

NORSOK, STANDARDER FOR STÅLKONSTRUKSJONER

Prinsipper og regler fra design til fabrikasjon
Martin O. Måseide, V M I AS. Oppdatert 2015.

I n n h o l d

1. Viktigste standarder
2. Grunnleggende prinsipper
3. Hierarki for beslutninger
4. Essensielle parametre i design
5. Materialspesifikasjon
6. Fabrikasjon

1. Viktigste standarder og referanser

De viktigste standarder og referanser som nevnes i denne gjennomgangen er først og fremst NORSOK standardene nr. N-001, N-003, N-004, M-101 og M-120, i tillegg diskuteres elementer fra ISO 13819-1 (eller EN-ISO 13819-1), deler av forslag til ISO-13819-2 og de nye DNV regler innenfor design og delvis materialvalg. I tillegg kan refereres til ISO 19902 for Jacketer som inneholder en del generelle prinsipper om metodikk for materialvalg og fabrikasjon.

N-004 er nylig revidert og oppdatert i inneværende år. Det er tilstrebet et 1:1 forhold mellom Norsok. NS og DNV's nye regler, vesentlige likheter har også vært der tidligere.

Andre NORSOK standarder som har betydning for design og fabrikasjon er J-003, M-001, M-501, M-503, N-005 og Z-001.

2. Grunnleggende prinsipper

De grunnleggende prinsipper for arbeidet med NORSOK har vært å oppnå:

- forenkling og referanse til andre standarder uten å gjenta innhold som kan refereres
- ensretting til felles krav
- kostnadsreduksjon

I tillegg har forenkling inneholdt et viktig element, nemlig en hierarkisk systematisering slik at hvert ledd skal kunne gjennomføre sitt arbeid med et minimum av styrende dokumenter. Dette er spesielt viktig for fabrikasjon hvor entydig fremstilling og forståelse av krav er viktig for å oppnå kvalitet.

En klarest mulig hierarkisk oppbygging av NORSOK har også vært medvirkende til at grunnleggende forutsetninger og elementær informasjon har blitt utelatt fra standardene. Typisk opplæringsinformasjon som tidligere var del av innholdet i oljeselskapenes spesifikasjoner er nesten helt fjernet. Det er derfor viktig å være oppmerksom på at et minimum av grunnleggende kompetanse forutsettes for riktig bruk av NORSOK.

Dersom denne kompetanse ikke er tilstede kan det være risiko for feil anvendelse.

Slik NORSOK er utformet gjelder standardene for utbygginger hvor konsekvensene med hensyn til tap av menneskeliv, forurensninger og økonomisk tap vil kunne være store.

Ut fra denne forutsetning er det lagt opp til vurdering av de strukturelle elementenes viktighet for bærevirkning.

Standardene legger i dag ikke opp et mønster for design av konstruksjoner hvor de globale konsekvensene er små. Det er imidlertid fullt mulig å anvende de generelle prinsipper, gjerne i forbindelse med høyere utnyttelse av grensetilstander, for eksempel ved justering av lastfaktorer, materialfaktorer og nedjusterte levetidsfaktorer for utmatting. Dette mønster er ikke lagt på plass ennå hverken nasjonalt eller internasjonalt og her er det flere vanskelige elementer før mønsteret kan være klart.

3. Hierarki for beslutninger

Grunnlaget for ansvar i de forskjellige ledd i offshore prosjekter kan plasseres i et hierarki for beslutninger. Dette hierarki beskriver samtidig det vesentlige innhold i de dokumenter som den enkelte er ansvarlig for og innholdet i de dokumenter som overleveres til neste ledd i prosessen. I de praktiske deler av denne prosessen har NOROK vært klart mer systematisk enn noen andre nasjonale eller internasjonale regler eller standarder.

3.1 Myndigheter/ oljeselskaper (premissgivere)

Definere alle vesentlige konseptuelle forutsetninger for prosjektet, herunder:

- operasjonskriterier, begrensninger i geografisk bruksområde og
- operasjonstemperatur(er) (uttrykt ved LAST (lowest anticipated service temp.))
- spesielle sikkerhetskrav som kan influere strukturelt
- spesielle krav til last-/ materialfaktorer
- spesielle vedlikeholds krav eller utmattingsfaktorer
- felt spesifikke laster/ aksjoner, uvanlige forhold eller returperioder
- kritiske forhold som forutsetter ekstra tiltak m.h.p. verifikasjon
- definere utviklingsarbeider innenfor konseptet/ prosjektet

Alle disse forhold bør være oppsummert i en «design basis» for prosjektet.

