



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Offshore Systemer - konstruksjonsteknikk	Vårsemesteret, 2011 Åpen
Forfatter: Stein Erik Olsen	<i>Stein E. Olsen</i>
Fagansvarlig: Veileder(e): Vikas Arora Lasse Vold	
Tittel på masteroppgaven: Fabrikasjonsvennlig design Engelsk tittel: Fabrication friendly design	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Byggevennlighet	Sidetall: 65 + vedlegg/annet: 27 og CD Stavanger, 10.juni/2011

Konstruksjonsvennlig design

Masteroppgave innen offshorekonstruksjoner

Stein Erik Olsen

Juni 2011



Forord

Denne oppgaven markerer slutten på masterstudiet innen offshoresystemer ved Universitetet i Stavanger. Det toårige studiet har vært en naturlig utvidelse av en bachelorgrad i konstruksjonsteknikk fra UiS. Deler av masterstudiet har jeg fullført i Perth, Australia ved University of Western Australia. Det er ved dette universitetet jeg har tatt de fleste offshorerelaterte fag. Resten av masterstudiet ved UiS har vært variert med hovedvekt på konstruksjonsteknikk og dette prosjektet utgjør en naturlig avslutning på mastergraden.

Konstruksjonsvennlig design er et svært aktuelt tema i offshorebransjen. Da jeg etter fullført utdanning skal tiltre i en strukturingeniørstilling hos Aker Solutions Offshore Partner ser jeg viktigheten i temaet og mener selv at læringsutbyttet har vært av stor betydning for min egen karriere innen disiplinen. I tillegg håper jeg at arbeidet jeg her har lagt ned kan være til nytte for andre personer som kan tenke seg å tilegne seg kunnskap om dette emnet.

Først vil jeg tildele en stor takk til Lasse Vold ved verftet til Aker Solutions i Egersund. Han har til tross for mye reising tatt seg tid til å lære meg mye innen emnet og legge til rette for samtaler under med disiplinledere ved verftet. Jeg ønsker også å rette en stor takk til Tor Egil Håland (sveiseteknikk), Tore Melhus (prosjektleder), Bjarne Berntsen (eng. leader), Jan Gunnar Matningsdal (metode), Espen Furuløkken (overflatebehandling), Pradap Singh Shanmugavel (ståldimensjonering), Ingrid Gjerdseth (innkjøp) og Norsk Stål AS som alle hjulpet til i informasjonsinnhentingsprosessen i denne oppgaven gjennom samtaler og emailkorrespondanser. Størsteparten av informasjonen i denne oppgaven er basert på informasjon fra disse samtalene. Veileder ved Universitetet i Stavanger, Vikas Arora, har også bidratt med god veiledning og faglig støtte under oppgaveskrivingen. Aker Solutions Egersund fortjener en stor takk da de ga meg muligheten å skrive oppgave for dem. De har vist seg å være veldig fleksible og svært tilretteleggende for meg som student under oppgaveskrivingen. Å jobbe inn i et faglig miljø har vært en stor suksessfaktor for meg.

Stavanger, juni 2011

Stein Erik Olsen

Sammendrag

Masteroppgavens innhold er en studie av ideer og tanker som Aker Solutions Egersund ønsker utdypet. Som fabrikkasjonsverft vet de hva som er mest økonomisk for dem, men for tiden sitter de ikke på et dokument som tar for seg flere disipliner samtidig. For dem er det viktig å kunne ha et dokument som de kan bruke når de fremover nå ønsker å implementere ønsket design i forprosjekter. Med å delta i forprosjekter kan de i større grad være med å påvirke designavdelinger til å ta valg som vil redusere kostnadene til verftet i fabrikkasjonsfasen.

Problemstillingens viktigste punkt er valg av profiler som strukturstål. Det er her gitt to alternativer; H-profiler eller RHS-profiler. Ideen til Aker Egersund er at økt bruk av RHS-profiler vil gi reduserte fabrikkasjonskostnader.

Oppgavens er bygget opp slik at man i kronologisk rekkefølge omtaler sveis, overflatebehandling og profilvalg. Tilslutt har det blitt brukt et praktisk eksempel for å binde disse temaene sammen for så å finne et resultat som man kan bruke for å avdekke sannheter i ideene til Aker Solutions Egersund. Resultatet sammen med det jeg har lært fra kontakt med verftet i Egersund medførte til en konklusjon som sier at økt bruk av RHS-profiler er klart mer økonomisk sett fra et fabrikkasjonssynspunkt. Med tanke på fremtidige installasjoner offshore, er RHS-profiler ikke ønsket da krav om bolteforbindelser setter restriksjoner til RHS-profilens kapasitet. anbefalinger er å bruke RHS-profiler i alle deler av strukturer som ikke vil antas å kunne brukes som oppkoblingspunkt for fremtidige utvidelser/installasjoner offshore.

I perioden under oppgaveskrivingen har undertegnede brukt tid på møter med eksperter hos Aker Egersund – på den måten har man kunnet hente ut ideene og tankene hver enkelt avdeling sitter på med hensyn på fabrikkasjonsvennlig design. I tillegg har det blitt modellert to piperacker, en i H-profiler og en i RHS-profiler, i programmet Tekla Structures 16.1. Modellene er laget for å gi visuell kontroll over konstruksjonsdeler da det opererer i 3D.

For å kunne utføre praktisk eksempel måtte undertegnede kontakte ingeniøravdelingen for produksjonstegninger og knutepunktsdetaljer, innkjøpsavdelingen for materialpriser og overflateavdelingen for timeforbruk og timerater.

Ord og uttrykk – forklaringer

Oppgaven beskriver et tema i olje- og gassindustrien som inneholder en del internasjonale ord og uttrykk som ofte ikke egner seg for oversettelse. Da dette er en masteroppgave forventes det også at leseren har kjennskap til bransjen, men for sikkerhetsskyld vil utvalgte ord og uttrykk listes opp under med følgende forklaring:

- RHS – Rectangular Hollow Section (rektangulær og kvadratisk)
- H-profil – Her inkluderes alle H-formet profiler; HEA, HEB, I
- HAZ – Heat Affected Zone (sveis)
- Chartek/PFP – Brannbeskyttende overflatebehandling (Passiv Fire Protection)
- PAU – Pre-Assembled Unit
- PAR – Pre-Assembled Rack
- Pipe Rack – Større struktur i stål for støtte av rør
- Pipe Support – Stålstruktur for enkelt støtte/opplegg av rør
- Full Penetration Weld/ FP – Full gjennom sveis
- Partial Penetration Weld/PP – Delvis gjennom sveis
- Fillet Weld – Kilsveis
- NDT – Non Destructive Testing (test av sveis)
- Touch up – Uttrykk som beskriver prosessen hvor man må ettermale som resultat av arbeid på strukturen etter den har vært i hallen for maling
- Grating – Stålrister brukt som dekkplater
- Elektro Bracket – Stålplater som sveises i underkant av dekker for oppheng til kabelgate

Figurliste

Figur 1.0: Knutepunkt utført i H-profiler.....	2
Figur 2.0: <<Deepwater Horizon>>.....	4
Figur 2.1: Sveisere i arbeid hos Aker Solutions Egersund.....	7
Figur 3.0: Organisering av et verft.....	9
Figur 4.0: Sveis og overflatebehandling faller naturlig inn under profilvalg.....	11
Figur 5.0: Automatisert maskinsveising av plater.....	13
Figur 5.1: Automatisert maskinsveising av bjelkeprofil.....	13
Figur 5.2: Automatisert maskinsveising av T-profil.....	14
Figur 5.3: Automatisert maskinsveising av rørformet profil.....	14
Figur 5.4: A-mål 4 mm.....	15
Figur 5.5: A-mål 6 – 8 mm.....	15
Figur 5.6: Tabell fra Aker Solutions Egersund.....	16
Figur 5.7: TK fuge.....	16
Figur 5.8: TPY fuge.....	16
Figur 5.9: Table 5-1 Classification of structural joints and components.....	17
Figur 5.10: Table 5-3 Determination of inspection category – low fat. utilization.....	18
Figur 5.11: Table 5-4 Determination of inspection category – high fat. utilization.....	18
Figur 5.12: Table 9.1 Minimum extent of NDT for structural welds.....	19
Figur 5.13: Fig 1. fra artikkel hentet fra SVEISETEKNIKK.....	20
Figur 5.14: Prioritering av sveisetyper hos Aker Solutions Egersund.....	21
Figur 5.15: Modifisert part pen sveis.....	23
Figur 5.16: Full V-fuge sammenlignet mot to-side K-fuge.....	24
Figur 6.0: Korrodert stålstruktur.....	25
Figur 6.1: Chartekbelagt knutepunkt.....	29
Figur 6.2: Ettermontert pipesupport.....	29
Figur 6.3: Pipesupport ettermontert – maling og Chartek fjernet.....	30
Figur 6.4: Kabelgater.....	30
Figur 6.5: Grating.....	31
Figur 6.6: Grating opplagt på vinkler sveist til bærebjelker.....	31
Figur 6.7: Grating på topp bjelke med belegg.....	32
Figur 6.8: Illustrasjon av globalanalyse av en derrick.....	33
Figur 6.9: Krav til avstander ved blåserensing.....	35
Figur 6.10: Krav til avstander ved maling.....	35
Figur 6.11: Bruk av H-profiler i ”Kashagan”-prosjektet (1).....	36
Figur 6.12: Bruk av H-profiler i ”Kashagan”-prosjektet (2).....	36
Figur 6.13: Bruk av H-profiler i ”Kashagan”-prosjektet (3).....	37
Figur 7.0: Kostnadsoversikt - Bulb-profil kontra vinkel-profil.....	39
Figur 7.1: Dårlig design med vinkler (1).....	39
Figur 7.2: Dårlig design med vinkler (2).....	40
Figur 7.3: Spesialtilfeller ved bruk av vinkler.....	40
Figur 7.4: Kjøp i bulk – ikke i biter.....	41

Figur 7.5: Fare for utbøyning av ”flensen” ved bruk av RHS.....	44
Figur 7.6: Stivhet opprettholdt ved bruk av H-profiler.....	45
Figur 7.7: Prioritet 1 – med eksentrisitet.....	46
Figur 7.8: Prioritet 2 – uten eksentrisitet.....	46
Figur 7.9: Struktur i H-profil.....	47
Figur 7.10: Struktur i RHS-profil.....	47
Figur 7.11: H-profil som må males med rulle på grunn av dårlig tilkomst.....	47
Figur 7.12: Malearbeid på krane offshore.....	48
Figur 7.13: RHS – bra løsning for knutepunkt med flere akser.....	49
Figur 7.14: Like utvendige mål kan være en fordel i noen tilfeller.....	51
Figur 7.15: HEA180 og HEB180.....	51
Figur 7.16: Piperack utført i RHS-profiler (modellert i Tekla Structures 16.1).....	52
Figur 7.17: Piperack utført i H-profiler (modellert i Tekla Structures 16.1).....	52
Figur 7.18: RHS-profiler utgjør lavest byggekostnader i dette eksempelet.....	54
Figur 7.19: Fare for ansamling av vann (1).....	55
Figur 7.20: Fare for ansamling av vann (2).....	55
Figur 7.21: For trang konstruksjonsløsning.....	56
Figur 7.22: H-bjelker plassert for nærme hverandre.....	56

Vedlegg:

Figur A.1: Vertikale staver i RHS200x200x12,5 eller HEA220.....	59
Figur A.2: Vertikale staver i RHS150x150x10 eller HEA160.....	59
Figur A.3: Horisontale staver i felt 1 i RHS150x150x10 eller HEA160.....	60
Figur A.4: Horisontale staver i felt 2, 3, 4, og 5 i RHS150x150x10 eller HEA160....	60
Figur A.5: Diagonale staver i RHS150x150x10 eller HEA160.....	61
Figur A.6: Horisontale staver i plan i RHS150x150x10 eller HEA160.....	61
Figur A.7: Diagonale staver i plan i RHS150x150x10 eller HEA160.....	62
Figur A.8: Stiverplater til piperacken utført i H-profiler.....	63
Figur C.1: Piperack modellert i H-profiler.....	75
Figur C.2: Piperack modellert i RHS-profiler.....	76

Innhold

Kapittel 1 – Innledende opplysninger.....	1
1.0 Innledning.....	1
1.1 Informasjonsinnhenting og referanser.....	3
1.2 Mål med oppgaven.....	3
1.3 Overblikk av kapitler.....	3
Kapittel 2 – Regelverk for offshoreinstallasjoner.....	4
2.0 Generelt.....	4
2.1 Generelt om NORSOK.....	5
2.2 Innhold I NORSOK.....	6
2.3 Andre Regelverk.....	7
Kapittel 3 – Fabrikasjon av offshorestrukturer.....	8
3.0 Fabrikasjonsfilosofi.....	8
3.1 Faser i fabrikasjonen.....	8
3.2 Fabrikasjonsprinsipper.....	9
Kapittel 4 – Forkapittel til fabrikasjonsvennlig design.....	11
Kapittel 5 – Sveis.....	12
5.0 Sveis og sveiseøkonomi.....	12
5.0.1 Automatisering av sveiseoperasjoner.....	12
5.0.2 Fuger og sveisemetoder.....	14
5.0.3 Designklasser og inspeksjonskategorier.....	17
5.1 Sveisedetaljer.....	21
5.1.1 Full pen sveis, part pen sveis eller kilsveis?	21
5.1.2 Fugetyper og sveisevolum.....	23
Kapittel 6 – Overflatebehandling og brannbeskyttelse.....	25
6.0 Generelt.....	25
6.1 Maling (coating).....	25
6.1.0 Korrosjon.....	25
6.1.1 Hvordan skal man motvirke korrosjon?.....	26
6.1.2 Maleøkonomi.....	27
6.2 Brannbeskyttelse.....	28
6.3 utfordringer knyttet til Chartek og maling.....	29
6.3.0 Pipe-support.....	29
6.3.1 Elektro-brackets.....	30

