varme og innvendig belysning anvendes i den grad dette blir av betydning for å sikre funksjoner. Utførelse og merking skal være oversiktlig og gjennomtenkt.

Nødstop og annen nødbetjening skal kunne virke uavhengig av ordinær styringslogikk, PLS.

Benyttes det luke som rørbruddsstengeorgan, blir krav til manøvrerings-/utlørsystem med overvåking etc. sammenlignbare med krav stilt til rørbruddsventil. I denne sammenheng vises det til Vedlegg E. 3.

C. 4 Glideluker

Glideluke anvendes både som overflateluker og i dykkede tappeløp. Glideluker kan ha funksjoner som tappeluke, reguleringsluke, flomluke og inntaksluke. Som tappeluke egner glideluken seg vanligvis også for bruk i mellomstillinger.

Moderne glideluker lages av stål. Eldre eksemplarer av beskjedne dimensjoner forekommer utført av støpejern eller trevirke. Treluker er utstyrt med ståldeler som skruer og beslag. Disse betraktes som stålkonstruksjoner.

Glideluker dimensjoneres som lukekonstruksjoner generelt. For å hindre fastkiling ved stenging kan lukebladet ha sideveis styresko. Er lukebredden større enn lukehøyden, bør styreruller eventuelt styreskinner vurderes.

For tappeluker med trykk opp til ca. 20 m er det sjelden problemer knyttet til kavitasjon og vibrasjon. For trykk over 40 m er det nødvendig med spesiell utforming av lukeblad, føringsnisjer og platekasse. Strømning gjennom trange spalter, spesielt mellom lukeblad og toppstokk, kan gi uheldige hydrauliske effekter. Dykket utløp av høytrykks tappeluke nødvendiggjør spesiell aktsomhet på grunn av vibrasjons- og kavitasjonsfare, jf. VHL-rapport "Retningslinjer for utforming av tappeluker" (1974).

Glideluker utstyres normalt med separate gummitetninger. En enklere løsning består av kombinerte tette- og glidelister. Denne er sjelden dråpetett. Små høytrykks tappeluker kan ha metallisk "knivetninger" som bunnetting. Motgående deler er da av rustfritt stål.

C. 5 Rulleluker

Rulleluker anvendes primært som inntaksluke i vannvei til vannkraftaggregat. Når rulleluken har funksjon som inntaksluke, bør den være selvlukkende.

Rulleluker egner seg vanligvis ikke for kontinuerlig tapping i mellomstillinger ved trykk over ca 20 m eller der det ikke er fristråleavløp. Pulserende trykkvariasjoner ved lukens underkant kan sette lukeblad med opptrekk i svingninger. Hjulene er vanligvis heller ikke dimensjonert for langvarig pulserende last.

For dimensjonering vises det til glidelukekommentar og krav knyttet til hjuldimensjonering i kapittel 5.2. Når bomberte hjul (hjul med dobbelkrum bane), belastes høyere enn 1000 kN, skal detaljerte beregninger foretas.

Last fra hjul medfører lokal deformasjon langs rullebane. Dette kontrolleres som samvirkekonstruksjon mellom stål og betong.

Normalt har hjul faste hjulaksler. Trenger luken mer enn 4 hjul, kan fleksibilitet i lukeblad eller boggie-oppdeling sikre ønsket lastfordeling mellom hjulene.

Rullelukehjul utføres vanligvis av martensittisk rustfritt støpt eller valset stål.

C. 6 Segmentluker

Segmentluke anvendes som flomluke ved dammer, reguleringsluke i dykkede tappeløp og som inntaksluke. Luken har relativt sett små manøvreringskrefter, men friksjonsmomentet fra tapplagret må tas med i dimensjoneringen. Luken konstrueres normalt uten lukenisjer.

I dykkede tappeløp er segmentluke mindre egnet hvis den får bakvann ved tapping.

Segmentluke med ensidig opptrekk kontrolleres for vridning.

Segmentluker utføres vanligvis med en konstant krummende frontplate hvor krumningssentret sammenfaller med lagringsaksen. Luker utført som bokskonstruksjoner kan ha ensidig montert manøvreringsutstyr og skal forsynes med mannhull for innvendig adkomst. Segmentluker utstyres vanligvis med sideveis styreruller.

C. 7 Klappeluker

Klappeluke benyttes som manøvrerbart flomavledningsorgan eller tappeluke for avledning av is og drivgods. Luken har vanligvis ensidig hydraulisk opptrekk. Tosidig opptrekk eller underliggende teleskopsylinder, eventuelt gummiaktuator, er mindre vanlig.

Klappeluke kan ha betydelig lastvariasjon ved manøvrering avhengig av lukeposisjonen. Likeledes kan lukelagerlasten variere betydelig fra lukelager til lukelager. Her vil også statisk trykk under luken når denne er åpen og vann strømmer over, bli av betydning. Luke med ensidig opptrekk kontrolleres for vridning.

Vanlig moderne utførelse av større klappeluke består av torsjonsstiv, lukket bokskonstruksjon med ensidig opptrekk. Det skal være mannhull som adkomst for tilsyn og vedlikehold. Ved valg av tetningsutførelse og opptrekkarrangement tas det hensyn til fare for fastkiling av fremmedlegemer, skadevirkninger fra is, etc. Tetningssystemet er vanligvis mer problematisk for klappeluker enn for segmentluker.

C. 8 Gummiluker

Gummiluke anvendes for begrenset oppdemming med beskjedent oppstrøms magasinivolum.

Lukekroppen består av et oppfyllbart røraktig legeme av armert gummiduk. Lukekroppen fylles med trykkluft eller vann som må frostsikres.

Luke med frontskjold av stål som løftes av underliggende oppblåsbar gummipute, anses som klappeluke, ikke som gummiluke. Krav knyttet til manøvreringssystem, fyllings- og tømme-system blir imidlertid her som for gummiluker.

For å unngå v-formet innknekking av lukekroppen og vibrasjon i denne, forutsettes det at laveste høyde for delvis hevet luke når det tappes vann over denne, er 80 % av konstruksjonshøyden for vannfylt luke. Luftfylte luker bør enten være fullt oppe eller helt nede. Luketyper egner seg ikke som reguleringsluke.

I gummilukers manøvreringssystem inngår to uavhengige kompressorer, eventuelt to uavhengige pumper, for fylling av lukekropp. For ordinær tømning skal det være to uavhengige ventiler. Dertil kommer et automatisk virkende og uavhengig nødtømmesystem som skal hindre overbelastning av gummilukens duk ved vannovertopping.

C. 9 Sektorluke

Sektorluken er en damluke som tapper fra fri vannoverflate. Luketypen har vært benyttet i forbindelse med tømmerfløting samt for fjerning av oppstrøms is og drivgods.

Manøvrering skjer med tosidig opptrekk eller med vannhydraulikk ved at lukebrønnen fylles/tømmes.

For nyinstallasjon anses sektorluke uaktuell.

C. 10 Valseluke

Valseluken var første damluke av stål som ble i stand til å spenne over stor bredde.

Tapping skjer fra konstruksjonens underside. Konstruksjonens bærende element er en sylinder som spenner over lukeløpet. I tillegg er luken utstyrt med et skjold som enten dekker nederste del av oppdemningshøyden eller som ligger foran bæresylinderen og dekker hele oppdemningshøyden. Ved manøvrering ruller og klatrer konstruksjonen på skinner/fortanninger i sidene. Manøvrering skjer med ensidig kjedeopptrekk.

For nyinstallasjon anses valseluke uaktuell.

Vedlegg D. Stenge- og tappeorganer, stengsler

Stengsler utføres med horisontale bjelker (bjelkestengsel) eller vertikale nåler (nålestengsel). Bjelkene i et bjelkestengsel spenner over hele strømløpet. Nålene i et nålestengsel er lagret mot et anlegg i bunnen av strømløpet og mot en bjelke som spenner over strømløpet.

Stengsler anses uegnet for flomavledning, og tillates ikke, jf. damsikkerhetsforskriften § 5-8. Stengslene har størst anvendelse som provisoriske avstengninger som i regelverksammenheng skal oppfattes som stenge-/tappeorgan. Bjelker og nåler kan være utført av stål, aluminium eller trevirke. Anleggsflater og føringer utføres normalt i rustfritt stål.

Bjelker og nåler i aluminium gir på grunn av lav E-modul store deformasjoner som en må ta hensyn til.

Vedlegg E. Stenge- og tappeorganer, ventiler

E. 1 Ventilfunksjoner

Aktuelle ventilfunksjoner er:

- Stenging og åpning skjer uten vanngjennomstrømning. Revisjonsventiler er av denne type. Dominerende belastning blir vanntrykk.
- Stengning og åpning skjer normalt uten vanngjennomstrømning. Ventilene skal i en ulykkesituasjon kunne stenge ved en betydelig vanngjennomstrømning, men med redusert sikkerhetsfaktor. I tillegg til statisk vanntrykk har en dynamiske krefter fra strømmende vann.
- Nødstenging hvor stenging skjer med betydelig vanngjennomstrømning. Trykklassenormering tar ikke hensyn til slik funksjon. Ventil som fungerer som nødstengeventil for turbin, dimensjoneres for stenging ved maksimal turbinvannføring. Rørbruddsventil dimensjoneres for stenging ved maksimal stasjonær bruddvannføring. For slike ventiler er de dynamiske kreftene fra strømmende vann vesentlig.
- Tapping med betydelig og varierende vannføring over lang tid. Her benyttes spesielle ventiltyper hvor manøvreringsevne, kavitasjonssikkerhet og utmattingssikkerhet er viktige faktorer.

E. 2 Dimensjonering

Seriefremstilte ventiler er i stor grad standardisert ut fra trykkklasse og normtrykk (PN). I denne sammenheng legges det ofte til grunn standarder som angir krav til tetthet, materialer og dokumentasjon, eksempelvis NS-EN 1074 som benyttes for ventiler i vannforsyningsanlegg. For ventiler etter denne standard skal karakteristisk trykk ikke overstige PFA-trykket.

Ventilhus trykkprøves vanligvis med 1,5 ganger normtrykket (PN). Tetthetsprøve for stengt ventil skjer som regel ved normtrykk.

Hydrodynamisk last ved vanngjennomstrømning kan bli betydelig. For spjeld- og kuleventiler anvendt som nødstengeorgan, er lasten størst ved delåpning. Her benyttes loddarm for å starte og å avslutte lukkebevegelsen. I mellomposisjon blir den hydrodynamiske lasten dominerende, gir stengende moment og er bestemmende for dimensjoneringen av ventilpådraget som skal bremse stengehastigheten. Aktuell hydrodynamisk last fastlegges normalt ved hjelp av erfaringsdata som funksjon av ventildimensjon, ventilåpning og gjennomstrømningshastighet.

Seriefremstilte ventiler har ofte pådrag tilpasset manøvrering ved liten trykkdifferanse, det vil si begrenset vannhastighet. For ventiler i henhold til NS-EN 1074 øker maksimalt tillatt vannhastighet fra 2,5 m/s ved PN 6 via 3 m/s ved PN 10, 4 m/s ved PN 16 opp til 5 m/s ved PN 25.

For ventiler som benyttes til kontinuerlig tapping eller regulering av vannstrømmen blir kavitasjonsproblematikk vesentlig. Skadelig effekt kan til dels motvirkes ved egnet materialvalg og god ventilutforming. For ventil med fritt utløp kan lufting være uproblematisk. For ventil med avløp til vannfylt rør, eksempelvis rørbruddsventil, er det viktig å tilføre luft på riktig sted. Se for øvrig C. 1. Dessuten blir størrelsen av nedstrøms strømningsstverrsnitt av betydning. Ved tappesystemer hvor det ikke er behov for å regulere vannføringen, kan man med fordel benytte nedstrøms blendesats.