Dersom ikke alle disse forhold er klarlagt er det viktig å få definert de gjenværende parametrene innefor tidlige utviklingsarbeider i en utvidet konseptfase slik at styrende parametre er fastlagt før start av detaljprosjekteringen. Ytterligere klargjøringer av disse forutsetninger gjøres ofte i en såkalt «Feed»-fase.

Parametre eller forhold som ikke er avklart bør være spesifisert også med hensyn til fordeling av risiko dersom uforutsette problemer fremkommer under det videre arbeid.

3.2 Konsulent/ designer/ ingeniør (detaljprosjektering)

Tillempe alle konseptbetingelsene for prosjektet og bake disse inn i detaljerte dokumenter for gjennomføring av detaljprosjektering, herunder utarbeide:

- systematiske prosedyrer for utførelse av arbeidet
- design briefs for alle viktige deloppgaver
- analyser og rapporter
- grensesnittedokumenter
- innkjøpsunderlag og innkjøpsordrer
- underlag for aktiviteter som marine operasjoner, utprøving og installasjon etc.
- underlag for inspeksjon og vedlikehold i levetiden for prosjektet
- planer for verifikasjon/ oppfølging av prosjektering, innkjøp og bygging
- fabrikkasjonsunderlag med tegninger og dokumenter
- sluttokumentasjon med DFI-/DFO-resymmer

Det er vesentlig at dokumentene som utgjør fabrikkasjonsunderlaget er komplette og presentert på en systematisk og god måte. Det ideelle ville være om kun NOROK spesifikasjoner var det eneste supplement til tegninger, men dette er neppe oppnåelig.

Dessverre ser vi stadig eksempler på at uferdige eller upresise dokumenter, av og til i konflikt med annen informasjon, sendes ut til verksteder. Her er det ennå mer å vinne innen prosjektering.

3.3 Fabrikkasjons-/ installasjons-kontraktør

Motta fabrikkasjonsunderlag fra prosjektering og ut fra dette utarbeide eget underlag for fabrikkasjon.

I tilfeller med EPC kontrakter har dette samspillet startet allerede under prosjektering slik at det mottatte underlag allerede er forberedt for fabrikkasjon og bare mindre tilføyelser av spesifikke verksteds data trenges ført inn i dokumenter og på tegninger før oppstart. Typisk byggeinformasjon vil være:

- kvalitetsstyringsdokumenter, tidsplaner og byggeprinsipper
- arbeidstegninger (ofte dataoverførte)
- arbeidsprosedyrer og håndbøker for alle deler av produksjonen
- sveiseprosedyrer
- kontrollprosedyrer for utførelse inkludert NDT
- dimensjonsstyringsprinsipper og prosedyrer
- prinsipper og prosedyrer for løfting, transport og marine operasjoner
- gjennomføre analyser for områder under byggers ansvar

Videre gjennomføres materialavtak, innkjøp og fabrikasjon i samsvar med de krav som er nedfelt i tegninger og de eventuelle spesifikasjoner som er utarbeidet for krav som ikke er dekket i NORSOK standarder. Krav til byggedokumentasjon har i NORSOK fått et minimumsformat hvor negativ rapportering og dokumentasjon av avvik fra krav er de sentrale elementene.

NB: Essensielle avvik fra byggefasen skal samles og dokumenteres i F-resymeer. Normalt vil avvik fra bygging være vurdert som akseptable fra den prosjekterende. Av hensyn til drift skal alle avvik rapporteres.

4. Essensielle parametre i design

I design skal ingeniøren ta stilling til alle vesentlige forhold som har betydning for konstruksjonen gjennom alle faser av prosjektet. Selv om hovedvekten legges på forhold under feltets operasjonstid skal forhold under midlertidige faser være tatt hensyn til. I denne sammenheng kan være på sin plass å minne om at de grove ståldekkene som skulle henges inn i betongskaftene til Gullfaks C hadde utmattingssprekker etter den korte transporten fra Pori, Finland til Stavanger.

Designere må kjenne alle styrende dokumenter i et prosjekt, inkludert krav som stilles til fabrikasjon, for å være i stand til å sette krav som harmonerer med et gjennomgående sikkerhets og kvalitetsnivå.

De analytiske sidene av arbeidene skal ikke berøres her, bare de forhold som har sentral betydning for materialvalg og bruk av konstruksjoner, nemlig;

- materialvalg
- forutsetninger for fabrikasjon
- fabrikasjonskrav og
- dokumentasjonskrav under fabrikasjon.