6.3.2 Grating.....	31
6.3.3 Globalanalyser av brannutvikling.....	32
6.3.4 Profiler.....	33
Kapittel 7 – Profilvalg.....	38
7.0 Generelt.....	38
7.1 Vinkel- og Bulb-profil.....	39
7.2 RHS-profiler eller H-profiler?.....	41
7.2.0 Innkjøpskostnader.....	41
7.2.1 Egenlaster.....	42
7.2.2 Kapasitet og fremtidig modulinstallasjon.....	44
7.2.3 Overflatebehandling og vedlikehold.....	47
7.2.4 Fabrikasjon og produksjonsvennlig design.....	48
7.3 Standardisering.....	50
7.4 Praktisk eksempel.....	52
7.4.0 Dimensjoner.....	53
7.4.1 Materialkostnader.....	53
7.4.2 Sveisekostnader.....	53
7.4.3 Overflatekostnader.....	54
7.4.4 RHS-profiler eller H-profiler?.....	54
7.5 Dårlig design.....	55
Kapittel 8 – Konklusjoner og anbefalinger.....	57
Vedlegg A: Kalkulasjoner til kapittel 7.4 – Praktisk eksempel.....	58
Vedlegg B: Pristilbud fra Norsk Stål AS.....	67
Vedlegg C: Produksjonstegninger og 3D-figur av piperack i kapittel 7.4.....	69
Vedlegg D: Detaljtegning for knutepunkt i H-profiler.....	77
Vedlegg E: Fremdriftsplan for masteroppgave.....	80
Vedlegg F: Oversikt over samtalemøter med Aker Solutions ansatte.....	82
Kildehenvisning.....	84

Kapittel 1 – Innledende opplysninger

1.0 Innledning

Da et større gassfunn ble gjort i Nederland og utenfor sørøstkysten av England på slutten av 1950-tallet førte dette til geologisk nytenkning omkring Nordsjøens petroleumspotensiale. Norsk olje og gassvirksomhet startet for fullt da oljeselskapet Phillips Petroleum ønsket å undersøke havbunnen utenfor Norge for skjulte olje- og gassreserver. Gjennombruddet kom 23-24. desember 1969 da de fant olje på feltet som i dag er kjent som Ekofiskfeltet [1]. Dette funnet var gjennombruddet som førte til den store satsningen på norsk sokkel.

I ettertid har denne satsningen vært en vesentlig bidragsyter til å skape det velferdssamfunnet som vi i dag har i Norge. I følge Olje – og Energidepartementet har Norge gjennom 40 års olje- og gassvirksomhet skapt verdier for 6000 milliarder kroner (2008) [3]. Petroleumsvirksomheten stod i 2007 for 24 prosent for verdiskapningen i Norge [2].

Da ny teknologi har blitt ervervet med tiden har vi sett at plattformer som ble bygget på 1970 – 1980 tallet kan forlenges sin levetid og øke eller opprettholde sin utvinningsgrad ved å modifisere installasjonene. Modifikasjonsarbeid blir i dag sett på som en kontinuerlig industri og en nødvendighet for å drive butikk i olje- og gassnæringen. Man ser at for å forlenges levetiden til installasjonene kreves nytt utstyr som igjen kan sette krav til større arealplass. I slike situasjoner betyr det at gamle moduler enten må byttes ut eller at man tilfører nye moduler eller utstyr på eksisterende strukturer. Flere kontraktører som innehar spesialkompetanse på modifikasjonsarbeid kjemper om å lande modifikasjonskontrakter.

Selv om det finnes mange oppdrag av denne typen som operatørselskapene ønsker utført, finnes det tilstrekkelig med selskaper på global basis som kan mette behovet. Målet for operatørselskapene er å ansette kontraktører som leverer produkter av høy kvalitet til lavest mulig pris til rett tidspunkt. Det er verdt å vite at i kvalitetsbegrepet legges det også fokus på sikkerhet av personell og miljø i tillegg til tankene man ofte har om at utstyr og systemer skal fungere optimalt med tanke på produksjon.

Aker Solutions som et kontraktørselskap har den siste tiden fått grønt lys til å levere diverse moduler og installasjoner til Conoco Phillips på Ekofiskfeltet. Med dette følger stort ansvar til å levere produkter og modifikasjonsstrukturer av høy kvalitet til en gitt pris og innen en gitt tidsramme.

Kontrakter på norsk sokkel er i hovedsak av EPCI (Engineering, procurement, construction and installation) format, hvor ingeniørdelen kompenseres etter regning, mens fabrikkdelen har fastprisformat. En viktig del av engineeringfasen er å legge

til rette for en rask og effektiv utførelse av fabrikkasjonsløpet. I kontraktene hvor fabrikkasjon skjer ved verftet i Egersund, vil personell fra Aker Solutions Egersund delta i engineeringfasen. En av hovedoppgavene er å jobbe med implementering av fabrikkasjonsvennlig design.

Fokus på fabrikkasjonsvennlige design kan spare selskapet for unødvendige kostnader. Konstruktørene som dimensjonerer og produserer tegninger tar ofte valg som begrenser verftens evne til å redusere kostnader på fabrikkasjonen av de nye strukturene/modulene. Med dette opplever Aker Solutions Egersund at fokus på fabrikkasjonsvennlig design kunne til tider vært forsterket.

Det finnes ideer på verftet om hvordan man lettere kan tilrettelegge for en mer effektiv fabrikkasjon av moduler. Informasjon samlet inn gjennom samtaler med eksperter med lang fartstid hos Aker Solutions skal i denne oppgaven brukes for å belyse forskjellige temaer knyttet til fabrikkasjonsvennlig design og se om ideene til verftet kan vise seg å inneholde sannheter knyttet til kostnader og valg tatt av engineeringgruppene.

Hva kan forbedres og hvordan skal dette gjøres? Finnes det elementære valg som kan bidra til at kostnader knyttet til materialer og timer reduseres? Aker Solutions avdeling Egersund mener at dette bør undersøkes nærmere.



Figur 1.0: Knutepunkt utført i H-profiler. Kan firkantprofiler brukes her?

1.1 Informasjonsinnhenting og referanser

Måten å skrive denne oppgaven skiller seg fra andre oppgaver undertegnede har skrevet før, da informasjonen i oppgaven er basert på kunnskap, ideer og tanker hos ansatte i Aker Solutions Egersund. Å referere til litteratur kan med andre ord være en utfordring da det meste av informasjonsinnhenting er basert på samtaler med utvalgte ansatte i Aker Solutions. Referering til informasjon fra samtaler vil bli gjort ved å referere eksperter innen aktuelle fagfelt.

1.2 Mål med oppgaven

Å studere konstruksjonsvennlig design har bidratt til tilegning av ny kunnskap i det å jobbe mot fabrikkasjonsindustrien. Studiet går ut på å undersøke om det finnes sannheter i erfaringer og meninger hos Aker Egersund om hvordan en kan effektivisere prosesser ved et verft for bedre økonomien i prosjekter.

Implementering av denne kunnskapen i forprosjekter er Aker Egersund sitt mål for å sørge for en mer skreddersydd design til produksjonen ved verftet. Målet med denne rapporten er et sammenfattet dokument som Aker Egersund kan bruke i implementeringsprosessen.

1.3 Overblikk av kapitler

”Kapittel 2 – Regelverk for offshoreinstallasjoner” tar for seg kort om hvordan regelverk i offshoreindustrien fungerer. NORSOK blir her beskrevet og bruken av den sammen med andre internasjonale regelverk blir også omtalt.

”Kapittel 3 – Fabrikasjon av offshore strukturer” gir en kort innføring av hvordan fasene er oppbygd ved fabrikasjon av offshore strukturer samt filosofi knyttet til fabrikasjon.

”Kapittel 4 – Forkapittel til fabrikkasjonsvennlig design” beskriver hvordan resten av oppgaven skal skrives og hensyn tatt for å få til en rasjonell oppbygning.

”Kapittel 5 – Sveis” tar for seg sveisemetoder og ønskede valg innen sveisearbeid for å sikre god økonomi i prosjektet.

”Kapittel 6 – Overflatebehandling og brannbeskyttelse” gir en innføring av bruk av maling og brannbeskyttende belegg på stålstrukturer. Korrosjon og brannfare er de truende faktorene og ønsket design blir fremstilt for å sikre god økonomi i overflatearbeid.

”Kapittel 7 – Profiler og konstruksjonsvennlig design” er skrevet for å fremme fordeler og ulemper med valg av profiler, knyttet til innkjøpskostnader, overflatebehandling, egenlaster, kapasitet og produksjon. Siste del av kapitlet tar for seg et praktisk eksempel for å fremme forskjeller ved bruk av RHS- og H-profiler.

Kapittel 2 – Regelverk for offshoreinstallasjoner

2.0 Generelt

Offshoreinstallasjoner skiller seg fra onshoreinstallasjoner ved at de må beholde sin strukturelle integritet under alle sjøforhold. Bølger, strømninger og vind er laster som kan virke dynamisk på plattformene og utmattelsesproblematikk er en stor del av arbeidet til designingeniører. På grunn av lokasjonen, lasttyper og risiko knyttet til opphenting og behandling av karbon- og hydrogenbaserte fluider og gasser, er offshoreindustrien underlagt et strengt regelverk for alle offshorerelaterte aktiviteter.

Konsekvenser av uønskede hendelser kan bli svært alvorlige for miljø og personell. Beviset på alvorlige konsekvenser fikk verden erfare 20.april 2010 i Mexicogolfen da en eksplosjon på boreriggen <<Deepwater Horizon>> utenfor kysten av Louisiana krevde 11 menneskeliv og bidrog til historiens største oljeutslipp. Eksplosjonen var et resultat av en utblåsning som resulterte i at riggen sank [7].



Figur 2.0: <<Deepwater Horizon>>

Uten å gå i detalj må ulykker på norsk sokkel også nevnes. Den største ulykken på norsk sokkel krevde 123 menneskeliv 27.mars 1980. Boligplattformen Aleksander L. Kielland kantret som resultat av et utmattelsesbrudd i ett av stagenene i understellet [8].

Datidens regelverk var i hovedsak basert på skipserfaring og en kommisjon kom med nye anbefalinger for forbedring av regelverket.

Det skjer stadig utvikling av standardverkene og flere aktører i bransjen har og lansert sine anbefalinger. I fabrikkasjonssammenheng har det blitt utviklet egne standarder som skal sikre kvalitet, effektivitet og sikkerhet rundt konstruering av installasjoner som skal operere offshore.

Inspeksjonskrav har blitt høyere, og ny teknologi har gjort det lettere å oppdage materielle avvik. Ikke-destruktive metoder (NDT) har blitt utviklet slik at det i dag er mulig å oppdage feil i forkant av ulykker.

2.1 Generelt om NORSOK

Alle installasjoner på norsk sokkel skal designes og bygges i henhold til NORSOK-standardene. Initiativet til å utarbeide nye og revidere gamle NORSOK-standarder tas av petroleumsindustrien representert gjennom operatører, leverandører, arbeidstakerrepresentanter og myndigheter.

Starten på NORSOK-prosessen begynte tidlig på 1990-tallet. Kostnadsnivået som var etablert i olje- og gassvirksomheten, var for høyt til å sikre at feltene på norsk sokkel ville bli bygget ut i konkurranse med investeringer i olje- og gassvirksomhet andre steder. Nivået på kostnadene knyttet til nye utbygninger var for høyt til å få et tilstrekkelig antall nye felt fram til beslutning om utbygging.

Det ble erkjent at det ikke var godt nok å forbedre de standardene som fantes da disse var knyttet opp mot en kostnadsdrivende og vanebasert praksis. En ønsket å bryte med disse praksisene og måten å få dette til på var å sette seg så ambisiøse mål at den eneste måten å lykkes på, var å foreta fundamentale endringer i arbeidsformer og rolledelinger i industrien.

Hovedmålet for NORSOK var å oppnå forbedringer i arbeidsprosesser og rammevilkår som ville gjøre norsk sokkel konkurransedyktig sammenlignet med andre petroleumsproduserende land. To viktige delmål ble spesielt fremhevet:

- En reduksjon i tids- og kostnadsforbruk på 40-50 prosent innen utgangen av 1998 sammenlignet med beste praksis i 1993.
- Opprettholde den ledende posisjonen innen helse-, miljø- og sikkerhetsarbeid [4].

Som det står forordet i NORSOK direktiv A-001N har NORSOK-standardene blitt utviklet av den norske petroleumsindustrien for å ivareta tilfredsstillende sikkerhet, verdiskapning og kostnadseffektivitet for utbygging og drift i petroleumsindustrien. Da det ble opplevd stor bruk av selskapsspesifikasjoner var det videre meningen at NORSOK-standardene skulle så langt som mulig erstatte disse og benyttes som referanser i myndighetenes regelverk.

Videre står det at NORSOK-standardene i størst mulig grad er basert på anerkjente internasjonale standere med tillegg av bestemmelser som anses som nødvendige for å oppfylle omforente krav i den norske petroleumsindustrien. Der det er relevant vil NORSOK-standardene brukes som petroleumsindustriens innspill i det internasjonale standardiseringsarbeidet. De berørte NORSOK-standardene vil bli trukket tilbake ved utgivelse av internasjonale standarder.

I design og fabrikasjonsprosessen på norsk sokkel skal NORSOK anvendes. Der NORSOK kommer til kort henviser den til andre anerkjente internasjonale standarder.