Større, ikke seriefremstilte ventiler dimensjoneres særskilt i hvert enkelt tilfelle ut fra faktiske belastninger. I tillegg til generelle regler for materialvalg og sikkerhetsfaktorer legger leverandørene ofte til grunn egne erfaringsdata ved dimensjoneringen.

E. 3 Rørbruddsventil

Som rørbruddsstengeorgan ved små og mellomstore trykk velges vanligvis spjeldventil. Ved høye trykk kan kuleventil komme til anvendelse. Med en enkeltvirkende hydraulisk sylinder for åpning og loddarm for lukking, kan disse gjøres selvstengende slik at ventilen stenger uten ekstern energitilførsel. En blende som begrenser oljestrømmen ut fra hydraulikksylinderen når rørbruddsventilen stenger, gir ventilen en kontrollert og akseptabel lukketid.

Alternativ til rørbruddsventil er selvstengende luke, for eksempel rulleluke.

Velges et annet stengesystem hvor stenging avhenger av fjærkraft eller trykkolje fra akkumulator, må det kontrolleres at det under hele stengeforløpet er tilstrekkelig manøvreringskraft og, spesielt for spjeld- eller kuleventiler, tilstrekkelig bremskraft for å få kontrollert lukking under alle forhold. Benyttes glideluke eller skyvespjeldventil blir siste del av stengingen kritisk. Da er nødvendig manøvreringskraft størst og akkumulatortrykket minst.

Automatisk utløsning av stengning ved rørbrudd skal være uavhengig av ytre strømtilførsel, og stilles inn for utløsning ved en vannføring 10-15 % over maksimal turbinvannføring, eventuelt 10-15 % over innstilt turbinvannføring. En anvendt utførelse er basert på bruk av sylindersonde montert i vannveien eller måling av rørveggtrykk på begge sider av en tverrsnittsovergang i røret oppstrøms. Trykkdifferansen benyttes til å aktivere en elektrisk bryter, eller til å åpne en drenasjeventil i det hydrauliske systemet eller til å trekke ut en låsehake når det er mekanisk sperre mot lukking.

En annen utførelse er basert på impuls kraften fra strømmende vann, som ved en viss hastighet får et lodd eller flapp, ”flyndre”, inne i røret til å vippe over og via en gjennomgående aksel aktiverer en elektrisk bryter, eller åpner en ventil eller trekker ut en låsehake. Nødvendig impulslast for å bevege strømningslegemet innstilles ved hjelp av lodd eller fjær.

Ved begge forannevnte utløsningssystemer blir utløsende last proporsjonal med kvadratet av vannets strømningshastighet.

I tillegg til dette finnes det også målere som ved ultralyd registrerer vannhastighet og som via et elektrisk styresystem vil kunne utløse stenging av rørbruddsventil. Benyttes et system av denne type, må sikker strømforsyning med batteri etableres.

Utløsningsutstyret som står montert innvendig i røret, skal plasseres slik at sikker utløsningsfunksjon blir ivaretatt. Her tas det hensyn til strømningsforhold ved rørfylling, mulig luftinnsugning og strømningsvirvler/strømningsskygger som kan påregnes. Utstyret må i tillegg være stabilt og robust både for å unngå utilsiktet utløsning pga tilfeldige strømningsvirvler, lett tilgroing eller gress. Tilgroing eller akkumulert slam etc. skal heller ikke forhindre lukking når det trengs.

I tillegg til automatisk rørbruddsstengeutløsning skal det ved anlegg i konsekvensklasse 2 og høyere være utstyr som muliggjør fjernutløst stenging av rørbruddsstengeorgan.

Stengeorganet skal utstyres med endebrytere for signalgiving ved åpen og stengt stilling i tillegg til begynnende lukking. Signalet for begynnende lukking skal samtidig gi signal for aggregatstopp i kraftstasjonen.

Signalforbindelse mellom kraftstasjonen og stengeorgan skal ikke kunne skades ved et rørbrudd og skal skjermes mot uønsket virkning fra atmosfæriske forstyrrelser, overspenninger etc.

For rør i konsekvensklasse 3 og høyere skal rørbruddsventil utløses når vannføringen gjennom rørbruddsventilen overskrider innstilt turbinvannføring. Vannføringsmåling kan for eksempel skje oppstrøms ventilen og la utløsesystemet sammenholde dette med målt vannføring (eventuell måling av effekt og databeregnet vannføring) ved turbin/pumpe. Lukking initieres ved en differanse på 5-15 % i vannføringen over en viss tid.

For anlegg i konsekvensklasse 2 og høyere hvor rørbruddsstenging krever strømtilførsel, skal denne sikres med nødvendig batterikapasitet.

Vedlegg F. Stengeorganer, tverrslagsporter

F. 1 Hoveddeler

I forbindelse med en tverrslagsport kan man ha følgende hoveddeler:

- Portblad
- Opplagringskarm
- Kledning (stålforing/platekasse) på vannside
- Kledning (stålforing/platekasse) på luftside
- Tappesystem, det vil si rør med ventil(er) for tørrlegging

Enkelte installasjoner kan være uten lokalt tappesystem, eller uten kledning på vannsiden eller luftsiden. Det finnes også eksempler på lavtrykksporter hvor kledning er sløyfet både på vannside og på luftside.

For porter med både vannside- og luftsidekledning er det vanligvis slik at vannsidekledningen sørger for tetting fra vannside til luftside mellom stålkonstruksjon og betong.

Tappesystemer installert ved tverrslagsporter er sjelden dimensjonert for å kunne tappe ved maksimalt oppstrøms vanntrykk.

F. 2 Dimensjonering

Rektangulære portblad dimensjoneres som lukeblad av tilsvarende design. Sirkulære portblad med dobbelkrumt trykkskall kan dimensjoneres i henhold til NS 13445. Ved slanke skallporter er det ofte nødvendig å ta hensyn til opplagringsdeformasjon.

Karm med tilhørende del av platekasse fungerer som bærende struktur i samvirke med tilgrensende betong. Karm, platekasse og armering bør ved dimensjonering vurderes under ett.

Kledningslengde fastlegges ut fra vanntrykk og hensyn til lastoverføring fra opplagringskarm til fjell og er vanligvis ikke mindre enn 2 % av karakteristisk vanntrykk (meter vannsøyle).

For alle klassifiserte vannveier skal betongpropper før de kommer til utførelse vurderes av godkjent fagansvarlig i nært samarbeid med ingeniørgeolog. Disse vurderer proppens plassering med hensyn til fjelloverdekning, fjellkvalitet, eventuell injeksjonsskjerm, grunnvannsnivå etc. Avhengig av om tunnelen sprenges eller bores vurderes spesielt tillatt heftspenning langs proppens kontaktflate mot fjell av fjellets trykkstyrke og kontaktflatens ruhet.

Nødvendig betongpropplengde er ofte større enn lengden på stålledningen. For grove anslag over lengden på betongpropper og uten nærmere undersøkelser av fjellet hvor proppen plasseres, skal betongproppen tilfredsstillende følgende 3 krav:

- Skjærspenningen i kontaktflaten mellom betong og fjell (heftspenningen) skal ikke settes høyere enn $0,35 \text{ N/mm}^2$ dersom ikke nærmere undersøkelser av fjellet dokumenterer noe annet.
- Hydraulisk trykkgradient langs betongproppen skal være mindre enn $0,5 \text{ N/mm}^2/\text{m}$ eller 50 m vanntrykk pr. m proplengde.
- Lengden på betongproppen skal minst være 2 ganger største tverrsnittdimensjon, høyde (h) eller bredde (b) av tunnel. Betongpropper i store tunneler og med lave vanntrykk (mindre enn 100 m) kan og bør vurderes spesielt.

Fjellet rundt proppen skal, i et område som er vurdert av geolog, injiseres for å sikre tetting av mulige lekkasjeveier. Ved tett fjell og relativt lange betongpropper i forhold til trykket kan det være tilstrekkelig med injeksjonsdybde på $1,5 - 2,0 \text{ m}$ i fjell før støping av proppen. Ved høyere trykk og korte betongpropper, spesielt hvis de er kortere enn nevnt ovenfor, er det vanlig med en dypinjeksjonsskjerm på $15 - 30 \text{ m}$. Injeksjonen utføres normalt med trykk i størrelsesorden som vanntrykk mot proppen.

Når proppen er ferdig herdnet og temperaturen i betongen er som omkringliggende fjell skal kontaktflaten fjell/betong injiseres i hele proppens lengde. Kontaktinjeksjonen utføres normalt med trykk $10 - 20 \%$ høyere enn vanntrykket mot proppen.

Normalt blir det også injisert mellom stålledning og betong. Stålkledningen med ribber og forankringsstål må utformes og dimensjoneres med tanke på en slik injisering.

Lukepropper og propper i forbindelse med rørintak, eksempelvis betongpropp i overgang mellom tunnel og frittliggende rør, skal behandles på tilsvarende måte som vist over.

F. 3 Utførelse

Rektangulære portblad utføres med enkeltkrummet trykkskall eller med frontplate understøttet av bjelker. Sirkulære portblad har dobbelkrummet trykkskall. I unntakstilfeller er portblad laget av massiv stålplate. Portbladet er vanligvis hengslet til opplagringskarmen slik at vanntrykket presser det mot denne.

Mellom portblad og karm er det gummitetning. Her skal det også være et system for forspenning/låsing av portblad mot karm slik at tetning sikres. Hvis sand/grus kan legge seg opp innenfor portbladet bør konstruksjonen utstyres med jekkefester for åpning. I tillegg har man da som regel et mannhull til bruk ved større løsmasseblokkering.

Injeksjonsskjerm for tetting mellom betong og fjell samt i fjell legges ofte i portblad-tverrsnittet. Legges injeksjonsskjermen lenger ned mot proppens luftside kan dette være for å utnytte trykksone som portbladlasten påfører strukturene.

Tappesystemets innstøpte rør bør være av rustfritt stål.

Vedlegg G. Rør og fundamentering

G. 1 Rør generelt - dimensjonering og utførelse

G. 1.1 Rør generelt

Ved rørsystemer uten ekspansjonsmuligheter, herunder nedgravde rør, eller ved bend som ikke fastholdes, skal spenninger og deformasjoner beregnes ved trykk og temperaturvariasjoner relativt til forholdene ved legging.

Rør dimensjoneres generelt for innvendig og eventuelt utvendig trykk, samt for aksialkrefter forårsaket av det systemet de er del av. Dessuten skal:

- Frittliggende rør kontrolleres for aksialkrefter grunnet temperatur og trykkvariasjoner kombinert med langsgående bøyespenninger og lokale bøyespenninger ved opplagre. Eventuelle miljølaste (snø, vind) tas med.
- Nedgravde rør kontrolleres for aksialkrefter grunnet temperatur- og trykkvariasjoner samt utvendige påkjenninger fra jordtrykk og trafikklaste.
- Rør stabilitetskontrolleres både for normal rørvinkling når en tar hensyn til montasjetoleranser, og for krefter ved bend og andre formstykker. Det tas spesielt hensyn til påkjenninger ved eventuell trykkprøving.

G. 1.2 Bend og forgreninger

Innstøpte bend sammensatt av segmenter med mindre knekkvinkel enn 10° utføres ofte med samme godstykkelse som tilstøtende rør uten tilleggsberegninger. For øvrig bør tilleggspåkjenning kontrolleres på grunn av bøyemoment i knekker.

Frittliggende bend som påvirkes av tilliggende rør kan regnes etter NS-EN 13480. Ved bruddkonsekvensklasse 2 og høyere bør frittliggende bend kontrolleres med nøyaktigere metode.