Disse vurderinger finner sitt grunnlag i N-001.

4.1 Design klassen (Design Class / DC)

Design klasse for komponenter velges på grunnlag av viktigheten av de tilhørende sveiseforbindelsene. Se Tabell 5-1 i N-004.

Viktigheten bedømmes ut fra hele konstruksjonens reststyrke når denne sveis eller komponent har skade eller brudd («failure will have substantial consequences», med risiko for tap av menneskeliv, vesentlig forurensning eller store økonomiske konsekvenser).

Denne vurdering kan støttes på vurderinger eller analyser av skadede konstruksjoner men man kommer utrolig langt ved rent skjønnsmessige vurderinger på basis av erfaring med lignende konstruksjoner.

Ut fra dette grupperes hver sveis eller komponent innenfor tre hovedklasser og to underklasser;

- DC 1, alternativt DC 2,
- DC 3, eller alternativt DC 4, eller
- DC 5.

Sveisens kompleksitet med hensyn til geometri og spenningsoppbygging avgjør om en sveis vil havne i DC 1 eller DC 2. De samme kriterier avgjør også mellom DC 3 eller DC 4.

For dette skille er underlaget for bedømmelse vanskeligere. Som prinsipp vil rene buttsveiser alltid karakteriseres som enkle. Det samme vil vanligvis gjelde T-forbindelser med tynne plater.

I andre enden av skalaen vil flere tykke plater som møtes i kryss alltid karakteriseres som komplekse forbindelser. Platekonstruksjoner hvor plater med tykkelser 50 mm og over møtes i kryssende forbindelser vil ha stor stivhet både i og ut av platenes plan og gir høyere oppbygging av egenspenninger, uoversiktlige spenningsforløp og er dermed være å anse som komplekse.

Gode sekvenser i sammenbygging i verkstedet kan påvirke oppbygging av egenspenninger. Dette kan bare unntaksvis tas inn som forutsetning i designers valg, det vil si at designer alltid må ta konservative valg for bedømmelse av designklasse for at verkstedet skal ha størst mulig frihet under bygging.

Erfaringer fra offshore prosjekter de siste årene viser at valg av klasse stort sett blir godt og korrekt gjennomført for store komplekse konstruksjoner der alle nivåer i kritikalitet kan opptre. For mindre konstruksjoner og komponenter, hvor designer bare har designansvar for en begrenset del, viser det seg at valgene ofte tas til en konservativ side. Det ser ut som om enhver designer med respekt for seg selv føler seg pålagt å bruke hele matrisen med design klasser, selv for sekundære komponenter. Dette er ikke riktig anvendelse og vil kunne føre til unødige merkostnader i fabrikasjon.

4.2 Stålkvalitetsnivå

Design klassen styrer direkte krav til stålkvalitetsnivå (**Steel Quality Level**, forkortet **SQL**).

I tillegg til design klassen skal valget av SQL også påvirkes dersom det kan opptre høye spenninger i tykkelsesretningen for plater eller profiler. Dette for sikre nødvendig styrke normalt platens plan.

Slik NORSOK er bygget opp er alle seighetskrav for konstruksjoner med operasjons-temperaturer ned til -14 °C tatt vare på gjennom de begrensninger i materialvalg som ligger i databladene i M-120.

Begrepet SQL dekker en gjennomtenkt begrensning i materialvalget som sikrer en robusthet i design, fabrikasjon og drift. Denne robusthet går langt ut over rene minimumskrav.

Denne metodikk som er valgt i NORSOK er gjort og dokumentert i samarbeid med verksteder i løpet av 1980- og 90-tallet og har trolig vært medvirkende til at man problemfritt har kunnet anvende materialer med flytegrenser på 420, 460 og opp i 500 MPa uten at fordyrende tiltak i fabrikasjon har vært nødvendige. For designer slår det spesielt gunstig ut at man arbeider med samme flytegrense og samme sveisbarhet innenfor et stort utvalg av tykkelser.

Med den innebygde robusthet i materialvalget er det forutsatt at sprø brudd ikke vil opptre under statiske laster. Dette har generelt sett blitt bekreftet ved at selv vesentlige feil i utførelse som har gitt tilsynelatende meget sprø sveisesoner ikke har resultert i følgeskader av noen art.

Dette kan ha to mulige årsaker, enten er våre beregningsmodeller svært konservative eller så er konstruksjonene vesentlig mindre følsomme for lokale sprø forhold enn det vi forventer.