2.2 Innhold i NORSOK

NORSOK-standardene er delt inn i hovedkategorier knyttet til bokstaver.
NORSOKs hovedkategorier:

Hovedkategorier:	Beskrivelse:
A	Administration
C	Civil/Architect
D	Drilling
E	Electrical
G	Geotechnology
H	HVAC
I	Instrumentation
I	Metering
I	SCD-System Control Diagram
J	Marine Operation
L	Piping/Layout
M	Material
N	Structural
O	Operation
P	Process
R	Lifting Equipment
R	Mechanical
S	Safety
T	Telecommunication
U	Subsea
WF	Well Fluids
Y	Pipelines
Z	MC & Preservation
Z	Regularity & Criticality
Z	Risk Analyses
Z	Standard cost coding system
Z	Technical Information
Z	Temporary Equipment

For flere bokstaver finnes det underkategorier som dekker egne områder innenfor hver hovedkategori. Eksempel på hovedkategorier og underkategorier:

Hovedkategori: N – Structural

Underkategorier: N-001 Integrity of Offshore Structures, N-002 Collection of Metocean Data, N-003 Actions and Action Effects, N-004 Design of Steel Structures, N-005 Condition Monitoring of Load-Bearing Structures, N-006 Assessment of Structural Integrity for Existing Offshore Load-Bearing Structures.

2.3 Andre Regelverk

Som designingeniør gir N-004 Design of Steel Structures beregningsregler for en del konstruksjoner, men hvor NORSOK ikke dekker aktuelle beregningsmetoder henviser standarden videre til annet internasjonalt anerkjent standardverk for eksempel Eurokode 3.

For å nevne noen andre internasjonale anerkjente regelverk kan følgende listes opp:

- Det Norske Veritas (DNV)
- British Standards (BS)
- European Standards (EN)
- International Standard Organization (ISO)
- American Petroleum Institute (API)
- American Society of Mechanical Engineers (ASME)

Som nevnt skal alle installasjoner på norsk sokkel konstrueres og bygges i henhold til NORSOK. Men for deler av prosjektet kan internasjonale standarder være gjeldende. For dimensjonering av stålstrukturer kan Eurokode 3 brukes. For konstruksjoner rettet mot skipsbransjen er DNV ofte brukt.

Med tanke på fabrikkasjonsprosesser er NORSOK M-101 Structural Steel Fabrication og M-100 Material Selection relevante. EN (European Standards) blir ofte referert til med hensyn til sveis. For maling og brannbeskyttelse av stålstrukturer som skal stå offshore blir NORSOK M-501 Surface Preparation and Protective Coating benyttet.



Figur 2.1: Sveisere i arbeid hos Aker Solutions Egersund

Kapittel 3 – Fabrikasjon av offshore strukturer

3.0 Fabrikasjonsfilosofi

Fabrikasjonsmetoder er bestemt primært av størrelser på strukturene som skal bli fabrikkert og konstruksjonsutstyr tilgjengelig på verftet. Utstyret kan være seg løftekraner, skjæremaskiner, sveisemaskiner, etc.

Kvalitetskontroll (QS – quality system) inkludert inspeksjon, testing etc. skal utføres i alle faser i av fabrikasjonen for å sikre at alle spesifikke krav blir møtt.

Kvalitetssikring (QA – quality assurance) er en vital og integrert del i alle aspekter av offshore fabrikasjonen. Krav til dokumentasjon, oppholdspunkt, revisjon, inspeksjon, verifisering og rettelser er en del av kvalitetssikringsprosessen.

Som et generelt prinsipp skal mest mulig arbeid bli utført i de tidlige, mer produktive fasene av prosjektet som innebærer høyere kvalitet og mindre risiko. Med andre ord skal mest mulig arbeid bli utført innendørs for å sikre kvalitet av jobbprosesser [9].

3.1 Faser i hovedfabrikasjonen

Prefabrikasjon [9]:

Alt arbeid som vanligvis blir utført inne i fabrikasjonsverkstedet hvor relativt små enheter blir produsert. Arbeidsoppgaver kan være kutting, valsing, utstansing, tilpasning, sveis, avspenning av sveiste rør, bjelker, dragere, knutepunkt, kjebler, støtter etc.

Sammensetting [9]:

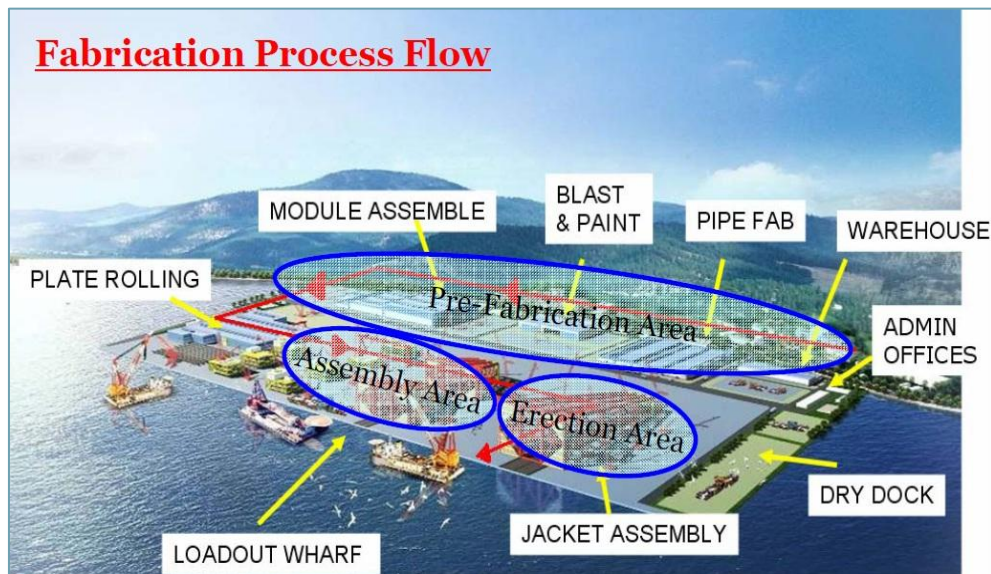
Arbeid som normalt blir utført for å føre sammen mindre enheter til større moduler. Det kan være deler av et dekke på en modul som kommer fra prefabrikasjon, for så å bli sammensatt til et helt dekke.

Det finnes forskjellige typer sammensettingsprosesser avhengig av hvilke type konstruksjoner som skal bygges. For understrukturer (jacket) til topsides kan sammensettingsprosessen ofte foregå utendørs. Arbeidet blir utført på bakkenivå for sammenføring av enheter fra verkstedet slik at de danner en sammensatt enhet for senere reisning i samsvar med en gitt konstruksjonssekvens.

Reisning (erection) [9]:

Arbeid som kreves for å installere sammenførte og verkstedfabrikkerte enheter sammen til en endelig struktur. Disse arbeid inneholder tilpasning og sveising. Men det viktigste her er at hovedfokus må være på transport og løft av tunge sammensatte strukturer. Her spiller metodeavdelingen en stor rolle da de har ansvaret for plassering av løfteører på

konstruksjonen. Beregninger må gjøres for å vite om ønsket plassering av løfteører har kapasitet til å holde resten av konstruksjonen.



Figur 3.0 Organisering av et verft. Organisering er avhengig av type strukturer produsert.

3.2 Fabrikasjonsprinsipper

Hovedprinsipper i fabrikasjon av offshore konstruksjoner kan føres opp følgende [9]:

- HMS hensyn
- Forbedre kvalitet
- Redusere tid og kostnader

Noen av hovedoppgavene vedrørende disse prinsippene er som følger [9]:

- Maksimere prefabrikasjon av moduler på verftet
- Minimere offshore felt aktiviteter.
- Komponenter av en struktur bør holdes så store så mulig uten å miste muligheten til fabrikkere og sammenføre dem.
- Parallell fabrikasjon av hovedkomponenter skal ta plass i lokaler som kan tilby fordelaktig lokalisering og imøtekommende omstendigheter for hver komponent.
- God planlegging av flyten av komponenter til deres monteringssted. Anskaffe nødvendig fasiliteter, maskiner og utstyr for sammenføring og reisning. Eksempel er kraner og alt utstyr som trengs for å utføre dualløft, synkroniserte løft eller tungløft.

- Forenkling av konfigurasjoner og standardisering av detaljer, klassifiseringer og størrelser.
- Unngå operasjoner som er overfølsomme for værforhold. Operasjoner hvor været er en faktor som kan påvirke kvaliteten bør oftest mulig bli utført i fabrikkasjonsverkstedet. Eksempel kan være beskyttende maling.

Kapittel 4 – Forkapittel til fabrikkingsvennlig design

I denne rapporten skal fabrikkingsvennlig design under lupen for å se om det er mulig å finne sannheter i ideer og tanker som Aker Solutions innehar når det gjelder å skape en mer effektiv og rasjonell fabrikkingsprosess. I tidligfasen i prosjekter blir de fleste viktige avgjørelsene tatt, og disse vil påvirke hele fabrikkingsforløpet til verftene som har i oppgave å konstruere de aktuelle modulene/strukturene som operatørselskapene ønsker installert offshore. Klar inndeling av temaer er utfordrende da det finnes situasjoner hvor flere temaer glir over i hverandre. Frihet til å blande inn flere temaer i omtale av et annet tema er en nødvendighet.



Figur 4.0: Sveis og overflatebehandling faller naturlig inn under profilvalg

Som nevnt innledningsvis er det vanlig at designingeniører blir kompensert etter regning og verft etter et fastprisformat. Som et totalbilde av Aker Solutions som selskap er det rimelig å tro at desto mer besparende tankegang og arbeid som blir gjort i prosjekteringsfasen, det være seg skreddersydde løsninger og valg til verftene, desto mer inntjeningsvennlig prosjekt vil Aker Solutions oppleve. Denne antakelsen er det som skal undersøkes i denne avhandlingen. Områder som skal undersøkes er sveis, valg av profiler, overflatebehandling (sandblåsing, maling, PFP) og spesifikke konstruksjonsdetaljer.

Kapittel 5 - Sveis

5.0 Sveis og sveiseøkonomi

Tall fra Aker Solutions Egersund tilsier at ved produksjon av sveiste konstruksjoner utgjør sveisearbeidet mellom 40 og 60 prosent av totalt antall produksjonstimer [10]. Det økonomiske resultatet er derfor sterkt avhengig av sveiseomkostningene, og sveiseøkonomi og har derfor en sentral plass innen sveiseteknologi. Med andre ord, dersom en ønsker å peke ut hvor i et prosjekt man har muligheter for å redusere kostnader er sveiseøkonomi et område det bør fokuseres på.

Som en generell regel skal mest mulig sveisearbeid utføres i verkstedshallene i et kontrollert miljø for å sikre best kvalitet på sveisen. Sveisearbeid er avhengig av fukt- og temperaturforhold. Risiko for underkjent sveis øker dersom sveisearbeid blir utført utendørs under ukontrollerte forhold. Oppretting av sveis er en kostnad som verftet prøver å unngå i størst mulig grad.

Informasjon fra Aker Solutions Egersund gir gode økonomiske løsninger [10]:

1. Automatiser sveiseoperasjoner når det er gunstig
2. Velg fuger og sveisemetoder som gir minst mulig timeforbruk uten at kvalitetskravet blir redusert
3. Velg riktig designklasse og inspeksjonsklasse med hensyn til geometri og spenningsoppbygging

5.0.1 Automatisering av sveiseoperasjoner

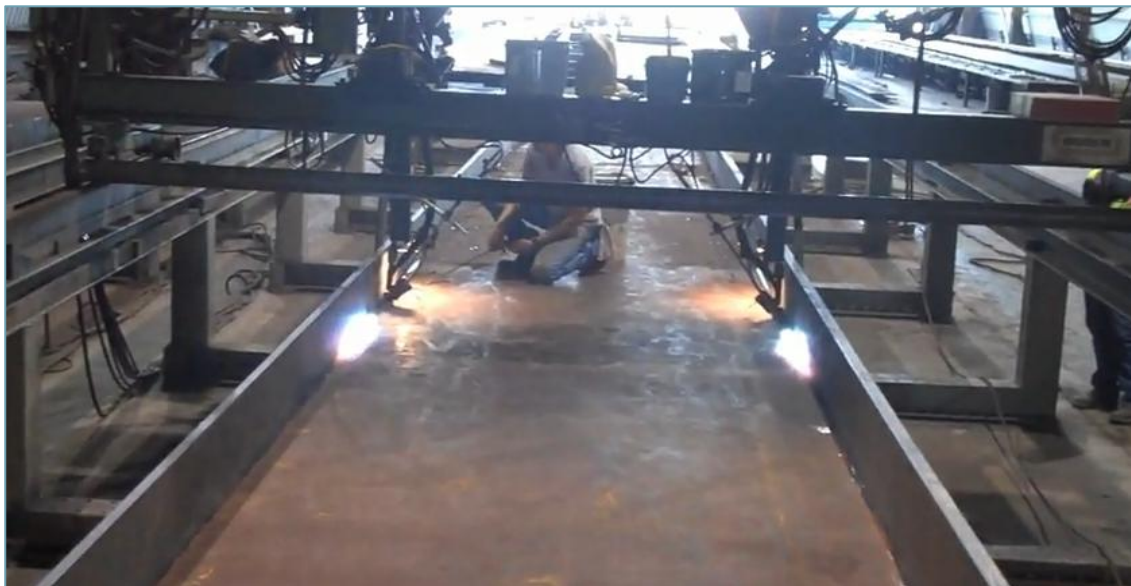
Sveising av plater er ett eksempel på et område hvor bruk av automatiske sveisemaskiner er tidsbesparende. I tillegg til redusert tidsforbruk blir ofte kvaliteten på sveisen bedre ved bruk av automatiserte sveisemaskiner. Sammenlignet med manuell sveising vil denne type sveisemetode sveise en kontinuerlig sveis som betyr mindre risiko for sveisefeil.