Forgreninger og bukserør i stål kan når største nominelle diameter ikke overskrider DN 500 og produktet av nominell diameter (m) og karakteristisk trykk (MPa) er mindre eller lik 0,2, regnes etter NS-EN 13480. Forgreninger i bruddkonsekvensklasse 2 og høyere kontrolleres beregningsmessig med nøyaktigere metode. Forgreninger som støpes inn kan ved elementberegning forutsettes aksielt fastholdt ved forgreningens rørender når trykkprøving før innstøping ikke gjennomføres.

G. 1.3 Flensforbindelser

Flensforbindelser, koblinger, ekspansjonsbokser, blindlokk, mannlokk etc. kan regnes etter NS-EN 13445-3.

Deler hvor forspent skrueforbindelse kan gi betydelige ekstraspenninger, kontrollberegnes med forspenningslast tilsvarende foreskrevet momenttiltrekking av skruene. Dette gjelder blant annet flensforbindelser hvor det ikke er flensanlegg i skruesnittet.

G. 1.4 Koblinger

Eksempel på konstruksjoner som skal dimensjoneres med sikkerhetsfaktor 2,4 referert til karakteristisk fasthetsverdi, se pkt. 6.2, er kobling hvor deformasjon kan muliggjøre utpressing av tetningsring.

Koblingsberegning kan alternativt erstattes av typeprøver, hvor det også skal undersøkes forhold ved akseforskyvning, avvinkling og vekslende aksialforskyvning av tilstøtende rørdeler. For ugunstig virkende friksjons eller deformasjonskrefter fastlagt ved målinger ved romtemperatur og laboratorieforhold benyttes vanligvis lastfaktor $\gamma_f = 1,4$ ved omregning til anleggsforhold.

Kobling med gummipakning og aksiell forspenning av pakningen benyttes i hovedsak på rør av stål eller duktilt støpejern, i liten grad på GRP-rør. Slik kobling består av en muffeliknende del utstyrt med flenser, glander, skruer og tetning. Mantelen påkjennes av innvendig trykk og får hovedsakelig ringspenninger. Flenser og skruer dimensjoneres for skrueforspenning samt aksiallast grunnet vanntrykk og bevegelse mellom kobling og rør. Tetninger er vanligvis av EPDM-gummi (NS-EN 681). Koblingstypen kan i noen grad overføre skjærlast og har ofte senterplugger eller ribber som hindrer aksiell forskyvning. Den er ikke konstruert for å gli på røret. Mindre aksialbevegelser opptas ved deformasjon i tetningsring. Aktuell "fjærkonstant" avhenger av skrueforspenning, vanntrykk, temperatur og tid.

Ekspansjonsboks med flettepakning som sammentrykkes aksielt (pakkbokser) benyttes hovedsakelig på rør av stål eller duktilt støpejern. Dimensjonering blir i prinsipp tilsvarende som for foran nevnte koblinger. Pakningene er impregnert med talg, grafitt eller liknende. Koblingstypen kan oppta store aksielle rørforskyvninger. Det er vanlig å referere pakningsfriksjonsfaktor til en radiell last tilsvarende karakteristisk vanntrykk virkende på pakningens berøringsareal mot bevegelig rør. Vanligvis benyttes friksjonskoeffisient 0,30 mot malt stål. Er det rustfri glideflate, kan friksjonsfaktoren settes til 0,25.

Kobling med langsgående kløv og gummitetninger benyttes for GRP-rør og består av delt muffe hvor ringlast i kløv overføres ved skrueforbindelse. Tetningene er vanligvis EPMD-gummi (NS-EN 681). Kobling hvor innvendig undertrykk kan forekomme, bør ha innvendig støttehylse som hindrer at tetning suges inn mellom rørendene. I liten grad kan koblingen overføre skjærlast, eventuell støttehylse til tross. Dobbeltmantele koblinger bør ikke benyttes. Koblingen er ikke konstruert for å gli på røret, men opptar mindre aksiell rørbevegelse tilsvarende som kobling med gummipakning og aksiell forspenning.

Muffekobling av GRP eller duktilt støpejern for henholdsvis GRP-rør og duktile støpejernsrør virker i prinsippet på samme måten som koblinger med radiell sammenholding både med hensyn på friksjon og last. Enkelte konstruksjoner sentreres i forhold til rørskjøt. Kobling utført med støtteskulder kan til en viss grad overføre skjærlast.

Få muffekoblingstyper kan overføre aksiell strekklast. Koblinger med kontinuerlig senteringsribber av gummi kan overføre mindre trykklast. For frittliggende rør skal det imidlertid her alltid være en viss aksiell klaring for å kunne oppta temperaturutvidelse. Ved nedgravde rør må behovet for klaring vurderes fra tilfelle til tilfelle.

G. 2 Fundamentering av frittliggende rør

G. 2.1 Fundamenttyper

Frittliggende rør fastholdes med ett forankringsfundament og understøttes av ett eller flere mellomfundament med avstand tilpasset rørtypens bæreevne i lengderetning. Mellomfundament gir røret anledning til bevegelse i lengderetning mens det som regel fastholdes i de andre hovedretningene. Ved overgang mot tilstøtende rørstreng benyttes vanligvis en ekspansjonsboks for å utligne trykk og temperaturbevegelser. Strekkfaste rør legges normalt i rett linje mellom hvert forankringsfundament hvor en også fastholder eventuelle bend. Spesielt trerør eller PE-rør legges imidlertid ofte i en bue ved en egnet utførelse av mellomfundamentene.

Ved rørtrasé hvor det anvendes enkeltrør med ikke strekkfaste skjøter, skal hvert enkelt rør fastholdes med ett fundament og understøttes med ett eller flere mellomfundament. Unntaksvis kan røret på den ene siden understøttes direkte i tilstøtende rørs muffe eller kobling under forutsetning av at skjærkreftene ikke ødelegger tettefunksjonen. Klaringen i skjøtene mellom rørene skal være tilstrekkelig til at rørene ikke går i hverandre ved trykk- eller temperaturendringer. Enkeltrør med muffe eller koblinger kan vinkles noe i hver skjøt.

G. 2.2 Forankringsfundament

Forankringsfundament påkjennes av rørets egenvekt, miljølast og ikke utlignet vanntrykkslast fra tverrsnittsoverganger, bend etc. I tillegg kommer sum av friksjonskrefter fra mellomfundamenter, eventuelle koblinger og ekspansjoner.

Det forutsettes lik temperatur- eller trykkendring for rør på begge sider av et forankringsfundament, men vanligvis 25 % forskjell mellom sidenes friksjonsfaktor. For frittliggende 12 meter lange GRP-rør kan aksiallastforskjell for koblinger bli 30 %.

G. 2.3 Mellomfundament

Mellomfundament påkjennes av last fra egenvekt av rør og vann, miljølast og friksjonslast i aksiell retning. I tillegg kan en få en tverrlast fra rør som er lagt i en bue. For friksjonslasten kan en anta:

- Pendel- og rullefundamenter gir små friksjonskrefter som beregnes ut fra rulle- og tappfriksjon.
- Ved opplagring i gummifundamenter hvor temperaturendringene gir skjærdeformasjon, avhenger kreftene av utførelse, forskyvning og temperatur.
- Ved opplagring av stålrør med glideflate i rustfritt stål mot PE-plast eller tilsvarende, eller ved GRP-rør mot en glideflate av PE-plast kan friksjonsfaktor settes lik 0,30 for enkeltfundament og lik 0,25 som middel for alle fundamenter.
- Ved opplagring av malt stålrør eller duktilt støpejernsrør mot betong med bitumen- eller tjæreappmellomlegg eller mot en malt stålsadel, kan friksjonsfaktor settes lik 0,60 for enkeltfundament og lik 0,50 som middel for alle fundamentene.

G. 2.4 Systemstabilitet, samvirke rør og fundament

Rør med muffeskjøter eller muffekoplinger belastes på endeflatene med en aksialkraft tilsvarende karakteristisk trykk på en flate begrenset av rørets ytterdiameter. Friksjon pga. trykk- og temperatur-deformasjon i understøttelser eller skjøter kan gi en aksiell tilleggskraft. Hvis seksjonen ikke har en strekkfast forbindelse mot tilstøtende rør, kan den betraktes som en trykkstav som kan knekke ut pga. aksialkreftene hvis avstanden mellom fundamentene er for stor. Problemet vil først oppstå i vertikalplanet pga nedbøyningen fra vekt av rør og vann.

For rørbend vil aksialkreftene gi en tverrlast som ved strekkfaste rør primært overføres til tilstøtende rør i form av tilleggsspenninger og deretter videre inn mot forankringsfundamentene på begge sider. For rørbend som ikke har en strekkfast forbindelse mot tilstøtende rør på den ene eller på begge sider vil aksialkreftene gi en tverrlast som må tas opp direkte i et fundament.

Muffeskjøter eller koblinger kan likeledes, tilsiktet eller på grunn av montasjeunøyaktighet, få en avvinkling som gir en tverrlast. Hvis rørene ikke er strekkfaste vil tverrlasten overføres direkte mot nærmeste fundamentet som ved bend. Hvis koblingen eller muffeskjøten er utenfor fundamentene, kan deformasjonen i den utkragete rørdelen forverre forholdene.

Ved beregningene benyttes en montasjeunøyaktighet på minst 0.5° samt rørmaterialets E-modul og fundamentenes deformasjonsmodul (stivhet). Ved GRP- eller PE-rør benyttes rørmaterialets aksielle langtid E-modul. Det antas vanligvis at rørfundamenter, muffe og koblinger ikke overfører innspenningsmoment. Ved fundamenter på fjell er det vanligvis bare behov for å kontrollere GRP-rør og PE-rør.

G. 3 Fundamentering av nedgravde rør

G. 3.1 Rørgrøft og omfylling

Nedgravde rør monteres vanligvis i rørgrøft over grunnvannsspeil. Fundamentet i rørgrøfta skal være stabilt og avrettet, og det skal ikke forekomme oppstikkende fjellknatter eller steiner. De graderte omfyllingsmassene inn mot rørveggen skal minst ha en tykkelse på 0,3 m, og innfylles slik at utvendig røroverflate eller korrosjonsbeskyttelse ikke skades. I fjellgrøft skal tykkelsen på grøftesålen være 0,3 m, mens sålen i løsmassegrøft minst må være 0,2 m. Grøftesåle og omfyllingsmasse skal komprimeres for at rør og rørfundamenter blir liggende stabilt uten fare for setninger eller uforutsigbare tilleggspåkjenninger. Geoteknisk tekstil (filterduk) legges i den grad det blir nødvendig for å beskytte omfyllingen for finstoffinntrengning.

Overdekningen skal minst være 0,8 m og gå 1,5 ganger rørdiameter til hver side for røraksen. Dertil kommer eventuell frostisolasjon med toppdekking. Hvis det forventes trafikklast skal minimum overdekning bestemmes spesielt, og eventuelt dokumenteres ved beregning, se også kap. 2.3.

Leggeanvisning for øvrig skal være i henhold til beskrivelse utarbeidet av fagansvarlig, jf. kap. 6.6.

G. 3.2 Tiltak mot utvasking

Nødvendige tiltak gjøres mot utgraving/utvasking av omfyllingsmassene både ved montasje og senere drift. Dette kan være drenasjerør, avskjærende grøfter, sperrer og lignende.

G. 3.3 Sikring mot aksiell forskyvning og utknekking

Rørledningen monteres slik at rørene er sikret mot aksiell forskyvning og utknekking (rør skal ikke stokke seg eller gli ut av en kopling). Benyttes det strekkfaste koblinger monteres de ofte slik at det er strekk i rørstrengen etter montasje og før rørfylling.