For å dekke opp disse forhold når risikoen for sprø oppførsel øker formulerer N-004 krav at designer skal beregne akseptgrenser for bruddseighetsverdier når platetykkelsen overskrider 50 mm når samtidig SQL I eller SQL II er valgt. Å knytte kravet til SQL er en grov forenkling av vurdering av risikoen.

Uten at en bedre formulering finnes i dag vet vi at i tillegg til kompleksiteten vil både høyere flytegrense og utnyttelsesgraden mot utmatting påvirke risikonivået for sprø brudd. Det virker urimelig at vi skal skjerpe kravene under dagens forhold før det kan avdekkes hvilke sikkerhetsmarginer vi egentlig har innarbeidet mot sprø bruddformer.

De materialer som velges innenfor NORSOK's rammer har ikke variasjon i utmattings-egenskaper. Utnyttelsesgraden m.h.p. utmatting påvirker derfor ikke materialvalget primært. Sekundært påvirkes det gjennom vurdering av de bruddmekaniske grenseverdier. Det vil være vesentlig at materialene har seighet og reststyrke selv etter omfattende skrekddannelse.

4.3 Inspeksjonskategorier

NORSOK har erkjent at NDT ikke tilfører sveisen kvalitet men utgjør et nødvendig sikkerhetsnett i fabrikasjon for å påvise at forutsatt kvalitet i sveis er oppnådd.

Design klassen, som angir sveisenes innbyrdes viktighet, er hovedparameter for å velge omfang av inspeksjon under fabrikasjon og angir dermed «tettheten» i sikkerhetsnettet.

I tillegg til design klassen har spenningsretning i forhold til de typisk opptredende sveisefeil en klar innflytelse sammen med type spenning over sveisen, som vist i tabell 5-3 & 5-4 i N-004.

Det er forsøkt å sette en grenseverdi for utmattingsutnyttelse for bruk av de to tabellene, denne må brukes retningsgivende innefor rommelige grenser, men kan selvsagt brukes til å avgrense lokale områder hvor spenningsvariasjonen er stor over sveisens lengde.

Vurderingsgrunnlaget er at de sveisefeil som i geometrisk utstrekning faller sammen med sveisens hovedakser i tykkelse og lengderetning er mest kritiske for sveisens bæreevne og dermed viktigst å avdekke når de opptrer. Både med hensyn til statisk styrke og til sprekkeforplantning ved utmatting vil sprekker og plane defekter som er orientert normalt til retningen for hovedspenningen være de mest kritiske og dermed de som er viktigst å oppdage.

Som vi skal se på i fabrikasjonssammenheng er nettverket i kontroll ganske åpent. Det vesentlige ved all kontroll er å avdekke om systematiske feil opptrer, d.v.s. feil som indikerer at utførelse av sveising går på grensen av det akseptable og som dermed med små variasjoner kan generere repeterende feil.

Her er et vesentlig element som ikke er skrevet inn i standarden, nemlig forutsetningen om at verkstedet selv må velge å utføre delkontroll slik at den gir et best mulig inntrykk av utført sveisekvalitet. Dette betyr i klartekst at jo mindre omfang som er krevd desto sterkere er kravet til representativ utvelgelse av områder av sveiser for kontroll.

I prinsippet betyr det at delvis kontroll av alle sveiser vil være høyeste grad av representasjon dersom slik delkontroll utføres på de deler av sveisene der det er størst risiko for at feil er gjort ved utførelse av sveisingen. (vanskelig tilkomst, kryssende sveiser, dårlig tilgang til rotstreng, etc)

I lys av verkstedenes sterke medvirkning i reduksjon av kontrollomfang i NORSOK viser erfaring så langt at disse prinsipper for styring av egenkontroll oppfylles hos de fleste verksteder. Erfaring fra utenlandske verksteder er variabel i denne sammenheng. I uheldige tilfeller kan det reduserte omfang bidra til redusert kostnad for verkstedet samtidig som det oppnås lavere reparasjonsomfang på grunn av at sveisefeil ikke detekteres.

Ved konstruksjoner med høy utnyttelse på utmatting er det en kjennsgjerning at de geometriske overflateforhold langt overskygger effekten av indre feil. Dette krever en årvåkenhet hos designer. Systematikken med å angi slike områder spesielt med kontrollmetode og områdebestemmelse er tilstede og blir brukt av mange designere. Valg m.h.p. anbefalte kontrollmetoder må i dag baseres på den enkeltes kunnskap da den ikke er beskrevet. Verkstedets kompetanse er her viktig å utnytte.