Manuell sveising av en lang sveis vil som regel bli delt opp i flere intervaller. Sveisearbeideren vil som regel sveise et stykke, stoppe opp, for så å flytte sveiseapparatet etter seg eller for å mate sveisepistolen med mer sveisegods (kommer an på sveiseapparat). Konsekvens av økt kvalitet på sveis utført av automatiserte sveisemaskiner tilsier en reduksjon i inspeksjonskrav.

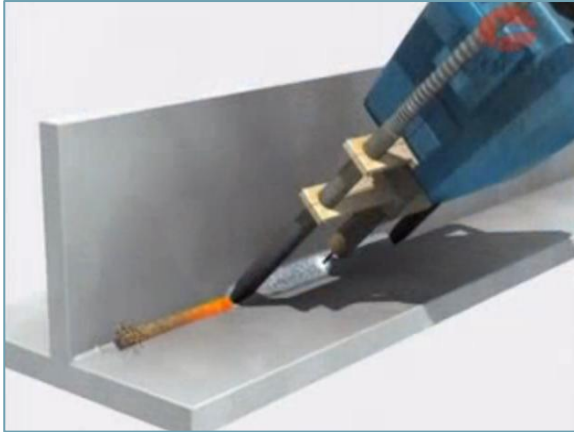


Figur 5.0: Automatisert maskinsveising av plater (hentet fra Internett)

Andre sveiseoperasjoner som automatiske sveisemaskiner utfører er sveis av profiler og rør. Dersom det kreves profiler som ikke kan tilbys av leverandører er ofte det beste å fabrikke disse selv. Selv om utvendige mål kan leveres er det ikke sikkert veggtykkelsene eller andre geometriske hensyn svarer til kravene verftet har til dimensjoner.



Figur 5.1: Automatisert maskinsveising av bjelkeprofil (hentet fra Internett)



Figur 5.2: Automatisert maskinsveising av T-profil (hentet fra Internett)



Figur 5.3: Automatisert maskinsveising av rørformet profil (hentet fra Internett)

Sveisearbeidere må kurses og bli sertifisert for å operere en automatisk sveisemaskin. Dette stiller krav til Aker Egersund for å passe på å ha tilstrekkelig med sertifiserte sveisearbeidere tilgjengelig for at automatiserte sveiseoperasjoner kan bli utført nå etterspørselen krever det. Dette er en del av planleggingsarbeidet for sveiseteknisk avdeling.

5.0.2 Fuger og sveisemetoder

Fugevalg [10]

- Fugevalg vil avhenge av både designklasse og inspeksjonskategori
- Ved å bruke delvis gjennomsveiste fuger og kilsveis istedenfor full gjennomsveiste fuger vil en kunne oppnå store besparelser i produksjonen
- Størrelsen på kilsveis er en viktig faktor da økning av a-mål gir stor innvirkning på timebruken (eksempel kommer under)
- Både kostnader og gjennomløpstiden i produksjonen vil bli påvirket i stor grad
- Betydelig innsparing ved å optimalisere fugevalg

Tilkomst [10]

- Ifølge Aker Solutions Egersund er det mye å hente på dette området
- En faktor som designingeniører ikke alltid har i tankene, er at sveisearbeidere skal ha på seg hjelm og sveisemaske – i tillegg til sveiseutstyret som han/henne skal bruke

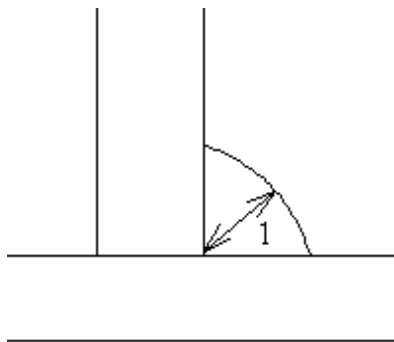
- Det er en nødvendighet å kunne se sveisebadet for å kunne få en tilfredsstillende sveis
- Tilkomst for NDT er også nødvendig for å kunne inspisere sveisene

Overhøyde ved kilsveiser [10]:

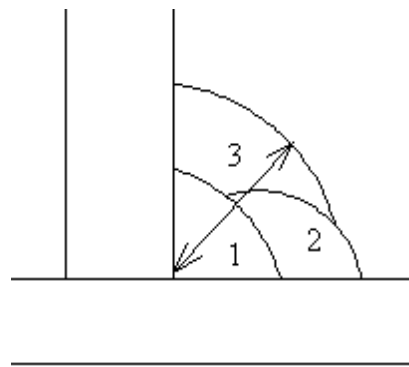
- Grensen for hvor mye a-mål som kan legges med *en* streng med rørtrådsveising er 5 mm
- Bruk av større a-mål betyr at man må sveise flere strenger, minst 2 eller 3

Et eksempel:

En konstruktør beregner et nødvendig a-mål for en kilsveis som er 4 mm. For å forsikre seg om at sveisen holder blir a-mål justert opp til 6 mm. Konsekvensen av valget medfører da at sveisearbeiderne må legge/sveise opptil 3 strenger for å få en akseptabel sveis, og a-målet kan bli målt til hele 8 mm.



Figur 5.4: A-mål 4 mm



Figur 5.5: A-mål 6 – 8 mm

Enkel beregning av sveiseareal gir da:

- a-mål på 4 mm $\rightarrow 4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 0,5 \times 2 = 16 \text{ mm}^2$
- a-mål på 8 mm $\rightarrow 8 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} \times 0,5 \times 2 = 64 \text{ mm}^2$

Ser man på materialkostnader så betyr forandringen fra 4 mm til 6 mm **4 ganger** mer sveisetråd!

Ser man på arbeidstimer vil utslaget for 100 m med rørtråd medføre en økning fra 23 timer til 92 timer.

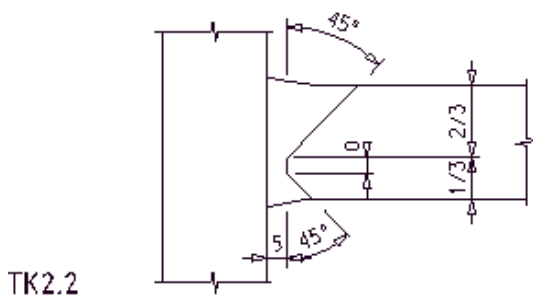
Konklusjon fra dette eksempelet er:

Grensen for når man bør gå over fra kilsveis til delvis gjennombrønt fuge er $> 6 \text{ mm}$ a-mål.

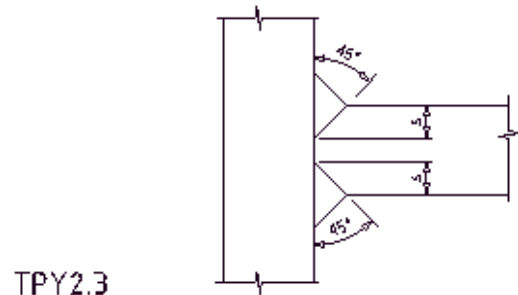
Forhold mellom platetykkelse og sveisetimer

Platetykkelse [mm]	Prefabrikasjon			Installasjon		
	TK fuge	TPY fuge	Reduksjonsfaktor	TK fuge	TPY fuge	Reduksjonsfaktor
8	308	74	4	363	110	3
25	807	243	3	1125	375	3
50	1946	972	2	2896	1508	2
80	3734	1958	2	5674	3041	2

Figur 5.6: Tabell fra Aker Solutions Egersund (intern dokumentasjon)



TK2.2



TPY2.3

Figur 5.7: TK fuge (full penetration)

Figur 5.8: TPY fuge (partial penetration)

Fra tabellen over, figur 4.7, ser vi at ved valg av part pen vil en redusere antall sveisetimer. Dette er fordi utførelse av full penetration krever andre metoder enn den som brukes ved part pen sveis. For å få legge strenger på den siden som det skal sveises mest på må man først legge en bunnstreng på motsatt side. Videre må bunnstrengen slipes og rengjøres for å sikre at man ikke får innfelt forurensninger som kan føre til sveisefeil.

Utførelsen av en part pen sveis tillater sveisefeil, rettere sagt – den trenger ikke være gjennombrøt, slik at denne metoden vil medføre færre sveisetimer.

I tillegg til at part pen gir en reduksjon av sveisetimer vil fugetypen også redusere:

- Mengde sveisetråd (sveisegods)
- NDT omfang (non-destructive testing)
- Sveisereparasjoner
- Monteringstid og gjennomløpstid

Konstruktøren som sitter på valg av sveisemål, designklasser og inspeksjonskategori har med andre ord en viktig rolle for sveiseøkonomien i et prosjekt.

5.0.3 Designklasser og inspeksjonskategorier

I NOROK N-004 "Design of Steel Structures" inneholder informasjon og forklaringer rundt sammenhengen mellom design- og inspeksjonskategori.

Designklassene er delt inn etter konsekvenser strukturen vil skape dersom det aktuelle knutepunktet går til brudd. Hvis et knutepunkt som binder hovedstrukturen ryker, kan det få vesentlig større konsekvenser enn at et knutepunkt i et rekkverk ryker.

Konstruktøren må følge NOROK N-004 Table 5-1 når han/hun bestemmer designklasse.

Table 5-1 Classification of structural joints and components

Design Class ¹⁾	Joint complexity ²⁾	Consequences of failure
DC1	High	Applicable for joints and members where failure will have substantial consequences ³⁾ and the structure possesses limited residual strength. ⁴⁾
DC2	Low	
DC3	High	Applicable for joints and members where failure will be without substantial consequences ³⁾ due to residual strength. ⁴⁾
DC4	Low	
DC5	Any	Applicable for joints and members where failure will be without substantial consequences. ³⁾

Figur 5.9: Table 5-1 Classification of structural joints and components

Når man ser på metoden for å avgjøre hvilken designklasse man skal bruke, kan det settes spørsmålstegn ved hva som er en vesentlig konsekvens og ikke. Hvor alvorlig skal konsekvenser ved brudd være for de kan klassifiseres som vesentlig?

I tilleggsteksten til table 5-1 står det oversatt:

"Vesentlig konsekvens" i denne konteksten betyr at brudd av knutepunktet eller elementet (bjelke, søyle osv.) vil medføre:

Fare for tapte menneskeliv;

Betydelig forurensning;

Store økonomiske konsekvenser

Også noen av disse betydningene er vanskelig å tolke. Hvor mange konstruktører sitter i dag på god kunnskap som gjør dem i stand til å vite sikkert når økonomiske konsekvenser går fra middels til store, eller når grad av forurensning går fra ubetydelig

til betydelig? Å vite nok om situasjoner som kan utsette personell offshore for skader kan være utfordrende nok når en sitter trygt på land. Det kan tenkes at dersom man ikke innehar tilstrekkelig informasjon og føler seg usikker vil ofte klassifiseringsvalget ligge en eller to klasser over det som er nødvendig.

Videre må inspeksjonskategori velges ut fra gitt designklasse:

Table 5-3 Determination of inspection category for details with low fatigue utilisation

Design Class	Type of and level of stress and direction in relation to welded joint.	Inspection category ²⁾
DC1 and DC2	Welds subjected to high tensile stresses transverse to the weld. ⁶⁾	A
	Welds with moderate tensile stresses transverse to the weld and/or high shear stresses. ⁷⁾	B ³⁾
	Welds with low tensile stresses transverse to the weld and/or moderate shear stress. ⁸⁾	C ⁴⁾
DC3 and DC4	Welds subjected to high tensile stresses transverse to the weld. ⁶⁾	B ³⁾
	Welds with moderate tensile stresses transverse to the weld and/or high shear stresses. ⁷⁾	C ⁴⁾
	Welds with low tensile stresses transverse to the weld and/or moderate shear stress. ⁸⁾	D ⁵⁾
DC5	All load bearing connections.	D
	Non load bearing connections.	E

Figure 5.10: Table 5-3 Determination of inspection category – low fatigue utilization

Table 5-4 Determination of inspection category for details with high fatigue utilisation

Design Class	Direction of dominating principal stress	Inspection category ³⁾
DC1 and DC2	Welds with the direction of the dominating dynamic principal stress transverse to the weld (between 45° and 135°)	A ²⁾
	Welds with the direction of the dominating dynamic principal stress in the direction of the weld (between -45° and 45°)	B ⁴⁾
DC3 and DC4	Welds with the direction of the dominating dynamic principal stress transverse to the weld (between 45° and 135°)	B ⁴⁾
	Welds with the direction of the dominating dynamic principal stress in the direction of the weld (between -45° and 45°)	C ⁵⁾
DC5	Welds with the direction of the dominating dynamic principal stress transverse to the weld (between 45° and 135°)	D
	Welds with the direction of the dominating dynamic principal stress in the direction of the weld (between -45° and 45°)	E

Figure 5.11: Table 5-3 Determination of inspection category – high fatigue utilisation

Etter å lese disse tabellene fra NORSOK forstår man at valg av designklasse påvirker valget av inspeksjonskategori. Nivå av inspeksjon ønskes av økonomiske grunner å holdes så lavt så mulig uten at det skal gå utover kvaliteten til konstruksjonene.

Dersom for høy designklasse blir valgt bidrar dette til økte inspeksjonskrav. Å drive inspeksjon utover hva som er nødvendig for å ivareta kvalitet vil bidra til økte utgifter for Aker Solutions Egersund. Derfor kan vi oppsummere under:

Valg av designklasser:

Her er det viktig å gjøre et bra forarbeid slik at konstruktøren **alltid** velger lavest mulig designklasse. Dette kan medføre ekstra timer for designdisiplinene, men disse ”utgiftene” blir inntjent mange ganger i produksjonen [10].