Bend og andre formstykker uten strekkfaste skjøter skal vanligvis stabiliseres ved hjelp av egenvekt, vannvekt og jordtrykk, eventuelt støpes inn. Fundamentene kan utføres med fotplate. For nedgravde rør med muffe/koblinger vil overdekningsmassen bidra til stabilisering av krefter ved avvinkling. Ved beregninger benyttes en montasjeunøyaktighet på minst $0,5^\circ$. Det skal for vertikal- og sideveis kraft uten strekkfaste skjøter kun regne med stabiliserende bidrag fra overdekningsmassen vertikalt over røret, og maksimalt i en lengde på $1/3$ av lengden på tilstøtende rør.

Overdekningsmassen regnes til opprinnelig terreng. Oppfylling over dette nivået kan bare regnes med etter egne stabiliseringstiltak. Stabiliserende bidrag fra rør- og vannvekt gjelder også i en lengde på $1/3$ av lengden på tilstøtende rør. Passivt (og aktivt) jordtrykk mellom rør og omfyllingsmasser skal ikke medregnes.

Nedgravde rør som ikke ligger stabilt med omfyllingsmasser alene må sikres med forankringsfundamenter.

G. 3.4 Strekkfaste rør uten ekspansjonsboks

Nedgravde strekkfaste rør, spesielt sveist stålrør med bend og tverrsnittsoverganger kan, hvis rørstrengen ikke har ekspansjonsboks, monteres uten annen forankring enn endeforankringer. Aktuell montasjetemperatur skal da legges til grunn ved fastlegging av endefundamentlastene. Rør og rørskjøter kontrolleres beregningsmessig uten medvirkning av omfyllingsmassene for trykk- og temperaturendringer og skal ikke overstige grensene i henhold til kapittel 4.2.

Nedgravde viskoelastiske rør, som PE-rør som kan legges i en jevn bue, skal kontrolleres ved bruk av korttids E-modul. Det forutsettes at rørene ikke forskyves og jevnføringsspenningene ved trykk- eller temperaturdeformasjoner skal da ikke overstige tillatte spenninger i henhold til kapittel 4.6.

G. 4 Innstøpte rør

G. 4.1 Rørets ulike partier

Innstøpte rør har vanligvis 3 hovedstrekninger:

- Innløpsparti med injeksjonsskjerm. Det blir vanligvis ikke injisert langs røret nedstrøms injeksjonsskjermen med mindre det oppstår betydelige innstøpingsfeil.
- Hovedrør, som dimensjoneres spesielt, med overgang til inn- og utløpsparti.
- Utløpsparti, som kan dimensjoneres som frittliggende rør.

G. 4.2 Dimensjonering

For innløpspartiet blir dimensjoneringen tilsvarende som for platekasse ved tverrslagsport.

Hovedrøret kontrolleres for 3 lasttilfeller:

- Innvendig trykk. Med samvirke mellom rør, omstøping og fjell.
- Innvendig trykk. Uten samvirke mellom rør, omstøping og fjell.
- Utvendig trykk og tømt rør. Med samvirke mellom rør, omstøping og fjell.

Ved overslagsberegninger kan en for de to første lasttilfellene regne røret som frittliggende og kontinuerlig lagret. For stålrør tillates det da en ringspenning referert til karakteristisk innvendig trykk, uten samtidig virkende utvendig trykk, på inntil 90 % av karakteristisk materialfasthet R_e , dvs. ($\gamma_f \cdot \gamma_m = 1,1$). Dette forutsettes god innstøping med minimal spalt mellom rør og betong samt mellom betong og fjell slik at noe av vanntrykkslasten kan påregnes overført til fjell, og at fjellet har en overdekning som er tilstrekkelig til å bære største statiske vanntrykk.

Ved overslagsberegninger for det siste lasttilfellet, kan en ta utgangspunkt i den vertikale fjelloverdekningen (over røret) og anta tilsvarende stort utvendig vanntrykk.

Et normalt godt innstøpt stålrør tåler et utvendig trykk før innknekking tilsvarende $H = 400\,000 \cdot (r/t)^{-1,75}$ [mVs], hvor r = rørradius [mm] og t = veggykkelsen [mm]. Her benyttes en sikkerhetsfaktor ($\gamma_f \cdot \gamma_m$) = 1,5.

Mer omfattende beregninger ved belastning med innvendig trykk forutsetter kjennskap til fjellets egenskaper i ulike retninger langs rørtraséen og skal ta hensyn til deformasjonsegenskapene til fjell/betong samt den spalten som kan oppstå mellom rørvegg og omliggende betong ved avkjøling og permanent deformasjon av fjell/betong.

Ved samvirke mellom rør, omstøpt betong og fjell skal maksimal rørspenning ikke overskride vanlig akseptverdi i bruddgrensetilstand, for stålrør tilsvarende 66,6 % av karakteristisk materialfasthet eller flytespenning R_e ($\gamma_f \cdot \gamma_m = 1,5$).

Uten samvirke mellom rør, omstøping og fjell, skal maksimal rørspenning ikke overskride 90 % av karakteristisk strekkfasthet R_m ($\gamma_f \cdot \gamma_m = 1,1$). Det forutsettes at en har en materialkvalitet og utførelse som gjør at en kan få plastisk deformasjon uten at tillatte kjerver, sveisefeil etc. gir et ustabil brudd. Ved andre materialtyper skal karakteristisk materialfasthet R_e benyttes.

Mer omfattende beregninger ved belastning med utvendig trykk og tomt rør forutsetter grundige vurderinger av geolog med hensyn til fjellets materialtekniske egenskaper, geometri og drenerende hulrom langs rørtraséen i tillegg til injeksjonsskjermens beliggenhet.

For innstøpte rør med 100-200 m fjelloverdekning er vanligvis avstanden til dagen dimensjonerende for utvendig trykk. For dypere liggende rør, hvor avstanden til overflaten er vesentlig større enn avstanden til drenerende hulrom, er lokalt poretrykk den dominerende belastning. Poretrykket er avhengig av fjellets tetthet og dreneringsevne mot hulrom. Det bør likevel aldri regnes med et utvendig trykk mindre enn 100 - 200 m. Bruk

av dreneringsåpninger, mindre dreneringsboringer eller dreneringsrør regnes ikke som permanent avlastning.

Sikkerhetsfaktoren mot innknekking, $(\gamma_f \cdot \gamma_m)$, avhenger av kvaliteten på grunnlagsdataene og beregningsmetodikken, men bør uansett ikke være mindre enn 1,25.

Dimensjoneringen skal gjøres i henhold til anerkjente teorier som tar hensyn til alle forhold. I Norge og internasjonalt er det vanlig å vise til E. Amstutz 3. teori som eksempelvis ble offentliggjort i Water Power november 1970.

Dersom det for hovedrøret er utilstrekkelig fjelloverdekning bør røret beregnes som frittliggende som for utløpspartiet.

G. 5 Kommentarer knyttet til ulike rørtyper

G. 5.1 Stålrør

Mindre og mellomstore rør leveres vanligvis som serieproduserte langs- eller spiralsveiste rør. I konsekvensklasse 1 kan det benyttes rør levert etter NS-EN 10224 for nedgravde rør og rør montert innendørs. Øvrige rør i konsekvensklasse 1 samt rør i konsekvensklasse 2 kan benytte NS-EN 10217-1. Ved behov for fasthetskklasse S 355 må det benyttes en tilpasset spesifikasjon. I konsekvensklasse 3 kan seriefremstilte rør i henhold til NS-EN 10217-3 benyttes.

Rør for større trykk og/eller dimensjoner er normalt ikke serieproduserte. Disse vales og sveises sammen av platemateriale. I konsekvensklasse 1 og 2 kan det benyttes stål i henhold til NS-EN 10025-1, mens det i konsekvensklasse 3 og høyere bør være stål i henhold til NS-EN 10025-3, alternativt NS-EN 10028-3.

Bend og forgreninger sveises opp av rørdeler med nødvendige forsterkninger. Mindre bend kan produseres ved varmbøying av rette rør.

Ved seriefremstilte rør og komponenter etter NS-EN 10217 eller 10224 foreligger det:

Minimumskrav til prøver og dokumentasjon av rørleveransen:

- Alle rør og rørdeler påføres varig merking for å sikre sporbarhet. All dokumentasjon skal overleveres sammen med rørleveransen.
- For rør og rørdeler som sammenføres ved anleggssveising skal det fra leverandør eller montasjefirma leveres sveiseprosedyrer.

For rør eller rørdeler som kobles med muffen eller egne koblinger, skal det leveres egen dokumentasjon på muffenes eller koblingens egnethet.

Dokumentasjon i henhold til NS-EN 10204-”type 2.2”:

- Rør i henhold til NS-EN 10224 prøves etter testkategori ”Ikke spesifikk kontroll”.
- Rør i henhold til NS-EN 10217-1 prøves etter testkategori ”Ikke spesifikk kontroll”, kvalitet TR1.

Dokumentasjon i henhold til NS-EN 10204-”type 3.1”:

- Rør i henhold til NS-EN 10217-1 prøves i henhold til kvalitet TR2. For frittliggende rør spesifiseres at slagseighetsprøve tas ved -10 °C (opsjon 5). Ved fasthetskklasse S 355 benyttes -20 °C.
- Rør i henhold til NS-EN 10217-3 etter testkategori 1 har nødvendig dokumentasjon som standard. For rør i bruddkonsekvensklasse 4, eller for rør hvor forholdet P•D er spesielt høyt kan testkategori 2 benyttes i tillegg til de ulike opsjonene for tilleggstester som standarden muliggjør.

Tilleggskrav må avtales spesielt.

Ved stykkfremstilte stålrør og komponenter er det krav til verksted, sveisere og kontrollopplegg i henhold til NS-EN 13445. Spesielt vektlegges dette for rør i konsekvensklasse 2 og 3, eller ved bruk av materialer med høyere fasthet enn S 235 og/eller veggtykkelse over 10 mm. Eventuell varmebehandling etter kalddformingering kan vurderes i henhold til NS-EN 13445-4.

Krav til toleranser og til sveiseforbindelser vurderes generelt etter NS-EN 13445. For komponenter som er utmattingspåkjennte, tillates ikke sveis med kantsår. I rør hvor det vil bli stor vannhastighet, er det vanlig at innvendig sveiseoverflate slipes.

Krav til varmebehandling av sveiser vurderes etter NS-EN 13445-4. Generelt bør sveis varmebehandles ved materialtykkelse over 35 mm. Ved bruk av finkornstål og enkle konstruksjoner som sylinder eller kuleskall kan en øke godstykkelsen uten varmebehandling opp til 50 mm, forutsatt at det foreligger prosedyreprøver og bruddmekaniske vurderinger som godtgjør at akseptable mekaniske egenskaper oppnås.

Spesielle eller kompliserte komponenter som eksempelvis bukserør i konsekvensklasse 2 og 3 vil vanligvis verkstedsprøves med innvendig trykk tilsvarende 1,5 x karakteristisk trykk.

For montasjesveiser vurderes krav og kontrollprosedyrer etter NS-EN 13445.

Lengdeutvidelse for stål er ca 1,2 mm/m og 100 °C temperaturendring ($12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

G. 5.2 Duktile støpejernsrør

Rør av sentrifugalstøpt, duktilt støpejern er et standardisert masseprodukt. Tilhørende rørdeler kan være press- eller sandstøpte. Rørmaterialet har dårlige sprøbruddsegenskaper, noe det skal tas hensyn til når duktile støpejernsrør velges.