5. Materialspesifikasjon

I M-120 er det angitt en samling datablader som viser utvelgelsen av materialer innenfor de fire SQL gruppene. Ut fra dette er systematiske valg meget enkle. Spesielt for designer er det genialt at et stort spektrum av fastheter er nominert i hver gruppe slik at man har stor frihet til å velge materiale ut fra ønske om størrelse for det elastiske tøyingsområdet og hele tiden overholde samme krav til robusthet med hensyn til fabrikasjonsvennlighet.

De begrensningene som er lagt i opsjonene mot de ulike EN-standardene er ved siden av krav til kvalifisering de tiltak som har vært nødvendige for oppnå denne enkle bruksform.

I lys av det enorme utvalg av varianter som finnes i internasjonale materialstandarder har dette vært en genial forenkling som i dag har helt ubetydelig innflytelse på pris på stål.

I denne sammenheng kan det virke som anstaltmakeri å velge og å angi de ulike SQL gruppene fra designer. Som vi skal se styrer imidlertid SQL-valget også forhold i fabrikasjon som har kostnadskonsekvens. Selv

om det derfor av ren hensiktsmessighet ofte kjøpes inn bare en stålkvalitet som så anvendes til alle deler av et prosjekt, er det viktig at minimumskravet er det som kreves av og fra designer på tegninger. Designer må bidra ved å unngå å stille unødvendige og kostnadsdrivende krav.

Innen SQL III er det gjort endringer for å opprettholde den sikkerhetsnett-filosofi som er redegjort for foran for å samsvare med utgivelsen av N-004. Den praktiske konsekvens har så langt vært liten.

OBS: MDS-ene i NORSOK angir kun vanlige dimensjonstoleranser for stålplater og profiler som gitt i de refererte standardene.

I mange tilfeller vil det være krav til vesentlig strammere toleranser med hensyn til retthet og planhet i den ferdige konstruksjon enn de kriterier som gjelder for plateleveranser.

Slike forhold må enten tas inn som betingelser ved anskaffelse eller påregnes korrigert for under fabrikasjon. Dette er svært ofte hverken designere eller verksteder oppmerksomme på.

6. Fabrikasjon

Det beste grunnlag for fabrikasjon er lagt dersom informasjon på tegninger er komplett og spesifikk. Som minimum må følgende være angitt:

- Minimum krevet SQL pr tegning og/eller komponent
- Sveisens geometri/type/størrelse (a-mål etc)
- Inspeksjonskategori pr sveis
- Aktuell material grad (MDS)

Dersom relevant skal følgende være angitt:

- Begrensninger i valg av fugeformer (p.g.a. NDT)
- Områder av sveis hvor angitt NDT-sjekk er krav (metode vist)
- Spesielle strammere akseptgrenser for sveisefeil
- Spesielle strammere toleranser for dimensjoner
- Eventuelle krav til nummerering av sveis for vedlikehold

Viktige avhengighetsforhold og krav for fabrikasjon skal kort oppsummeres:

- SQL valget styrer krav til kvalifisering av sveiseprosedyrer
- SQL-valget sammen med platetykkelse styrer krav til CTOD prøving
- Charpy prøvebetingelsene endrer seg med SQL, flytegrense og tykkelse
- Krav til kvalifisering av sveisere påvirkes av SQL
- Grenser for kaldforming innflueres av SQL. NB: Dersom fabrikasjonen krever kaldforming ut over kvalifisert grense må tilleggskvalifisering utføres !
- Krav til tilsettematerialer og kvalifisering påvirkes av SQL
- Enkelt fugeformer begrenses av valg av inspeksjonskategori
- PWHT kravet påvirkes av SQL (muligens foreldet ?)

Omfanget av NDT og krav til metode er spesifisert i M-101, tabell 9.1.

Disse krav er basert på at offshore konstruksjoner svært ofte har relativt store godstykkelser og sveisefuger hvor ultralyd er beste metode til å avdekke plane feil eller indikasjoner på sveisefeil. Når tykkelsen går ned vil en større del av buttsveiser bli rettkuttete snitt uten fugepreparering, da med radiografi som metode.

Dette var tatt opp til diskusjon og avklaring i forbindelse med N-004 som også skal dekke flytende plattformer og FPSO-er, hvor «tynne» plater vil utgjøre større deler av konstruksjonene. I tillegg er det diskutert men ikke avgjort at subsea konstruksjoner bør kunne dekkes av N-004. For å unngå uønskede volumøkninger i NORSOK har det vært viktig å innpasse i den metodikk som ligger i NORSOK men med større frihet i metodevalg