Inspeksjonskategori:

Det samme gjelder her som for valg av designklasser. Velg **alltid** lavest mulig inspeksjonskategori gitt ut fra valgt designklasse. Dette vil bety redusert kontrollomfang og bedre flyt i produksjonen [10].

I NORSOK M-101 ”Structural Steel Fabrication” tabell 9.1 ser vi hva økt inspeksjonskategori kan medføre i arbeid.

Table 9.1 Minimum extent (in %) of non-destructive testing for structural welds.

Inspection category	Type of connection	Visual examination	Extent of testing		
			RT	UT	MT
A	Buttw.	100	10	100	100
	T-conn.	100	-	100	100
	Fillet/partial	100	-	-	100
B ¹⁾	Buttw.	100	Spot	50 ²⁾	100 ²⁾
	T-conn.	100	-	50 ²⁾	100 ²⁾
	Fillet/partial	100	-	-	100 ²⁾
C ¹⁾	Buttw.	100	-	20 ²⁾	20 ²⁾
	T-conn.	100	-	20 ²⁾	20 ²⁾
	Fillet/partial	100	-	-	20 ²⁾
D ¹⁾	All conn.	100	-	-	spot
E	All conn.	100	-	-	-

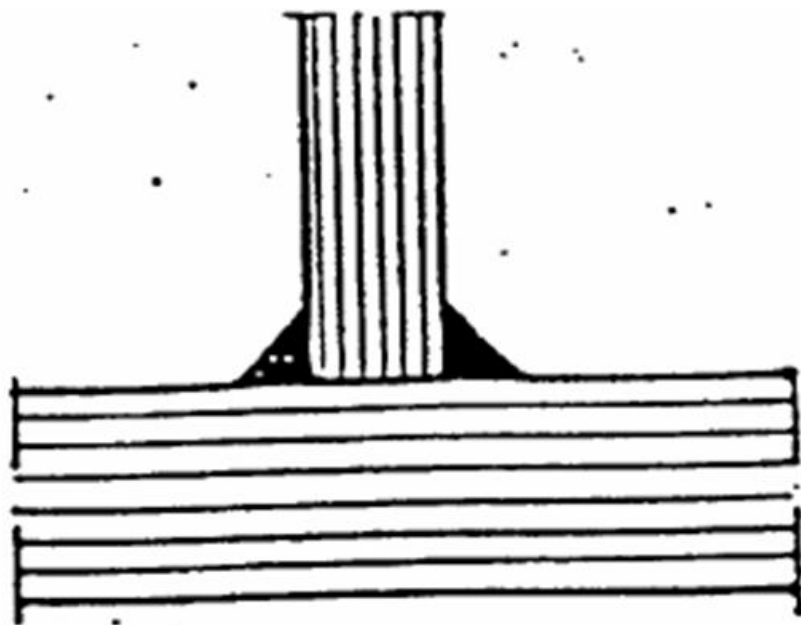
Figur 5.12: Table 9.1 Minimum extent of NDT for structural welds

Målet for Aker Solutions Egersund som et verft, er at konstruktøren skal alltid velge lavest mulig designklasse og inspeksjonskategori. Lav designklasse fører til lav inspeksjonskategori som igjen gir lave/ingen krav til NDT.

En artikkel som er hentet fra bladet *SVEISETEKNIKK* refererer til en erfaring fra Aker Solutions Egersund [11]. Artikkelen i sin originale form lyder som følger:

”Stort enklere kan ikke en sveiseforbindelse bli enn den som er vist i Fig. 1. Allikevel vil jeg påstå at denne forbindelsen koster norsk verkstedindustri store summer pr. år. Den skaper sjelden store sveisetekniske problemer, men konstruktøren dimensjonerer a-høyden meget tilfeldig og vil høyst sannsynligvis alltid overdimensjonere. En økning på 1 mm når a-høyden kommer over 6 mm har store kostnadmessige følger.

I ett tilfelle ble en kilsveis’ a-høyde redusert fra 12 mm til 8 mm. Det var en formidabel reduksjon, og da konstruktøren ble kjent med forholdet og visste at 4 400 m skulle sveises opp med denne a-høyden, da først begynte vedkommende å foreta en styrkemessig beregning. Han måtte være ærlig innrømme at a-høyden var skjønsmessig vurdert uten noen form for beregning. Forskjellen i kostnadene var i dette tilfellet kr. 350,- pr. m. Dertil måtte en med 12 mm sveis ha foretatt omfattende rettelarbeid som ville beløpe seg over kr. 100,- pr. m. Totalt ville dette ha kostet bedriften ca. kr. 2 000 000,-. Et pent årsresultat for mange norske verkstedsbedrifter.”



Figur 5.13: Fig. 1 fra artikkel hentet fra *SVEISETEKNIKK* [11]

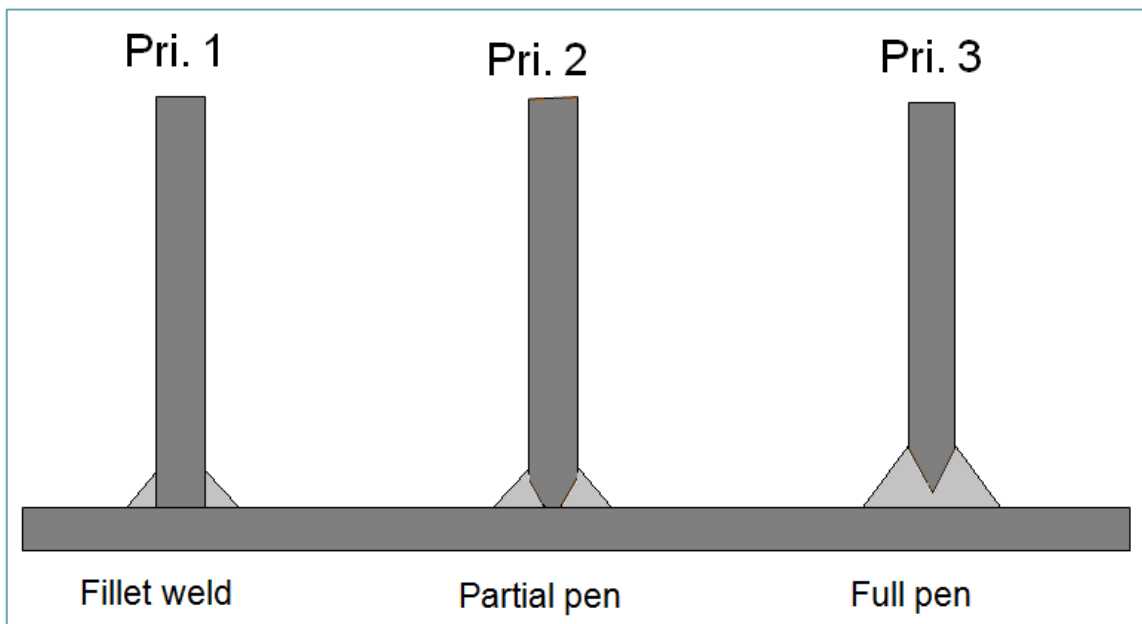
5.1 Sveisedetaljer

Detaljer knyttet til sveis kan bli sett på som et eget fagfelt. Det antas at en hel avhandling kan bli skrevet bare om dette temaet. I dette kapittelet skal jeg allikevel prøve å fremlegge de mest standardiserte løsningene for hva Aker Egersund foretrekker når det kommer til valg av løsninger, samt noen av Aker Stord sine erfaringer.

5.1.1 Full pen sveis, part pen sveis eller kilsveis?

Den generelle prioriteringen på hva type sveis Aker Egersund foretrekker er bygget på bakgrunn av hva som er mest økonomisk å utføre. I kronologisk rekkefølge foretrekkes først kilsveis (fillet weld), partial penetration sveis og til slutt full penetration sveis (full gjennomsvveis).

Enkel illustrasjon av prioritert sveisetypen:



Figur 5.14: Prioritering av sveisetypen hos Aker Solutions Egersund

Lastnivå og lasttype skal være den styrende faktor for hvilken type sveisetypen som bør brukes. Som en tommelfingerregel sies det at dersom knutepunktet er utsatt for dynamiske laster som fører til utmattelsesproblematikk er full pen det naturlige valget. Er lasten statisk vil ikke knutepunktet ha behov for full pen sveis, og part pen eller kilsveis vil være tilstrekkelig.

Med tanke på tykkelser må alt materiale over 50 mm som skal sveises forvarmes. Sveiser som skal utføres på tykkelser lik eller mindre enn 10 mm vil behovsmessig aldri bli navngitt som full penetration eller part pen sveis, da kilsveis sørger for at alt material blir smeltet sammen og blir i praksis sett på som full gjennomsvveis [10].

Informasjon fra Aker Stord sier følgende om full pen [12]:

- Bør unngås om mulig
- Svært tidkrevende
- Omfattende NDT krav
- Hvis full pen sveis kan unngås er part pen å foretrekke
- Hvis full pen og part pen sveis kan unngås er kilsveis å foretrekke

Mer informasjon om hvorfor part pen sveis er å foretrekke (fra Aker Stord):

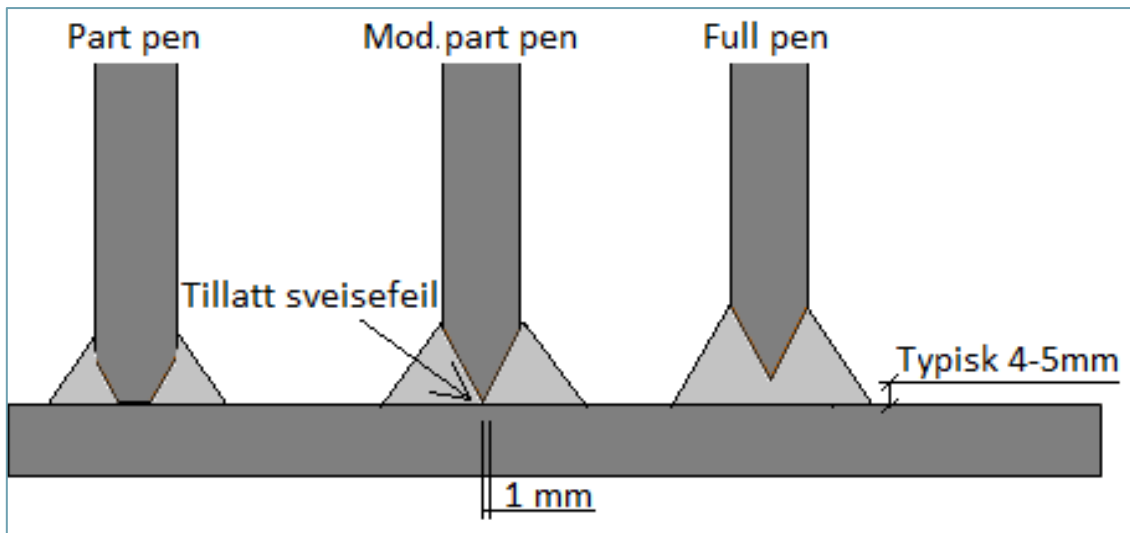
- Øker nøyaktigheten med hensyn på toleranser på grunn av mindre kryp
- Reduserer nødvendigheten for varme korrigering grunnet mindre sveisekrymping
- 1/3 av arbeidstimene for full pen sveis blir brukt ved part pen sveis
- Ved full sveis vil rensing i bakkant av sveisen med buet luft/karbon stav være miljømessig utilfredsstillende grunnet høye nivåer av støy og metallstøv
- Part pen er lettere å bruke ved sammensetting av plateseksjoner eller profiler da denne metoden ikke krever klaring mellom leddene

Informasjon om ensidig full pen sveis (fra Aker Stord):

- Betydelig dyrere en tosidig full pen sveis
- Medfører at sveisarbeideren må legge bunnstreng
- Større sveisevolum
- Nøyaktig klaring mellom røttene/spissene er viktig. (4-5 mm – tidkrevende!)
- Dårlig løsning i områder hvor tilkomst er dårlig
- Maling krever sliping av sveisen
- Innkapsling av sveisen er ofte nødvendig

I dilemmaet knyttet til valg av part pen eller full pen, mener Aker Solutions Egersund at man kan ”møtes på midten”. Kompromisset baserer seg på å modifisere/tilnærme part pen sveiser mot full pen sveiser.

Metoden går ut på å ta utgangspunkt i part pen sveis å slipe kanten av platen/profilen slik at spissen får tykkelse ned mot 1 mm. Spissen kan settes mot det andre elementet som platen/profilen skal sveises til. Med denne metoden vil man kunne tilnærme seg en full gjennomsveis (full pen) men ta seg friheten til å tillate en sveisefeil i midten av tverrsnittet. Se illustrasjon på neste side.



Figur 5.15: Modifisert part pen sveis

Med å tilnærme seg full pen ved utførelse av part pen vil man oppnå større kapasitet på knutepunktet og meningen er at dette i mange tilfeller skal dekke opp for utbredt valg av full pen sveis. Fordelen med denne metoden er at kravet til inspeksjon settes lik kravet til inspeksjon for part pen sveiser.