Rør i henhold til NS-EN 545 har strekkgrense $R_m \geq 420 \text{ MPa}$ og minst 7–10 % bruddforlengelse. For rørdeler skal bruddforlengelsen være minst 5 %. Påregnelig elastisitetsgrense med tilhørende flytespenning R_e blir 270 MPa eller 300 MPa avhengig av bruddforlengelsen. Verken elastisitetsgrense eller slagarbeid måles eller garanteres ved en standardleveranse i henhold til NS-EN 545 i motsetning til en leveranse etter amerikansk standard ANSI/AWWA C 151. I henhold til denne skal flytegrensen være minimum 290 MPa, og slagseigheten minimum 9,5 Joule CVN ved + 21 °C og 4,1 Joule ved - 40 °C.

Lengdeutvidelse for duktilt støpejern er ca 1,1 mm/m og 100 °C temperaturendring ($11 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Rør og rørdeler dimensjoneres med følgende presiseringer:

- Karakteristisk innvendig trykk er aktuelt statisk trykk tillagt dynamisk trykk slik dette fremgår av pkt. 6.2. Ringspenning med lastfaktor $\gamma_f = 1,0$ skal da ikke overskride maksimal ringspenningsverdi angitt i pkt. 4.4.
- Frittliggende rør kontrolleres for langsgående bøyespenninger mellom opplagringene og for lokale bøyespenninger ved opplager. I midtspenn og ved opplagre skal sammenligningsspenning i bruddgrensetilstand med $\gamma_f = 1,0$ ikke overskride maksimal jevnføringspenning angitt i pkt. 4.4.
- Nedgravde rør kontrolleres mot utvendige påkjenninger fra jordtrykk og trafikklaster. Ved kontroll i henhold til NS-EN 545 bør beregnet initiell ovalisering ikke overstige 50 % av verdiene vist i standardens tabell C. 1.

Vanlige rørdeler i tykkelsesklasse 12, bortsett fra T-rør, kan styrkemessig være tilpasset rette rør i tykkelsesklasse K9 rør. Pakningssystemene kan på sin side medføre at karakteristisk trykk må begrenses til 2,6 - 4,0 MPa, tiltagende med minskende diameter. Ved høyere trykk må en vanligvis benytte spesielle løsninger.

Ved høyt trykk har strekkfaste forbindelser begrensede muligheter til å overføre hele trykket.

Det benyttes vanligvis muffeskjøter av type Tyton eller tilsvarende med hydraulisk tettende pakning av EPDM-gummi. Boltmuffe-skjøter brukes helst bare på frittliggende rør, og eventuelt på spesielle rørdeler, og kan gi andre trykkbegrensninger enn selve røret.

Generell dokumentasjon:

Alle rør og rørdeler påføres varig merking for å sikre sporbarhet. All dokumentasjon inklusive måledata skal overleveres sammen med rørleveransen.

Dokumentasjon i henhold til NS-EN 10204-”type 2.2”:

- Samtlige rør og fittings underkastes visuell kontroll og målkontroll. Videre tas stikkprøvekontroll av leveransen i henhold til NS-EN 545, vedlegg F og kapittel 6. Det tas minst ett fullt prøvesett for hver diameter og tykkelsesklasse.
- Samtlige rør og fittings tetthetsprøves minst tilsvarende karakteristiske trykk, dog minimum tilsvarende kravene i henhold til NS-EN 545 tabell 14. Hvis utstyret ikke kan tetthetsprøves opp mot karakteristisk trykk skal det dokumenteres i henhold til NS-EN 10204-”type 3.1”
- Det dokumenteres at rør og koblingssystem har gjennomgått typetester i henhold til NS-EN 545 kapittel 5 og 7 for et driftstrykk minst tilsvarende rørets karakteristiske trykk, dog minimum tilsvarende kravene for K9 rør

Dokumentasjon i henhold til NS-EN 10204-”type 3.1”:

I tillegg til dokumentasjon etter NS-EN 10204-”type 2.2”:

- Det tas minst 2 komplette sett med materialprøver for hver dimensjon/tykkelsesklasse, utført i henhold til NS-EN 545, som viser flytegrense, bruddgrense, bruddforlengelse og hårdhet. Diagram fra strekkprøvene vedlegges dokumentasjonen, og alle verdier skal overstige minimumsverdiene i henhold til

NS-EN 545. Prøvene skal tas fra starten og mot slutten av hver produksjonslinje og ikke fra samme magnesiumbehandlete smelte.

- Hvert sett med materialprøver skal i tillegg inkludere 3 Charpy V-skårslaghetsprøver ved + 21oC og 3 ved -40oC iht. ASI/AWWA C 151/A21.51. Korrigert akseptverdi skal være minimum 9.5 J ved +21oC, 4.0 J ved -40oC.
- Hvis rør eller fittings ikke kan tetthetsprøves til karakteristisk trykk skal veggtykkelse dokumenteres ved omfattende målinger. For rør kan tykkelsesmåling gjøres langs en generatrise med maksimum 0,5 m avstand mellom målepunktene.

G. 5.3 GRP-rør

Rør av glassfiberarmert, umettet polyester leveres som oftest som et standardisert produkt, men kan også dimensjoneres for aktuelle forhold. Rørene produseres etter to ulike prinsipper:

- Sentrifugalstøping i utvendig stålmantel, normalt 6 meter lengde.
- Kontinuerlig viklet på innvendig kjerne, valgfri lengde, ofte 6 eller 12 meter.

Rördeler blir ved moderate trykk sammenlaminert av rette rørseksjoner. Ved høye trykk anvendes rördeler av stål. Spesielt gjelder dette bukserør.

GRP-rørene har som regel ulik fasthet i aksial og tangentiell retning. Rørene svekkes ved langvarig belastning. Ved etterkontroll av rør benyttes tøying i stedet for tillatt spenning. Svekkelsen medfører at rørene må levetidsdimensjoneres. I kraftverksrørs temperaturområde er mekaniske egenskaper lite temperaturavhengige.

Temperaturutvidelsen for GRP-rør er ca dobbelt så stor som for stål. Lengdeutvidelse for normalt armerte GRP-rør er ca. 2,4 – 3,0 mm/m og 100 °C temperaturendring ($24 \cdot 10^{-6} - 30 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) i aksial retning og ca. 0,8 mm/m og 100 °C temperaturendring ($8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) i tangentiell retning (ringretning).

Rørene leveres i normerte trykkklasser for innvendig karakteristisk trykk fra 6 bar til 32 bar og stivhetsklasser opp til 10 000 N/m² i henhold til NS-EN 1796 alternativt NS-EN 14364. Rør med stivhetsklasse under 5000 N/m² er ikke innknekkings sikre ved korttids undertrykk og bør ikke benyttes.

Valg av rørtype, nominelt trykk, rørstivhet etc. må gjøres ut fra bruksområde, leggeforshold, osv. slik at resulterende sikkerhet mot brudd blir tilfredsstillende i henhold til NVEs krav. Standardens trykkklasse så vel som minimumskrav til stivhetsklasse og aksial fasthet er tilpasset rør for nedgraving. Frittliggende rør på fundamenter får tilleggspåkjenninger som må vurderes spesielt.

NS-EN 1796 stiller typekrav til koblinger, bend og T-stykker for bruk sammen med standardiserte rør. Komponentene skal ha minst samme mekaniske styrke som tilstøtende rør. Fleksible, ikke strekkfaste koblinger skal typetestes for blant annet undertrykk samt overtrykk på det dobbelte av nominelt trykk kombinert med vinkelavvik og saksing. En kombinasjon med vekslende aksial forskyvning, som har vært et problem for visse mekaniske koblinger, inngår ikke i typetesten.

Rør og rördeler kan leveres i henhold til serie B1 NS-EN 1796 med E-type glassfiberarming eller tilsvarende standarder. Frittliggende rør skal ha et UV-bestendig yttersjikt.

Vanligvis brukes glassfiberarmerte muffekoblinger ved nyanlegg. Koblinger med radiell sammenholding og selvtettende gummilepper benyttes fortrinnsvis ved rørdeler og overganger til andre konstruksjoner. De fleste koblingstypene tåler i liten grad skjærkrefter, og ingen av koblingstypene er strekkfaste, noe det må tas hensyn til ved fundamenteringen. Aksielle trykkrefter skal ikke overføres direkte via tilstøtende rørender, men kan til en viss grad overføres via koblinger med en sentreringsring av gummi.

Det er vesentlig for sikkerheten at det ikke oppstår forskyvninger mellom rør og koblinger.

Nedgravde rør utsatt for langtids utvendige påkjenninger kan ovaliseres pga. jordtrykket, og en kan også få ujevne setninger eller forskyvninger. Frittliggende rør kan likeledes få deformasjoner på grunn av fundamentsvikt eller siging/utbøyning. Nevnte forhold må kontrolleres ved eldre konstruksjoner.

Generell dokumentasjon:

- Alle rør og rørdeler påføres varig merking for å sikre sporbarhet. All dokumentasjon skal overleveres sammen med rørleveransen.

Dokumentasjon i henhold til NS-EN 10204-”type 2.2”:

- Samtlige rør underkastes visuell kontroll og målkontroll. I tillegg tas stikkprøvekontroll av leveransen i henhold til NS-EN 1796, ”Quality control test purposes”. For stikkprøvekontroll av initial aksiell respektive tangentiell bruddstyrke i henhold til EN 1393 respektive EN 1394 kan det benyttes trykkprøving til brudd, alternativt strekkprøver av rørveggen etter leverandørens valg. For øvrig dokumenteres korttids ringstivhet, utharding og sammensetning av rørveggen med glassfiberandel.
- Måleresultatene skal dokumenteres sammen med akseptkriteriene. Akseptkriteriene skal kunne dokumenteres ut fra leverandørens generelle dokumentasjon fra typeprøvene, eksempelvis regresjonsanalyse og variasjonskoeffisient ved korttidsprøving.
- Rørdeler for bend eller andre komponenter som medfører sammenlaminering kan dokumenteres i henhold til NS-EN 10204-2.1. Lamineringsdelen skal dokumenteres særskilt, eksempelvis med typetester i henhold til NS-EN 1796 kapittel 7.5 for skjøter som skal tåle fullt endebunnstrykk, eller kapittel 7.6 for flenskoblinger. Selve utførelsen dokumenteres i henhold til NS-EN 10204-”type 2.2”.
- Muffekoblinger i forbindelse med leveransen kan dokumenteres i henhold til NS-EN 10204-2.1 under henvisning til fabrikkens kvalitetssikringssystem og generelle kvalifikasjonstester etter NS-EN 1796.
- Mekaniske koblinger i forbindelse med leveransen kan dokumenteres i henhold til NS-EN 10204-2.1 som ovenfor.
- For koblinger av type Straub, Teekay eller tilsvarende skal dokumentasjonen inneholde koblingens hovedmål, herunder materialkvalitet og tykkelse på mantel og mantelskuldre, skruetype med materialkvalitet, dimensjon og tiltrekningsmoment ved bruk på GRP-rør.

Dokumentasjon i henhold til NS-EN 10204-”type 3.1”:

I tillegg til dokumentasjon etter NS-EN 10204-”type 2.2” som vist over:

- Alle rør skal tetthetsprøves med et trykk på minimum 2 ganger normtrykket.
- For tangentiell styrke skal den benyttede regresjonsanalysen samt variasjonskoeffisienten sannsynliggjøres. Dokumentasjonen kan foregå i henhold til NS-EN 705 kapittel 4.5 eller en tilsvarende metode hvor variasjonskoeffisient fastlegges ut fra korttidsprøver og hvor regresjonslinjens helning fastlegges ut fra korttidsprøver og 100-timers-prøver. Prøvene kan gjøres som prøver med innvendig trykk i kortere rør eller tangentielle strekkprøver av rørveggen. Ved strekkprøver kan det for sammenhengen mellom tangentielt strekk og innvendig trykk vises til leverandørens generelle dokumentasjon.