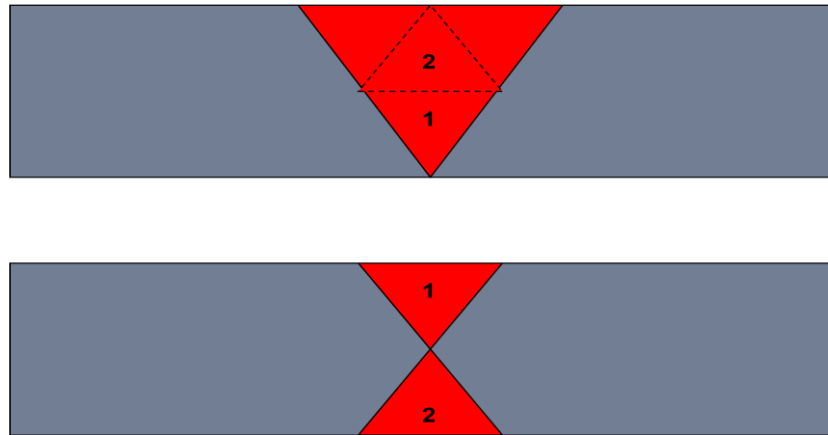
Må man utføre en full pen sveis betyr dette at kravet til inspeksjon økes og røntgen må tas i bruk for å sikre at forbindelsen ikke innehar sveisefeil. I tillegg har det tidligere blitt påvist at utførelsestiden til part pen sveis er kortere enn full pen sveis på grunn av forarbeid og antall strenger som må bli lagt ned.

Regelverk knyttet til sveis omtaler ikke denne tilnærmingen, og ønsket fra verkstedsbedriften i Egersund er at nettopp denne løsningen kan bli anerkjent og implementert hos flere aktører i tiden fremover.

5.1.2 Fugetyper og sveisevolum

Volum av sveisemateriale er bidrar ikke bare til økte materialutgifter, men stort volum betyr også flere arbeidstimer. Fokus på dette området mener Aker Solutions Egersund bør oppjusteres.

Eksempel på hvordan valg av sveisefuge styrer volum av sveisemateriale er vist med figur på neste side.



Figur 5.16: Full V-fuge sammenlignet mot to-side K-fuge

Figuren over viser at dersom man har tilgang til sveising på begge sider bør to-side K-fuge velges. Ønsket fra verftet ved Egersund er at man alltid bør velge den type fuge som bidrar til minst mulig volum for å redusere kostnadene knyttet til arbeidstimer og sveisemateriale. Må full pen sveis utføres er prioriteringen kronologisk:

1. To side K-fuge
2. En side halv V-fuge
3. Full V-fuge

Kapittel 6 – Overflatebehandling og brannbeskyttelse

6.0 Generelt

Innledningsvis ble det nevnt at olje- og gassproduksjonen utenfor norskekysten har vært i gang i over 40 år. Riktig eller optimalt materialvalg og design er viktig for å oppnå sikker drift uten fare for miljømessige skader og akseptable driftskostnader. Korrosjon og korrosjonsrelaterte problemstillinger (skader) er viktige i et slikt perspektiv. Erfaringer fra driften i Nordsjøen og olje- og gassvirksomhet andre steder i verden viser at man må ta korrosjon på alvor.

Brannsikkerhet er viktig med tanke på sikkerhet til personell og risiko for brann på plattformer. Brannbeskyttelse blir omtalt i kapittel ”6.2 Brannbeskyttelse”.

6.1 Maling

På verftet i Egersund overflatebehandler de alle stålstrukturer som skal installeres offshore for beskyttelse mot korrosjon. Unntaket er rustfrie metaller som ikke trenger korrosjonsbeskyttelse.

Egne malehaller blir brukt for denne jobben og det finnes mange hensyn å ta for at prosessen ved maling skal gå enkelt for seg. Men før vi går nærmere inn på disse hensynene skal vi først se litt mer på hva korrosjon er og hvilke typer som finnes.



Figur 6.0: Korrodert stålstruktur

6.1.0 Korrosjon

Korrosjon er det generelle navnet når metaller oksiderer, og oppstår når metallene kommer i kontakt med vann. Korrosjon er som nevnt et omfattende problem i offshoreindustrien, og store pengesummer blir hvert år satt av for å takle problemene gjennom inspeksjoner og utbedringer som følge av korrosjon. Metaller søker alltid tilbake til en lavere energitilstand, noe som betyr at korrosjonsproduktet vil være en blanding av oksider og salter av originalmetallet [5].

Det finnes flere typer korrosjon, men nevner her bare de som er aktuelle for temaet i denne oppgaven [5]:

- *Generell korrosjon (overflatekorrosjon):* Dette er den mest utbredte korrosjonstypen. Korrosjonen er jevn over hele materialet. Korrosjonsformen er enkel å kontrollere og enkel å motvirke.
- *Pitting (punktkorrosjon):* Dette er en korrosjonstype som korroderer i små punkter på materialet. Mest aktuell for rørsystemer hvor små mellomrom mellom rør og klammer som holder røret på plass skaper korrosjonsproblemer.
- *Galvanisk korrosjon:* Denne korrosjonstypen oppstår når et edelt metall kommer i kontakt med et uedelt metall. Et edelt metall vil i slike tilfeller opptre som en katode, mens et uedelt metall vil opptre som en anode. Denne korrosjonstypen kan motvirkes ved at man maler det edleste metallet, for å unngå at anode/katode-effekten oppstår. Sørg for at det edleste metallet ikke har mye større areal enn det uedleste.

6.1.1 Hvordan skal man motvirke korrosjon?

Her er de viktigste metodene [5]:

- Design – Unngå store katodeoverflater for å motvirke galvanisk korrosjon
- Materialvalg – Tilpass materialet til omgivelsene det skal benyttes i (offshore)
- Miljø – Dersom det er mulig å styre miljøfaktorer som temperatur, konsentrasjoner eller fluidhastigheter kan dette minke korrosjonshastigheten. Dette er ikke gjeldende for tema i denne oppgaven, men for rørsystemer osv.
Bruk av inhibitorer er vanlig i rør offshore for å redusere korrosjonshastigheten
- *Overflatebehandling (coating) – Fysisk barriere mot korrosjon, oftest i form av maling. Metallisering finnes også. Overflatebehandling er mest aktuelt for denne oppgaven.*
- Katodisk beskyttelse – stoppe anodereaksjonen ved å mate katodereaksjonen med elektroner fra en annen kilde. På rør på havbunnen brukes for eksempel offeranoder, gjerne av det uedle metallet sink.

6.1.2 Maleøkonomi

I et typisk prosjekt for Aker Egersund ansetter verftet et eget firma, BIS Industrier, for å utføre malearbeidet. Aker Egersund får betalt av kunder og betaler videre til BIS per utført mengde. Maling av struktur blir normalt betalt per kvadratmeter. Verftet har derimot en overordnet rolle ved malingsarbeid som går på planlegging og inspeksjon av alt utført arbeid. Aker Solutions har gjort sine kalkulasjoner og har gitt pris til kunden for hva de skal ha for å få konstruksjonen malt [16].

En overflatebehandlingsvennlig ståldesign vil gi muligheter for BIS å redusere antall arbeidstimer, noe som bidrar til at Aker Egersunds pristilbud vil bli lavere. Lavt pristilbud til kunden vil være med på å gjøre Aker Egersund mer konkurransedyktig samtidig som det betyr færre arbeidstimer som skal utvikles i en ellers så travel hverdag. Begge parter, både BIS og Aker Egersund legger inn ”bufferer” med tanke på pris slik at de begge sørger for og ikke tape på jobben [16].

For selve utførelsen av malearbeidet vil RHS-profiler gi lettere tilkomst og dermed lettere utførelse for maleren både når det sandblåses og når malingen påføres. En H-bjelke vil samle blåsesand på nedre flens som medfører rengjøring etter sandblåsing. Dette slipper man med en RHS-bjelke. Disse besparelsene kommer BIS til gode fordi de vil bruke mindre tid per utført mengde. Hvis Aker Egersund klarer å gjøre valg av RHS konsistent, vil BIS ved rullering av avtaleverket kunne tilby malearbeid til redusert pris. Det er derfor ikke uvesentlig for Aker Egersund om BIS bruker mye eller lite tid per maleenhet [16].

Selv om RHS kan anses som et førstevalg er tilgjengelig varesortiment ofte en begrensning for å velge dette.

En annen faktor som kan være med på å sikre god økonomi for prosjektet, er å korte ned prosjektets gjennomløpstid. Overflatebehandlingsvennlig ståldesign kan redusere antall timer malearbeid, som betyr at gjennomløpstiden på prosjektet reduseres. En hurtig og bra malejobb kan med andre ord gi neste ledd i produksjonen raskere tilgang. Innledningsvis ble det påvist at det var tre hovedfaktorer som er viktige for operatørselskaper i vurdering av kontraktsinngåelse: kvalitet, produksjonstid og pris. Å overholde gitt tidsramme er en styrende faktor som bidrar til å opprettholde en profesjonell profil i bransjen.

Informasjon fra en samtale med en tidligere inspeksjonsansvarlig (korrosjon) i BP på Valhallfeltet i Nordsjøen, tilsier at fokus på kvalitet knyttet til maling vil øke levetiden til plattformene da korrosjon er meget viktig faktor som påvirker strukturens integritet. Budsjettet for vedlikehold på Valhallfeltet knyttet til malearbeid offshore er ifølge han ikke tilstrekkelig for og opprettholde ønsket korrosjonsbeskyttelse. For fremtidige konstruksjoner ser han verdien i overflatebehandlingsvennlig ståldesign [13].

6.2 Brannbeskyttelse

Passiv brannbeskyttelse (PFP – Passiv Fire Protection) er isolerende kledninger eller belegg som skal bidra til å gi konstruksjoner tilstrekkelig brannmotstand [6].

De viktigste grunnene til at det brukes en form for passiv brannbeskyttelse er:

- For å redde liv og verdier
- For å sikre rømningsveier
- For å utsette tiden før flammer og røyk sprer seg
- For å hindre at konstruksjonen bryter sammen tidlig i en brann

Et brannbeskyttende belegg må virke brannhemmende. Det skal hindre at flammer sprer seg og gi isolasjon mellom konstruksjonen og de varme omgivelsene. Temperaturen blir dermed holdt nede slik at igangsetting av brannslukking og evakuering blir utført før konstruksjonen kollapser.

Krav til passiv brannbeskyttelse:

”Den passive brannbeskyttelsen skal utføres slik at den gir aktuelle konstruksjoner eller utstyrskomponenter tilstrekkelig brannmotstand mht. bæreevne, integritet og isolasjonsevne under en dimensjonerende brann, samt bidrar til å redusere konsekvensene som følge av en brann generelt” [6]

Utrykket brannmotstand er viktig. Brannmotstand er tiden som en konstruksjon motstår en termisk eksponering (brann) og ivaretar sine branntekniske egenskaper. Det er viktig å avgrense områder hvor en brann kan spre seg. Innenfor et avgrenset område finnes det muligheter for å begrense brannen ved å stoppe tilførselen av brennbart materiale eller hindre lufttilgangen. En *branncelle* er en avgrenset del av en bygning eller en modul hvor en brann kan utvikle seg uten å spre seg til andre rom. Branncellen er begrenset av brannskiller [6].

Brannklasser:

- Hydrokarbon 1100°C H60 = hydrokarbon
- Cellulose 900°C (tre, husbrann) A60 = Tørrisolering

Hydrokarbonbrann deles opp i to:

- Vanlig hydrokarbonbrann er når olje eller gass er involvert
- Hydrokarbon *Jetbranner* ved ekstremt høyt energi/trykk ved olje og gass. Temperatur opp mot 1200 - 1700°C. Jetbrann stiller høyere til brannbeskyttelse.

Chartek:

Chartek er et passivt brannbeskyttelsessystem som forhindrer potensiell katastrofal kollaps i struktur ved å danne et isolerende skjold mot den intense heten fra ilden.

Chartek brannbeskyttelsessystem er resultat av mer enn 30 års forskning og utvikling og har vidtfaavnende sertifisering for et vidt spekter av brannbeskyttende klasser. Chartek passiv brannbeskyttelsessystemet består av et svellende belegg som legges på strukturstålet i samme fase som malarbeid. Belegget er komponert for å beskytte underlaget mot brann og korrosjon.

Avhengig av branntype, klassifisering og design, kan Chartek brannbeskyttelsessystemer trenge armeringsnetting.



Figur 6.1: Chartekbelagt knutepunkt

Dette er et system som Aker Solutions Egersund bruker i stor grad. Når Chartekbelegget er ferdig herdet er det svært hardt og dersom man av ulike grunner ønsker å fjerne det medfører det et omfattende fjerningsarbeid som krever mange arbeidstimer.

6.3 utfordringer knyttet til Chartek og maling

For å beskrive områder knyttet til oppgavens tema har jeg etter samtaler med eksperter med lang fartstid i overflatebehandling samlet informasjon og satt fokus på følgende problemområde: pipe-supports, elektro-brackets, grating og profiler.

6.3.0 Pipe-support

En av utfordringene som overflateavdelingen i Aker Solutions opplever er å oppnå større grad av preutrustning på konstruksjonene som leveres til maling i hallene. Mangel på preutrustning av pipe supporter er et problemområde da det medfører fjerning av maling og eventuelt Chartek i ettertid.

Under konstruksjon av strukturer gjøres det klart for montering av pipe-supports. Det gjøres normalt (avhengig av type support) ved å sveise en doblingsplate der hvor pipe-supporten skal monteres. Mangelen på preutrustning av pipe-supporter fører til at doblingsplatene i etterkant må slipes (og eventuelt hugges) for fjerning av maling og Chartek. De resterende pipe-supporter kan da sveises på plass.



Figur 6.2: Ettermontert pipesupport

Når pipe-supporten er sveist og ferdigmontert må så malearbeidere inn på modulen igjen for ”touch up”-arbeid. Kvaliteten på dette arbeidet er vanskeligere å sikre da det er vanskeligere å kontrollere klimaet (temperatur, fuktighet og renslighet).

Ønsket fra overflateavdelingen er å få preustrustningen så komplett som mulig *før* strukturen rulles inn for maling i malingshallen. Fokus på dette området vil mest sannsynlig redusere behov for manuell fjerning av maling og Chartek, og mange timer med ”touch-up”-arbeid kunne blitt spart. Figur på under viser en pipe-support som har blitt ettermontert, hvor maling og Chartek er fjernet før sveising.



Figur 6.3: Pipesupport ettermontert – maling og Chartek fjernet

6.3.1 Elektro-brackets

Med tanke på alle elektrokabler som skal legges inne i modulene er det vanlig å montere elektro-bracket i tak/underkant dekke for opplegg til kabelgater. For elektroarbeiderne er det vanskelig på forhånd å vite hvor kabelgatene skal gå da rør og rørrelaterte komponenter har prioritering foran elektrodisiplinen.

For å sørge for gode valgmuligheter for elektrikere i bestemmelse av rute for sine kabelgater ønsker overflateavdelingen å montere flere elektro-brackets enn nødvendig. Resultatet er flere elektro-brackets enn de som trengs, men til gjengjeld blir rutevalget enklere og krav til rettarbeid og ”touch-up” vil reduseres. Å utruste taket med tilstrekkelig antall elektro-brackets vil lette arbeidet for elektrikere. Sliping, sveising og ”touch-up”-arbeid er konsekvens av for få elektro-brackets. Her vil man kunne spare inn mye unødvendig timebruk på dette området dersom fokus på dette temaet blir opprettholdt.



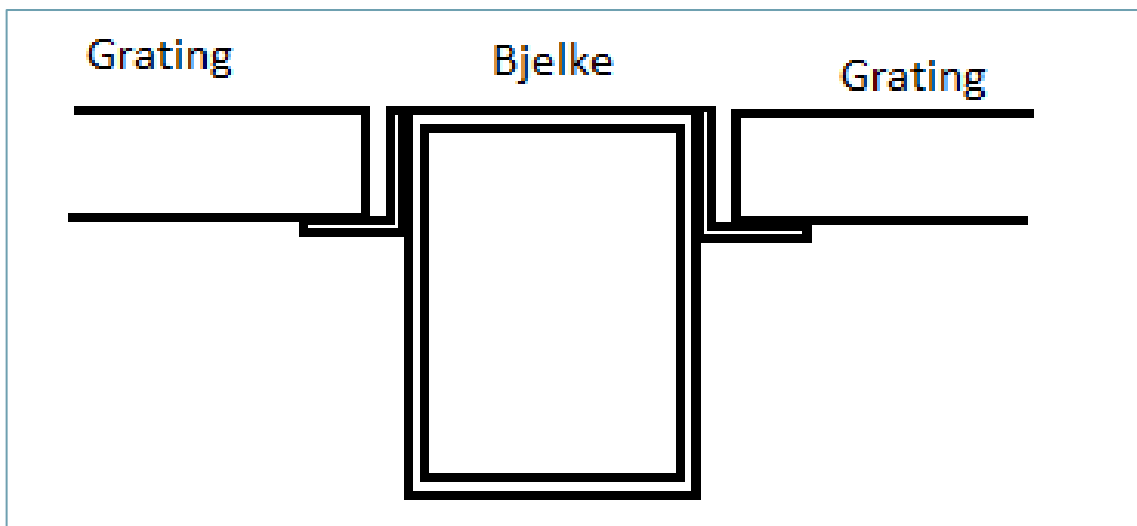
Figur 6.4: Kabelgater (hentet fra Internett)

6.3.2 Grating

Grating er metallmatter som blir brukt som gulv. Mattene blir brukt i forbindelse med trapper, repos og generelt de fleste gangbare areal. Med tanke på overflatebehandling kan bruken av disse danne uønskede problemområder. I designfasen hender det at designerne plasserer gratingen på vinkelopplegg slik at topp grating flukter med topp bjelke. Til høyre er et bilde av hvordan grating ser ut og under vises en illustrasjon av hvordan grating kan bli opplagt på vinkel.



Figur 6.5: Grating



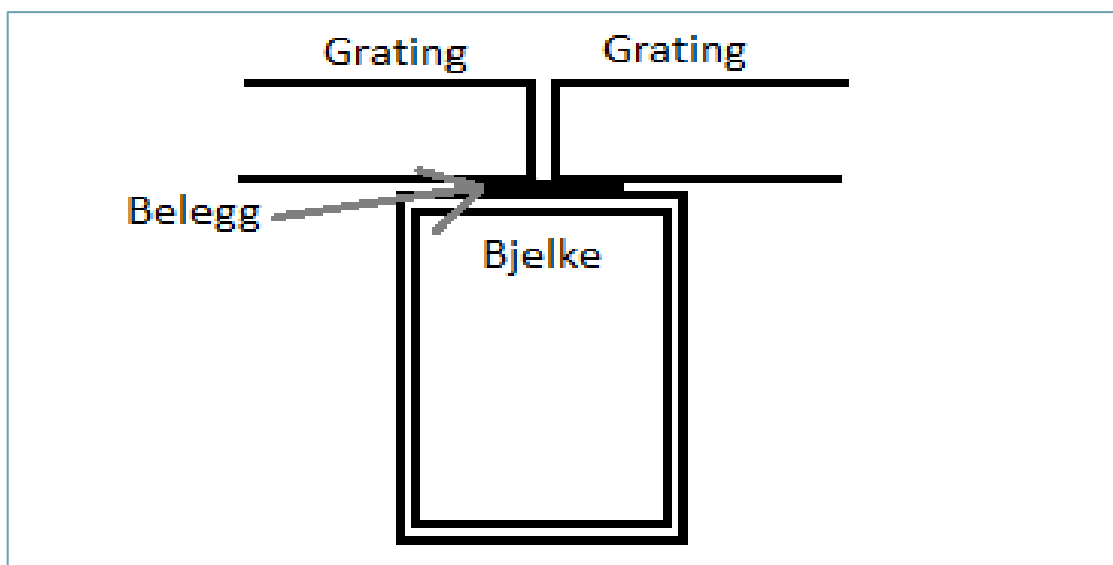
Figur 6.6: Grating opplagt på vinkler sveist til bærebjelker

Før gratingen legges på vinklene har bjelken og vinklene sammen med resten av strukturen vært til overflatebehandling. Når gratingen så skal legges ned på vinklene kan det hende at malingens tykkelse kan skape problemer. Toleransene til legging av grating er ofte små og derfor støter arbeiderne ofte på problemer. Løsningen kan være å justere disse som kan føre til at området blir tilsmusset med metallpartikler fra kutting og sliping på plassen. Krav til renslighet er høyt da metallpartikler kan bidra til slitasje på malte overflater. Dette kan igjen føre til korrosjonsrisiko.

Hovedproblemet med grating plassert på vinkler er at man kan få smuss (metallstøv og lignende) ned mellom gratingen og vinklene. Da gratingen vil bevege seg vil dette skape slitasje på malingen og rettarbeid vil være vanskelig å utføre.

Ønsket fra Aker Solutions Egersund er å få designet alle grating til å ligge kant i kant på topp bjelke. Under gratingen vil man legge en type belegg for å beskytte toppbjelke mot bevegelser. I områder nær grating vil det ofte finnes dekkplater som skal overflatebehandles med gripmaling (antiskli), og finner denne malingen veien ned mellom vinkler og grating vil friksjon også her skape slitasje på malte overflater.

Ønsket design:



Figur 6.7: Grating på topp bjelke med belegg

6.3.3 Globalanalyser av brannutvikling

Før verftene legger passiv brannbeskyttelse (Chartek) på strukturstålet må de vite hvor de skal legge det. Å helgradere seg med å legge Chartek på alt strukturstål vil være svært kostnadsdrivende og verftet er avhengig av designavdelingen.

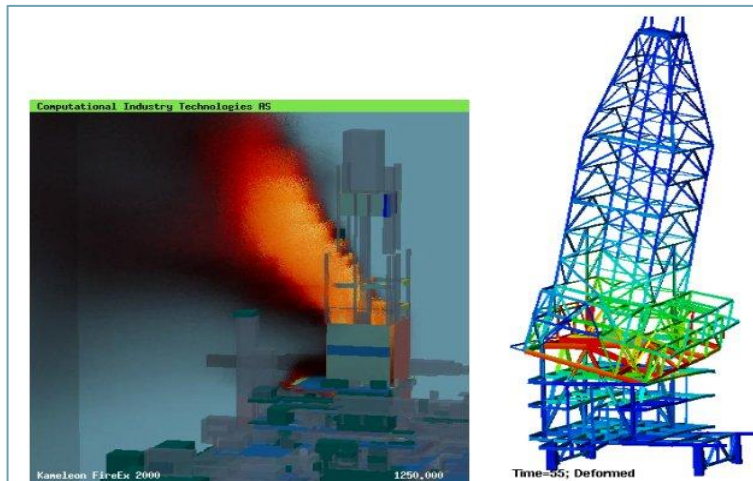
Brannteknisk avdeling på prosjekteringsiden foretar til alle prosjekt en globalanalyse av strukturen under gitte type branner. Disse analysene tar for seg ulike scenarioer som viser hvor de forskjellige brannene vil spre seg, hvor raskt og i hvilket omfang (styrke). Globalanalysene tar utgangspunkt i de mest utsatte/risikofylte områder hvor brann kan oppstå og dimensjonerer brannbeskyttelse ut fra resultatene av analysene.

Overflateavdelingen i Egersund som er ansvarlig for utførelse av brannbeskyttelse (Chartek, brannisolering osv.) opplever at brannteknisk avdeling ofte er for sene med å levere dokumenter som tilsier hvor og hvordan den passive brannbeskyttelsen skal utføres. Ventetiden her er kritisk og i noen tilfeller hender det at overflateavdelingen i Egersund bestemmer å gå frem uten noen planer fra brannteknisk avdeling på prosjekteringsiden.

Grunnen til dette er at de ikke har råd til å vente med å legge Chartek og malarbeid da neste ledd i produksjonen står i fare for å gå tom for arbeid. I store prosjekter kan 1500 mann arbeide på verftet, og dersom modulen ikke kan jobbes på før den har vært i

malingshallen, vil dette få store konsekvenser med tanke på økonomien i prosjektet. Å starte Chartearbeid ”i blinde” fører til rettelarbeid som igjen kan koste bedriften penger.

Oppsummert kan man si at å utføre en globalanalyse med hensyn på brannutvikling tidlig nok i prosjektet er vitalt for overflateøkonomien til Aker Solutions Egersund.



Figur 6.8: Illustrasjon av globalanalyse av en derrick

6.3.4 Profiler

Maling av stålstrukturer er blitt som nevnt kompensert pr. kvadratmeter stål som skal males. Valg av profiler vil være med på å styre mengde areal da en H-profil vil utgjøre mer areal enn en tilsvarende RHS-profil (boksprofil). Når ordet ”tilsvarende” her blir brukt menes et profil som tilnærmet vil inneha de samme strukturelle egenskapene som H-profilet. Å si at de er tilsvarende blir feil, men en grov tilnærming kan bli gjort ved å sammenligne profilenes motstandsmoment om sterk akse. Å inkludere motstandsmoment om svak akse vil ikke være særlig relevant da H-profiler sjelden dimensjoneres for å ta krefter om svak akse. RHS-profiler vil derfor være en fordel å bruke i lastsituasjoner hvor krefter virker om flere akser. For å sammenligne areal på to, grovt sett, tilsvarende profiler, H- og RHS-profiler, kan man forenklet finne to profiler som har samme motstandsmoment – W (om sterk akse).

I denne oppgaven har det blitt undersøkt om det finnes noen sammenheng mellom arealet til to profiler med tilnærmet like strukturelle egenskap (W).

Eksempel 1:

Tilfeldig velges HEA 160 med motstandsmoment om sterk akse $W = 220 \times 10^3 \text{ mm}^3$

Tilnærmet tilsvarende RHS-profil er 200x100x8,00 med motstandsmoment om sterk akse $W = 220 \times 10^3 \text{ mm}^3$

Arealberegning:

$$\text{HEA 160} \rightarrow (2 \times 160 \text{ mm} + 4 \times 9 \text{ mm} + 2 \times 134 \text{ mm} + 2 \times 154 \text{ mm}) \times 1000 \text{ mm} = 932\,000 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$RHS\ 200x100x8,00 \rightarrow (2x200mm+2x100mm) \times 1000mm = 600\ 000\ mm^2/m$$

I dette tilfellet vil arealet til HEA profilet være $(932\ 000mm^2/600\ 000mm^2) \Rightarrow 55\ %$ større enn RHS-profilet.

Eksempel 2:

Tilfeldig valgt HEA 220 med motstandsmoment om sterk akse $W = 515 \times 10^3\ mm^3$

Tilnærmet tilsvarende RHS-profil er 300x200x6,30 med motstandsmoment om sterk akse $W = 519 \times 10^3\ mm^3$

Arealberegning

$$HEA\ 220 \rightarrow (2x220mm+4x11mm+2x188mm+2x213mm) \times 1000mm = 1286\ 000\ mm^2/m$$

$$RHS\ 300x200x6,30 \rightarrow (2x300mm+2x200mm) \times 1000mm = 1000\ 000\ mm^2/m$$

I dette tilfellet vil arealet til HEA profilet være $(1\ 286\ 000\ mm^2/1\ 000\ 000mm^2) \Rightarrow 29\ %$ større enn RHS-profilet.

Konklusjon:

Det finnes ingen direkte sammenheng mellom arealet til to profiler (henholdsvis RHS og H) som har tilnærmet like strukturelle egenskaper da arealet til H-profilet i det første eksempelet var 58 % større enn RHS-profilet, og 29 % større i eksempel 2.

Med tanke på maling og Chartek-behandling av disse to forskjellige profilene viser disse eksemplene at det tar lengre tid å male H-profiler på grunn av større areal.