G. 5.4 PE-rør

Rørene ekstruderes fra polyetylen-granulat i en kontinuerlig prosess og kappes i fabrikken til ønsket lengde bestemt av transport- og montasjemulighetene. Råvarene har blitt forbedret gjennom mange år, og rørene leveres nå mest i kvalitet PE 80 og PE 100, hvor tallene angir bruddspenning (MRS) i bar (= 0,1 MPa) ved en kontinuerlig belastning i 50 år. Materialet er viskoelastisk med egenvekt ca 955 kg/m³, lengdeutvidelse 16 - 18 mm/m og 100 °C temperaturendring (ca. 13 ganger mer enn stål) og lav E-modul. Kortids E-modul er ca 5 ganger krypmodulen etter 50 års belastning.

Spenningsberegninger skal generelt utføres med både korttids- og langtidsbelastning for å sjekke hva som blir dimensjonerende for PE-røret, og sammenlignes med tillatt spenningsnivå etter kapittel 4.6. Hvis deformasjonene over tid kan endre spenningsbildet eller ha stabilitetsmessig betydning, skal beregningene også gjøres med krypmodulen.

For dimensjoner som benyttes ved tilløpsrør til kraftverk er speilsveising den vanlige sammenføyningsmåten, og prosessen benyttes også ved sammensveising av rördeler. Sveiseutstyret for større rør kan taues med terrenggående kjøretøy eller flyttes med helikopter.

Ved flensforbindelser benyttes påsveiste flenskrager med løsfleiser, de sistnevnte vanligvis utført av stål. På grunn av PE-materialets siging under belastning kan en bare benytte flenstetninger som er hydraulisk tettende selv ved betydelige deformasjoner, eksempelvis store, relativt myke O-ringer eller leppetetninger. Flenskonstruksjonen må forhindre vridning eller overbelastning av tetteflater under montasje eller senere drift. Flenskonstruksjonen bør heller ikke belastes med større aksialspenninger pga egenvekt eller temperaturdeformasjoner.

Rørene egner seg best nedgravd i grøft eller innstøpt og slik at en ikke får særlig større temperaturvariasjoner i røret enn det en har i tilløpsvannet. Ved frittliggende strekninger kan rørene enten understøttes og fastholdes slik at de ligger i ro og slik at spenningene uansett driftstilstand ikke overstiger grensene i henhold til kapittel 4.6. Alternativt kan rørene legges slik at de fritt kan bevege seg ved trykk eller temperaturvariasjoner og på den måten minimalisere tilleggsspenningene i røret. I så fall skal deformasjonsmønsteret være veldefinert, og rørene skal bevege seg på glideskinner eller glideflater for å unngå skader eller tilleggspåkjenninger. Rørenes permanente krumningsradius skal ikke bli mindre enn 60 ganger ytterdiameteren.

Et spesielt bruksområde er sjøledninger, eksempelvis i forbindelse med vanninntak. Rørene holdes her på plass ved betonglodd,

Det benyttes bare standardiserte, fabrikkfremstilte rør med tilhørende rørdeler i henhold til NS-EN 12201 m/nasjonalt tillegg og INSTA SBC 12201. Dette skal være kontrollert gjennom tredjepartskontroll bestyrt av INSTA-CERT og produktene skal være merket med sertifiseringsmerket Nordic Poly Mark eller tredjepartsverifisert til samme kvalitetsnivå.

Generell dokumentasjon:

- Alle rør og rørdeler påføres varig merking for å sikre sporbarhet. All dokumentasjon skal overleveres sammen med leveransen.
- Dokumentasjon i henhold til NS-EN 10204-”type 2.2”:
- Kopi av inspeksjonssertifikat for anvendte råmaterialer. Her angis egenvekt, viskositet for smeltetmasse (MFR) og termisk stabilitet (OIT) i henhold til ISO 1183 og EN 728.
- Produksjonskontroll av rørveggsmateriale i henhold til INSTA SBC 12201 tabell 7 inkl. viskositet smeltetmasse (MFR) og termisk stabilitet for hver start og stopp i produksjonen.
- Produksjonskontroll av utseende og dimensjoner i henhold til INSTA SBC 1221 tabell 7. Samtlige rør underkastes visuell kontroll. I tillegg tas stikkprøvekontroll av diameter, veggtykkelse og ovalitet av hvert rør eller minimum hver annen time ved kontinuerlig rørproduksjon.
- Sveiseprosedyre med kontrollskjema for utførte sveiser i henhold til NS 416 (DS-INF 70). Sveising av PE-rør skal kun utføres av personer med gyldig sertifikat for sveising av PE-rør i aktuell dimensjon. Sveisemaskin for speilsveising skal være kalibrert og sertifisert i henhold til DS-INF 70-6.

G. 5.5 Trerør

I vassdragsanlegg benyttes kontinuerlig bygde, frittliggende stavrør.

Trerør tåler nesten ikke undertrykk før de kollapser. Arrangement med stengeutstyr og luftinnslipping sammen med rørtrasénivåer må være slik at undertrykk aldri oppstår i noe rørtverrsnitt.

Ikke impregneret virke skal kun benyttes i midlertidige konstruksjoner. Ved bruk av impregnerte materialer kan en regne med en levetid på 40-80 år, avhengig av driftsforhold og vedlikeholdsinnsett. Rørets ståldeler kan ha kortere levetid enn trestavene.

Trerør dimensjoneres ut fra karakteristisk trykk etter ”Vassdragstilsynets regler for kontinuerlig bygde trerør” (NVE 1942) med følgende utfyllende bemerkninger.

For stålarmering, bånd og klaver etc. benyttes stål i henhold til NS-EN 10025 med kvalitetsbetegnelse JR eller bedre avhengig av dimensjon og utførelse. Ved bruk av materialer med høyere fasthet enn S 235 kan armeringsspenningen økes utover 120 MPa slik nevnte regler tillater. Flatetrykk mot trestav skal holdes innenfor de grensene som reglene angir.

Det kontrolleres at innfesting av armering i strammesko, klaver med skruer, muttere og skiver for overføring av kreftene til fundamenter etc. er utført pålitelig. For permanente rør skal armeringsbånd, bånd over stavskjøter, klaver ved opplagre med tilhørende strammesko, skruer, etc. varmforsinkes. For varmforsinkede komponenter som ikke eksponeres i vann er det uvanlig å regne godstykkelsesfradrag som angitt i B.3.

For trerør dokumenteres anvendte stålmaterialer i henhold til NS-EN 10204-”type 2.2” og trematerialer i henhold til NS-EN 338, fasthetsklasse minimum C 18.

G. 5.6 Betongrør

Betongrør med forspent armering er fabrikkprodusert. Armeringen har ikke den betongoverdekning som vanligvis kreves for vassdragskonstruksjoner.

Betongrør med forspent armering egner seg best for legging i grøft eller for innstøping. I tunnel, innvendig i kraft- eller pumpestasjon legges forspente betongrør i seng. Alternativt kan de understøpes med understøttelsesvinkel 45° eller mer.

Rørskjøt tillater avvinkling fra 2° til 1°, avtagende med økende diameter. Rørene er tunge og robuste. Rördeler lages vanligvis av stål.

- Rørene dimensjoneres og testes ved fabrikk, spesielt for hvert anlegg i henhold til NS-EN 639/642. I tillegg til vannkvalitet og karakteristisk trykk inngår leggefotsetninger som opplagring, overdekning og trafikkbelastning i dimensjoneringen.
- Forspente betongrør dokumenteres i henhold til NS-EN 10204-”type 3.1”. For hver serie diameter/trykk-klasse dimensjoneres og dokumenteres utførelsen beregningsmessig. I tillegg testes minst ett rør fra hver serie i henhold til NS-EN 642 kapittel 4. Forspenings stålet dokumenteres spesielt i henhold til NS-EN 642 tillegg A. Det vises for øvrig til generelle bestemmelser i NS-EN 639.

Plasstøpte betongrør hvor armeringen ikke er forspent, eksisterer. De første bygget i Norge er fra før 1. verdenskrig. For plasstøpte betongrør blir det av spesiell betydning at overflaten ikke frosteksponeeres.

Vedlegg H. Vurdering av eldre konstruksjoner

H. 1 Generelle betraktninger

Alle bestående vassdragsanlegg i konsekvensklasse 1 eller høyere skal gjennomgå en grundig undersøkelse og tilstandsanalyse ved revurdering, jf. damsikkerhetsforskriften § 7-5.

I forbindelse med vurdering av eldre konstruksjoner presiseres:

- Dersom det for en eldre konstruksjon er uklart hvilke funksjoner som konstruksjonen skal fylle, avklares funksjonene før andre vurderinger gjennomføres.
- Dersom det ikke foreligger tilfredsstillende vannstands- eller vannføringsdata, skal dette fremskaffes.
- Dersom det ikke foreligger tilfredsstillende data for trykkstøt eller svingegrenser i vannveien, skal dette fremskaffes. En kombinasjon av dynamiske beregninger og kontrollmålinger er hensiktsmessig.
- Er det mangler ved tidligere utførte beregninger, eller at disse ikke er oppdaterte, utføres nye beregninger. Ved beregninger som skal dokumentere konstruksjonens sikkerhet, legges konstruksjonens faktiske tilstand til grunn. Kapasiteten som ved dette fastlegges er konstruksjonens nåtidskapasitet.
- Er dimensjoner ukjente, gjøres det oppmålinger. Blir dette vanskelig å gjennomføre, foretas det estimeringer. Her legges ugunstige antagelser til grunn.
- Generelt godstykkelsesfradrag som angitt i B.2 gjøres ikke gjeldende når nåtidskapasitet på eldre konstruksjon fastlegges.
- Kjenner man ikke aktuelle materialegenskaper, benyttes minimumsverdier slik disse fremgår av det etterfølgende.

H. 2 Eldre stål

Mot slutten av 1800-tallet var det etablert industriell stålfremstilling ved Thomas- og Bessemer-prosess. Fra disse fikk man valsede produkter som plater og profiler. Til Norge ble det i hovedsak levert Thomas-stål fra Tyskland. For disse ble det satt minimale krav. Bestanddeler man i dag anser som skadelige, kunne den gang bli verdsatt fordi de økte materialfastheten. Senere Siemens-Martin-prosess og ulike elektrostålprosesser ga på sin side kvaliteter med mindre andel forurensninger (SM-stål). Dette var av betydning hvis stålet skulle sveises. Fra begynnelsen av 1900-tallet ble SM-stål derfor benyttet i smisveiste kraftverksrør. Som følge av lavt karbon-, mangan- og fosforinnhold var fastheten beskjedent. Dette til tross bør man som utgangspunkt stille seg skeptisk til sveisbarheten for ethvert stål produsert før 1950.

I mellomkrigstiden begynte standardiseringen av de tyske stålene som i stor utstrekning ble benyttet i Norge. Fra slutten på 30-tallet kom dessuten "Forskrifter for levering av stål til den norske stat", samt tilsvarende forskrifter for levering av støpestål og støpejern. Disse bygde hovedsakelig på tyske standarder.

For konstruksjoner levert i perioden 1950-1969 ble det som regel benyttet standardiserte stålmateriale, eksempelvis materialer i henhold til DIN 1612, senere alternativt NS 724.

"Handelsstål", senere stål 00, hadde ofte seigringer som medførte lamineringer i platemateriale. Kjemisk sammensetning gjorde materialet på sin side eldingssprøtt og dårlig egnet for sveising. For øvrige stål fra denne perioden var det kvalitetsutvikling med økende vekt på homogenitet, sveisbarhet, eldingssikkerhet og fremfor alt slagseigheten ved temperatur under romtemperatur.

For turbinrør har det siden 1950-årene vært benyttet ulike spesialstål, eksempelvis kjelstålskvaliteter. De sistnevnte kan til dels sammenlignes med mer moderne stål. Bruk av fullverdige manganlegerte, tette og eldingstrege stål med krav til skårslagseighet ved lav temperatur kom ved innføringen av finkornstål rundt 1960.

For konstruksjoner levert etter 1970 årene ble det ofte benyttet stålmateriale i henhold til NS 12101, alternativt DIN 17100, samt ulike typer finkornstål overensstemmende med DIN 17102. Fra 1990-tallet er de nevnte NS- og DIN-standardene avløst av felleseuropeiske standarder.

I Norge har det i tillegg vært lagerført stål i henhold til Det Norske Veritas spesifikasjoner. DNV- spesifikasjonene har endret seg over tid, og avviker til dels fra øvrige stål. Dertil kom oljebransjen med et utall spesialspefisikasjoner som til dels påvirket det som fra 1970-årene var av tilgjengelige stålkvaliteter.

H. 3 Eldre materialers mekaniske egenskaper

Finnes det materialdata, enten i form av sertifikater eller i form av materialangivelse på tegninger, forutsettes fasthetsverdier i henhold til dette. Beregningsverdien settes for stålmateriale lik minste flytespenning, men maksimalt 80 % av strekkgrensen R_m , eller hvis flytegrensen er ukjent, 55 % av laveste tenkelige strekkgrense.

Hvis en ikke har, eller kan sannsynliggjøre materialdata, forutsettes for valset stål av antatt "handelskvalitet" en elastisitetsgrense $R_e = 185$ MPa. For støpestål settes tilsvarende $R_e = 210$ MPa.

Hvis en ikke har andre data, forutsettes for stålagnler en strekkgrense $R_m = 340$ MPa, og elastisitetsgrense $R_e = 185$ MPa.

For luker av støpejern uten nærmere materialangivelse forutsettes strekkgrense $R_m = 140$ MPa og tillatt strekkbøyespenning $R_m / 7 = 20$ MPa ved karakteristisk last når materialtykkelsen i beregningstverrsnittet ikke overskrider 30 mm.

For konstruksjoner i tre antas fasthetsklasse C14 hvis ikke annet er dokumentert.

Finnes en enkelt eller noen få materialprøver, settes beregningsmessig fasthet til 90 % av laveste målte verdi.

Eldre stålmateriale har ofte lave slagseighetsverdier og høy omslagstemperatur. Der man ikke har slagseighetsdata eller andre bruddmekaniske egenskaper, kan man anta minimumsverdi på 6,0 Joule CVN og midlere verdi på 9,0 Joule CVN ved 0 °C

Midlere verdi benyttes for stålmaterialer med flytegrense $R_e < 270$ MPa som er glødd etter kalddeformering eller sveising, inkludert smisveising, og sammenføyd med skruer eller nagler. Hvis materialene er kalddeformert/sveist uten etterfølgende gløding, vil slagseigheten i aktuelt område reduseres til minimumsverdi. Eldre stålmaterialer med høyere fasthet kan ha lavere slagseighet.

H. 4 Beregningskontroll

Ved beregningskontroll hvor det finnes referanser til standardiserte beregninger, eksempelvis NS 424 (1935) og 424 A (1956), bør en ikke gå ut over det spenningsnivået som disse standardene forutsetter.

Ved beregningskontroll etter metoden med partialkoeffisienter kan det benyttes følgende materialfaktor for primære bøy- og membranspenninger ved bruddgrensetilstanden:

- Konstruksjoner levert før år 1950: $\gamma_m = 1,50$
- Konstruksjoner levert årene 1950 – 1969: $\gamma_m = 1,40$
- Konstruksjoner levert årene 1970 – 1980: $\gamma_m = 1,30$
- Konstruksjoner levert etter år 1980: $\gamma_m = 1,25$

Materialfaktorene ovenfor gjelder generelt ved strekk-, trykk- og bøyepenninger for "handelsstål" eller for annet valset stål hvor det ikke finnes noe spesiell dokumentasjon av verken stålqualität eller fasthetsegenskaper.

For duktile støpte materialer økes materialfaktoren med 25 % i forhold til tilsvarende valsede materialer, jf. kapittel 4.2, siste avsnitt.

Ved strekkspenninger hvor kreftene ikke overføres gjennom hele tverrsnittet, eksempelvis ved påsveiste konstruksjoner, bør materialfaktorene for konstruksjoner levert før 1970-årene økes i forhold til det angitte. Dette begrunnes med at materialene den gang ofte hadde lamineringer samtidig som sveiseteknikken var ufullkommen.

H. 5 Spesielt for stenge-/tappeorganer

Mange lukekonstruksjoner har et uoversiktlig spenningsbilde. Detaljert beregning er bare til en viss grad mulig ved hjelp av omfattende elementberegninger. Ved lineær teori kan en få galt inntrykk av sikkerhetsnivået.

Ved en revurdering er en kontroll av globale spenninger sammen med en vurdering av hvor en kan få lokale spenningspisser vesentlig. Disse er ofte utjevnet og en inspeksjon av disse områdene, eventuelt med sprekkekontroll, er viktig for å vurdere konstruksjonens sikkerhet.

Enkelte komponenter, eksempelvis lagre for segmentluker, er dimensjonert for store trykkpåkjenninger i én retning, mens det forutsettes små friksjonskoeffisienter i selve lageret. Hvis friksjonen øker, kan momentbelastningen på lukebena føre til sammenbrudd. Kontroll av disse forholdene blir derfor viktig.

Noen overflateluker er i utgangspunktet ikke dimensjonert for islast. Det forutsettes da at lukene har tilstrekkelig fleksibilitet/deformasjonsevne slik at islasten blir overført til pilarene. For klappeluker med hydraulisk opptrekk vil sikkerhetsventil gi beskyttelse.

Alle luketyper bør tåle fullt istrykk som ulykkeslast, men ved revurderinger kan driftserfaringer tillegges vekt. Med driftserfaringer menes spesielt registrerte isproblemer gjennom lukens levetid. Videre bør det vurderes om luken i istrykkssonen kan deformeres lokalt uten at den totale stabiliteten ødelegges.

Manøvreringskreftene som man får ved friksjonskoeffisienter som denne retningslinjen anbefaler, tilsvarer det man erfaringsmessig kan få i ugunstigste tilfelle, spesielt ved bevegelsesstart. Manøvreringskrefter beregnet etter eksempelvis DIN 19704 er ofte lavere og gjenspeiler gjennomsnittsverdier for konstruksjoner som beveges relativt hyppig.

Forbindelser mellom stenge-/tappeorgan og manøvreringsinnretning er tradisjonelt dimensjonert ut fra nødvendig manøvreringskraft og ikke ut fra manøvreringsinnretningens kapasitet. Dette er av betydning dersom et stenge-/tappeorgan kjøres mot blokkering. Ved revurdering bør man inspisere nøye de deler av konstruksjonen som kan ha blitt utsatt for en slik hendelse.

Ved tvil om spillkapasitet, er en kombinasjon av beregninger og realistiske målinger på anlegget, sammen med en vurdering av spilllets overkapasitet påkrevd. For mekaniske spill med elektrisk motor er motorens kippmoment, dvs. dens evne til å starte manøvrering av betydning. Dertil kommer lastbryters innstilling dersom spillet er utstyrt med slik. Ved hydrauliske spill kan innstilling av overtrykksvern bli vesentlig.

Lukkeevnen ved selvlukkende luker må foruten ved beregningskontroll alltid kontrolleres på anlegget ved ugunstige forhold.

Styrings- og manøvreringsikkerhet er spesielt viktige for flomluker. Ved revurdering kommer kartlegging av disse som tillegg til vurdering av den mekaniske dimensjoneringen.

H. 6 Spesielt for rør

I tillegg til spenningsberegninger blir vurdering av bruddmekaniske egenskaper viktig for stålrør i konsekvensklasse 2 og 3. Trykkrør og tilsvarende konstruksjoner bør "lekke før de sprekker", dvs. at kritisk sprekklengde ved 0 °C skal være større enn veggtykkelsen ved en spenning tilsvarende materialets flytespenning hvis materialet er sveist uten etterfølgende gløding. Ved materialer som ikke har sveiser i de påkjente sonene, eller som er glødd etter sveising, benyttes beregnede spenninger.

Et spesielt problem har en ved smisveiste rør. Ved dimensjoneringskontroll ut fra materialets flytegrense, veggtykkelse og karakteristisk trykk, vil en vanligvis ved glatte, smisveiste rør få en sikkerhetsfaktor $S_F > 1,8$, tilsvarende $\gamma_m = 1,50$ og $\gamma_f = 1,20$. Rørene kan imidlertid ha store bindefeil i sveisene. Fullstendig kontroll blir her kostbart. Dertil kommer usikre utbedringsmuligheter. For smisveiste rør i konsekvensklasse 1 og spesielt i klasse 2 anbefales det at smisveiste rør etter hvert tas ut av bruk. For rør i konsekvensklasse 3 og høyere skal smisveiste rør tas ut av bruk, og NVE kan gi en tidsfrist.

Det er ikke påvist utmattingsproblemer ved slike rør, og det er sannsynlig at rørene hvis de ikke har skader, fremdeles minst tåler opprinnelig prøvetrykk, korrigert for forskjell fra prøvetemperatur til driftstemperatur. Utbedringer eller endringer i ettertid, eksempelvis påsveising av mannlokk, kan imidlertid medføre redusert styrke.

Ved bandasjerte rør, både trykkforspente og rør med påkrympede ringer, er det viktig å vurdere den opprinnelige trykkprøvingen sammen med forventede påkjenninger. For rør med påkrympede ringer blir produksjonsnøyaktighet av stor betydning for spenningsfordelingen i konstruksjonen.

Eldre stålrør som er elektrisk- eller autogensveist kan ha samme kombinasjon av dårlige bruddmekaniske egenskaper og store sveisefeil som smisveiste rør.

Ved modernisering av anlegg med eldre rør, eksempelvis ved ny regulator eller øket installasjon, skal rørstyrke og mulige nye trykkstøt vurderes på forhånd.

Tynnveggede rør med sadelopplagring har ofte høye spenninger til side for opplagrene og over kanten av sadelen. Her kan en få engangs flyting. Stabilitetsberegning etter NS-EN 13445 kan benyttes i stedet for en ren lineær teori.

For frittliggende eldre rør finnes det ofte ikke tegninger av fundamentutførelse, heller ikke annen dokumentasjon om det er brukt fjellbolter der fundamentene står på fjell. Ved revurdering av eldre anlegg skal fundamentene da stabilitetskontrolleres uten hensyn tatt til fjellbolter. Det stilles samme krav til sikkerheten av eldre betongfundamenter som for nye, jf. kapittel 6.3.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Retningslinjeserien i 2011

Nr. 1 Retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter

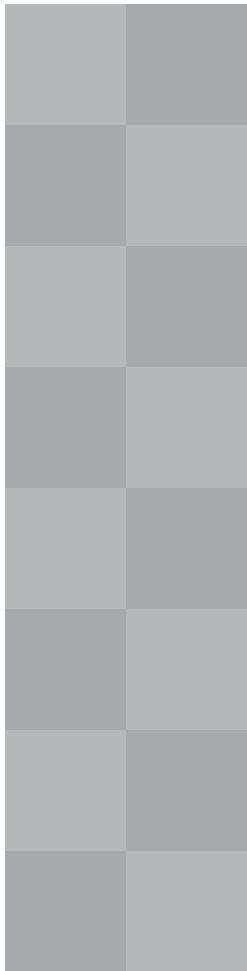


Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen,
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
Internett: www.nve.no



Tillegg til retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter (2011)

Dato: 11.04.2012 (oppdatert 28.2.2019)

Dybelbruk i forankringsklosser for trykkrør

Forankringsklosser for trykkrør skal kontrolleres for velting og glidning i henhold til kap. 6.3 i NVEs retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter. For forankringsklosser fundamentert på fjell bør det generelt tilstrebes konstruktive løsninger der stabilitetskravene ivaretas av forankringsklossens egenvekt og/eller tilstrekkelig motfall på fjellfundamentet. I enkelte tilfeller kan det imidlertid være behov for å øke stabiliteten ytterligere gjennom bruk av fjellbolter eller spennstag.

I henhold til gjeldende forvaltningspraksis kan strekkraften i fjellbolter/spennstag medregnes som bidrag til friksjonskapasitet ved kontroll av glidestabilitet. Strekkraften i slakke fjellbolter vil imidlertid ikke kunne bli større enn den kraften som aktiveres for å balansere veltemomentet, noe som i noen tilfeller medfører at boltene kun vil gi et beskjedent bidrag til friksjonskapasiteten.

Etter diverse innspill og diskusjoner med bransjen åpner derfor NVE for å tillate bruk av dybler i forankringsklossens trykksone i tilfeller der sikkerhetskravet mot glidning ikke kan oppfylles ved friksjon alene. Det forutsettes da at kapasiteten av dyblene regnes etter en anerkjent dimensjoneringsmetode, eksempelvis dimensjoneringsmetoden i Betongelementboken, ref:

http://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookB.asp?isSearch=0&liID=1942&DocumentId=BindB/Del_3/B19/19_4_2.pdf&BookId=B

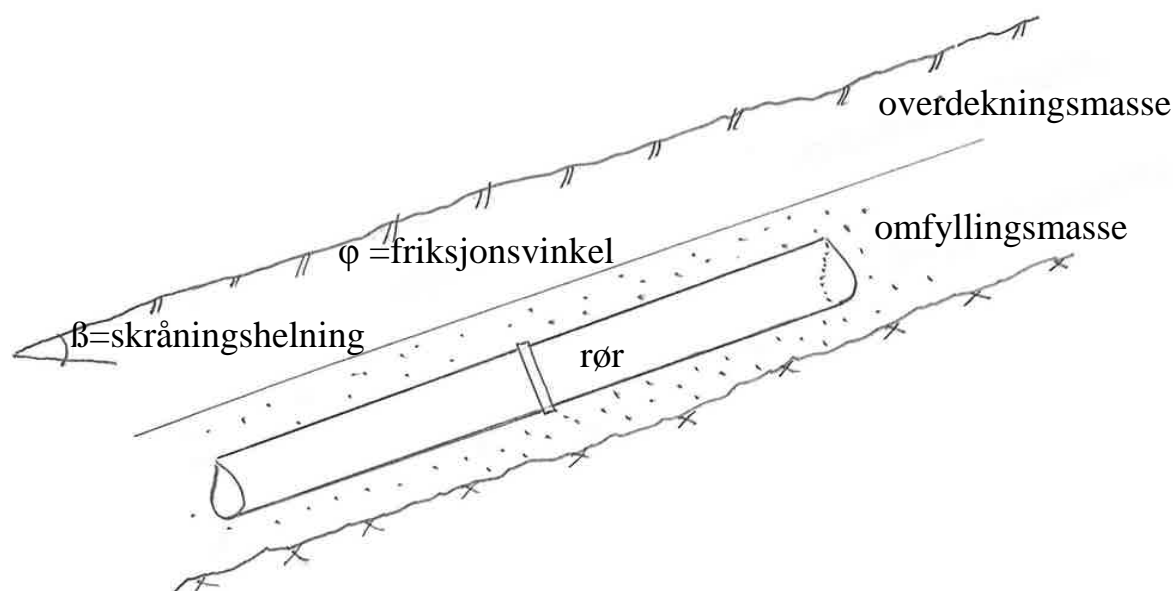
Med dybler menes fjellbolter som overfører tverrbelastning ved avskjæring. Eventuelle dybler skal plasseres i forankringsklossens trykksone. Dyblene skal settes vertikalt og gyses minimum 300 mm i fast fjell og stikke minimum 300 mm opp i forankringsklossen. Minste tillatte betongoverdekning og senteravstand mellom dybler er 300 mm.

Minst 50 % av friksjonskapasiteten skal stamme fra egenvekt. Det presiseres at dybler i trykksonen kun tillates brukt i forankringsklosser for trykkrør.

Nedgravde rør i bratt terreng. Sikkerhet mot overflateutglidning

Trykkør i tilknytning til småkraftverk vil ofte på partier i rørtraseen bli lagt i bratt terreng. I retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter, kapittel 6.4.1 står det at ved vanskelige grunnforhold, og der det reises tvil om global sikkerhet er ivarettatt, skal grunnforholdene vurderes av geoteknisk sakkyndig. Kontroll av sikkerheten mot utglidning må også gjelde for massene over røret. Noe er sagt i pkt. G.3.2 i retningslinjene, men teksten må konkretiseres. I det etterfølgende er det forutsatt at rørledningen ligger tilnærmet rett i skråningen. Vi minner om at sikkerheten mot overflateutglidning også må kontrolleres i sideveis bratt terreng.

Forutsetningen for at rør skal ligge stabilt i løsmassegrøft er beskrevet i retningslinja, og det skal framlegges stabilitetsberegninger for rørtraseer brattere enn 20° . En viktig parameter i stabilitetsberegningen er overdekningsmassene som gir et stabiliserende bidrag i glidekontrollen. Dersom masser vaskes bort ved nedbør og eroderende overflatevann, vil røret bli avlastet, og sikkerheten mot glidning/forskyvning blir redusert. Den minste avvinkling under legging kan derfor føre til at sidekraften fra vanntrykket i en rørskjøt vil kunne forårsake ustabilitet, utglidning og rørbrudd når overdekningsmasser vaskes bort, helt eller delvis.



Skjærmotstanden i et gitt glidesjikt uttrykkes ved skjærkraften (normalkraft x friksjonskoeffisient) minus poretrykket. Normalkraften er effektiv tyngde av overdekningsmassen. Friksjonskoeffisienten, gitt ved $\tan \phi$, avhenger av massenes sammensetning i glidesjiktet (mineralogi, kornstørrelse) og lagringsfasthet (komprimering). Poretrykket er avhengig av vanntrykket i glidesjiktet.

Skjærmotstanden skal sammenlignes med den drivende kraften i glidesjiktet, og sikkerheten mot glidning skal minst være $S = 1,5$ for tørr skråning og $S = 1,1$ for vannmettet skråning.

Tilbakefylling av stedlige masser over rør og omfyllingsmasser (se skisse over) vil ofte være en blanding av f.eks. morene, sand, jord, røtter ol, og også ofte utført med utilstrekkelig komprimering, og da skal det velges forsiktige verdier på friksjonsvinkelen. For godt komprimerte tilbakefylte friksjonsmasser av grus og sand kan ϕ velges lik 35° (Håndbok 16 Geoteknikk i vegbygging, Håndbok Saint-Gobain). For blandingsjord uten tilfredsstillende komprimering settes ϕ ikke høyere enn 25° - 28° . For overdekningsmasser av knuste steinmaterialer (samme masser som omfyllingsmassene, f.eks. pukk 8-32 mm) kan ϕ settes lik 40 - 42° .

Det må skilles mellom overflateglidning i tørr skråning, og overflateglidning i vannmettet skråning hvor grunnvannstanden er i nivå med terrenget og parallelt med skråningen. Jf. geoteknisk litteratur, f.eks. Nilmar Janbu 1970, kapittel 5. Der hvor overflatevann ikke dreneres bort fra grøfttraseen er det

grunnvannstrømning parallelt med skråningen det må kontrolleres for i forbindelse med rør til småkraftverk.

Tørr skråning

Sikkerhet mot overflateglidning:

$$S = \text{tg } \varphi / \text{tg } \beta \text{ (hvor } \beta \text{ er skråningshelningen)}$$

Vannmettet skråning

Her er poretrykket bestemt av skrå grunnvannstand, og med en grunnvannstrømning tilnærmet parallelt med skråningen. Sikkerhet mot overflateglidning vil da være:

$$S = (\gamma - \gamma_w) \cdot \text{tg } \varphi / \gamma \cdot \text{tg } \beta$$

hvor

- γ er tyngdetetthet av masse
- γ_w er tyngdetetthet av vann
- φ er friksjonsvinkel i masse
- β er skråningshelning

I det etterfølgende er satt opp en tabell med ulike verdier av friksjonsvinkel φ og korresponderende verdier for skråningshelning β , forutsatt sikkerhet mot glidning $s = 1,5$ (bruddgrense) og $s = 1,1$ (ulykke, vannmettet tilstand). I tabellen er det valgt $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$.

Friksjonsvinkel φ	Skråningshelning β for tørr tilstand og $s = 1,5$	Skråningshelning β for vannmettet tilstand og $s = 1,1$
20°	13,6°	9,4°
25°	17,3°	12,0°
28°	19,5°	13,6°
30°	21,1°	14,7°
35°	25°	17,6°
40°	29,2°	20,9°
42°	31,0°	22,2°

Eksempel

For gitt friksjonsvinkel $\varphi = 40^\circ$ i overdekningsmasser vil tillatt skråningshelning være $29,2^\circ$ for tørr masse og $20,9^\circ$ for vannmettet masse, dersom det er fare for at overflatevann kan renne inn og fylle rørgrofta uten at det gjennomføres avbøtende tiltak.

Dersom sikkerheten mot overflateglidning ikke er tilfredsstillende, må rørene forankres spesielt, f.eks. med forankringsklosser, strekkfaste koplinger, eller at det tilføres mer stabile overdekningsmasser med høyere friksjonsvinkel i eventuell kombinasjon med avskjærende grøfter for bortledning av overflatevann.

Stålmaterialers karakteristiske fasthet og forankring av platekledninger i omliggende betong

Dette notatet er et tillegg til «Retningslinjer for stenge- og tappeorganer, rør og tverrslagsporter», og inneholder presiseringer av tekst i retningslinjene.

4.2 Dimensjonering av stålkonstruksjoner inkl. stålrør

Stålmaterialers karakteristiske fasthet

Karakteristisk fasthet er definert i Retningslinjenes kapittel 4.2. Stålmaterialets karakteristiske fasthetsverdi er normalt flytegrensen (f_y , R_{eh}), men begrenset til 80% av materialets garanterte bruddgrense (f_u , R_m) for høyfaste stål eller stål uten markert (angitt) flytegrense. Dimensjonerende materialfasthet er karakteristisk fasthetsverdi dividert med materialfaktor.

NS 3472:2001 bruker stålets bruddgrense f_u i formler for tillatte spenninger i sveis. Bruddfastheten f_u skal erstattes med stålets karakteristiske fasthet f_y iht. retningslinjene i alle beregninger der NS 3472:2001 bruker bruddfasthet.

C.2 Platekasse

Forankring av platekledninger inn i omliggende betong

Kraftoverføringen fra platekledning ut i omkringliggende konstruksjon skal dokumenteres. Overføring av strekkrefter fra platekledning kan utføres ved at kamstål festes til ribber og føres ut og forankres i betongens trykksone eller i fast fjell.

Platekasser skal være gjenstand for kontroll ved tilsyn og revurderinger. Hvordan denne kontrollen utføres vil være opp til den fagansvarlige å vurdere i hvert enkelt tilfelle. Ved påviste skader på platekledningen skal den fagansvarlige foreslå mulige utbedringer, f.eks. med pansringsplater og oppspente fjellankere.