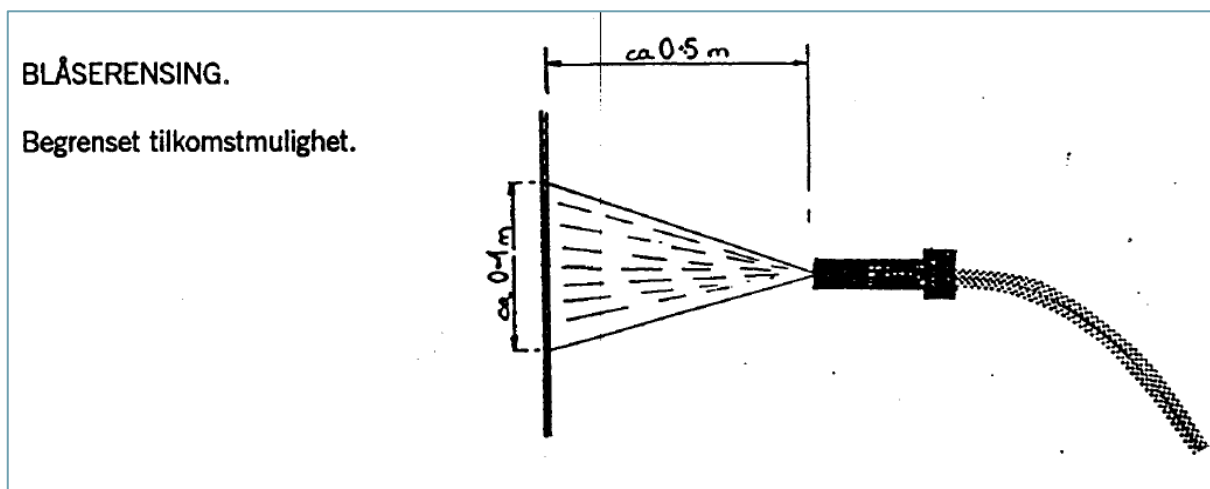
Men erfaringer og meninger om valg av profiler med tanke på overflatearbeid på verftet i Egersund er ikke rettet mot at H-profilet har et *større areal*, men H-profilet er et mer *geometrisk utfordrende* profil å overflatebehandle. Aker Solutions er ute etter å jobbe med malingsvennlig ståldesign som innebærer:

- Lettere tilgang til overflater som skal behandles
- Unngå utilgjengelige detaljer
- Benytte stålprofiler med færrest mulig kanter
- Benytte stålprofiler med ferdig avrunda kanter

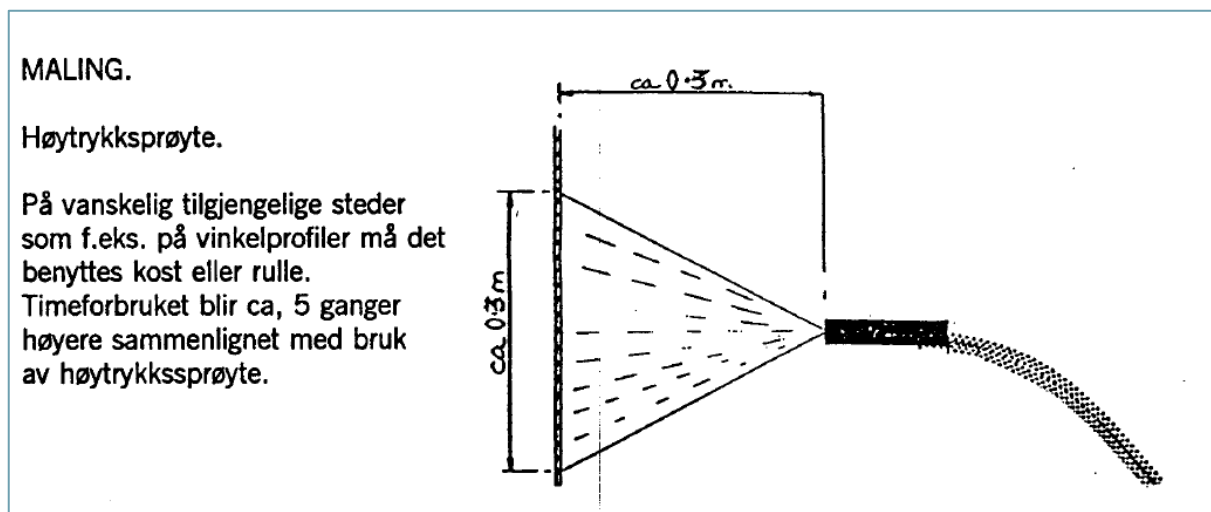
Under disse punktene kan man se at et H-profil kommer dårlig ut sammenlignet mot en RHS profil.

Et annet ønske fra verftet er også en økning i bruk av **Bulb-profil** som erstatning for **vinkler**.

Følgende figurer viser at krav til avstander mellom stål og utstyr (blåseinstrument, malingsprøyte osv.) kan by på utfordringer [14].



Figur 6.9: Krav til avstander ved blåserensing

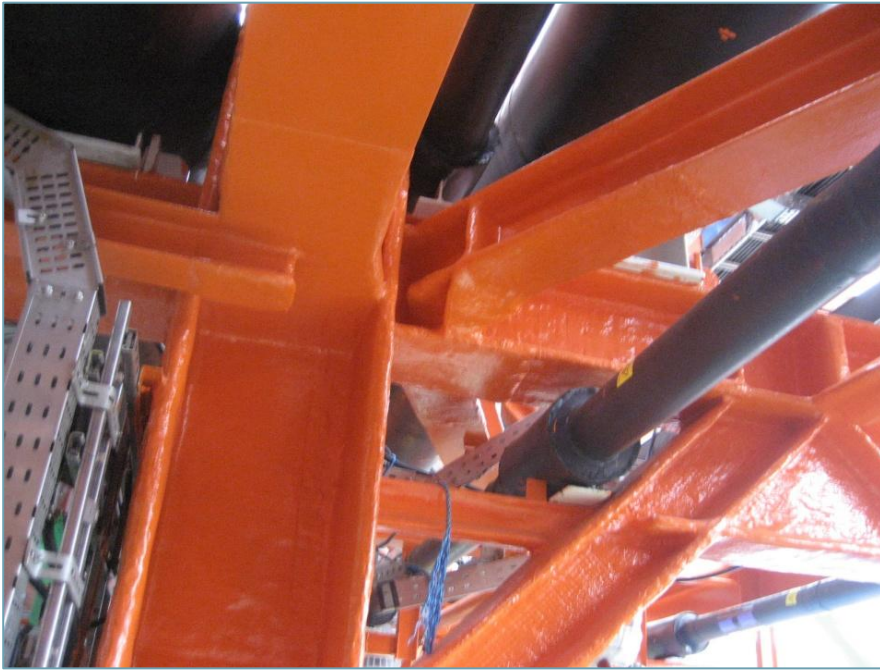


Figur 6.10: Krav til avstander ved maling

Disse to figurene er hentet fra et datablad fra verftet som før het Aker Kværner Rosenberg i Stavanger. Her ser man at dersom man får liten tilkomst vil dette medføre at overflatearbeidere må bruke kost eller rulle. Det står også at timeforbruket blir ca. 5 ganger høyere sammenlignet med bruk av høytrykksprøyte.

Skrekkeeksempel for verftet ved Egersund når det kommer til overflatebehandling og fabrikasjon av stålstruktur er "Kashagan"-prosjektet de hadde i forbindelse med Agip.

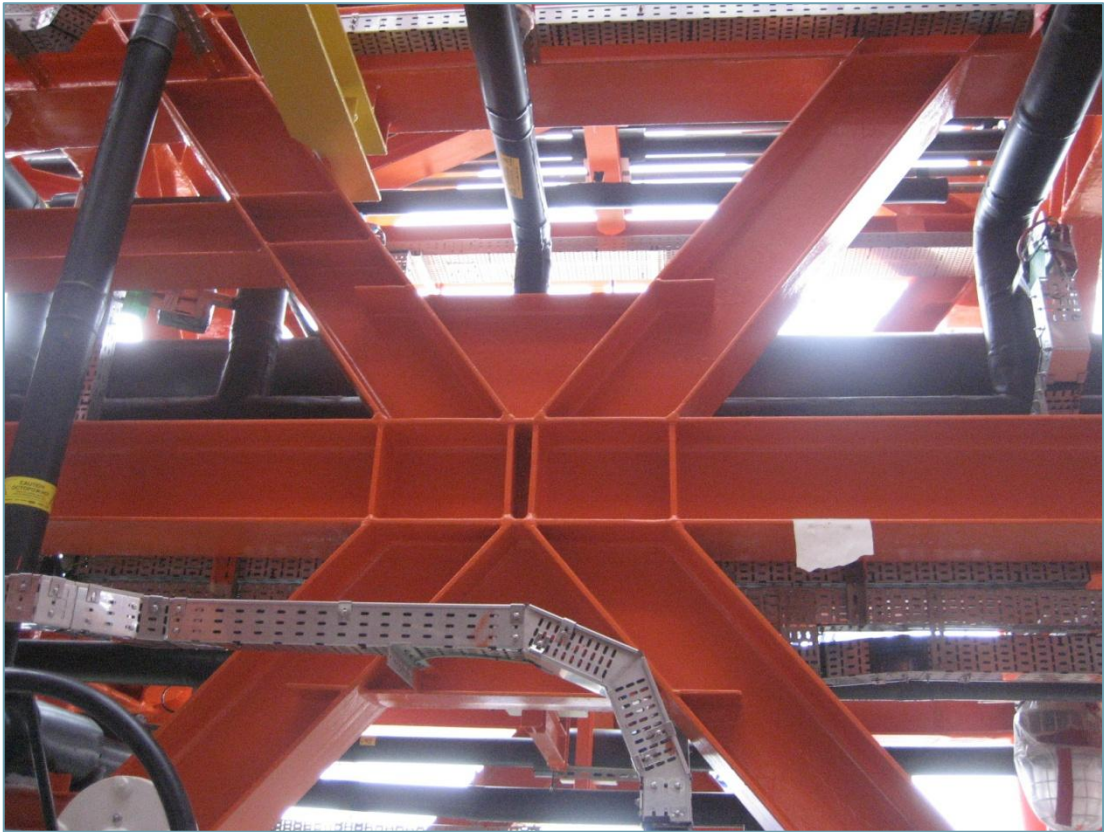
Designet var stort sett basert på bruk av H-profiler. Den styrende årsaken for at dette var designet var det de ønsket hadde rot i hva de var vant med erfaringsmessig. Hadde det ikke vært for typen kontrakt som ga god økonomi da Aker Solutions Egersund ble kompensert pr. time på hele prosjektet, ville dette vært et prosjekt som kunne fått fatale økonomiske konsekvenser. Bilder på de neste sidene viser eksempler på dårlig tilkomst som skapte store utfordringer både for malearbeidere og sveisemannskap.



Figur 6.11: Bruk av H-profiler i "Kashagan"-prosjektet (1)



Figur 6.12: Bruk av H-profiler i "Kashagan"-prosjektet (2)



Figur 6.13: Bruk av H-profiler i "Kashagan"-prosjektet (3)

Kapittel 7 – Profiler og konstruksjonsvennlig design

7.0 Generelt

Valg av stålprofiler til konstruksjon stålstrukturer blir av Aker Solutions Egersund sett på som et område som bør undersøkes nærmere. Det ble i slutten av kapittel 6 - overflatebehandling og brannbeskyttelse, beskrevet en del om valg av profiler knyttet til overflatebehandling. Aker Solutions Egersund ønsker hovedsakelig å undersøke nærmere hva som lønner seg å bruke; H-profiler eller RHS-profiler. Å bestemme hva som er best kan være vanskelig da det finnes flere faktorer som spiller inn på valget; økonomi (innkjøp), vekt (egenlast), produksjon, fabrikasjon, overflate (maling og PFP), vedlikehold (maling), strukturell integritet (kapasitet) og fremtidig modulinstallasjon offshore (tilkobling av nye moduler).

Å finne den beste profilen til et bestemt tilfelle er ikke alltid en lett prosess. Konstruktørene som tar avgjørelsen om type profiler har ikke alltid grunnlag for å vurdere de ovennevnte faktorene, og da blir ofte strukturell kapasitet den faktoren med høyest prioritet. Erfaringsmessig vurderes innkjøpskostnader av konstruktør da de ofte får beskjed om å lage en design med god kvalitet til lav kost.

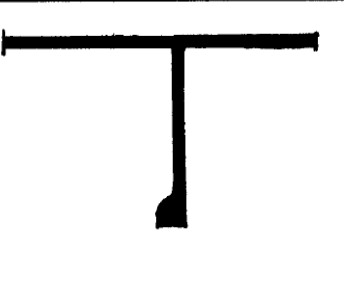
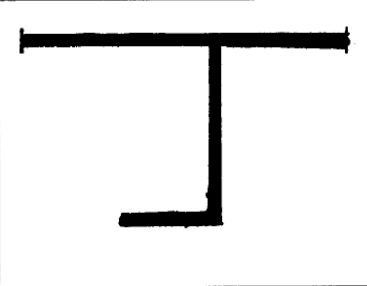
Synspunkter på lav kost mener Aker Solutions Egersund differensierer seg mellom konstruktører og verft. Konstruktører fokuserer mest på innkjøpskostnader, mens verftene ser mest på kostnader knyttet til fabrikasjonen (totalbilde). Oppsummert kan man si at kapasitet og innkjøpskost er de viktigste og eneste faktorene som konstruktørene vurderer. Det er ofte det som en konstruktør opplever som bra design. Men med dette er ikke alle de nevnte faktorene tatt med i vurderingen av bra design.

Ønsket fra Aker Solutions er å implementere erfaringer de har knyttet til produksjon og fabrikasjon inn i prosjekteringsfasen, slik de får muligheten til å påvirke konstruktører/designere til å vurdere *alle* faktorene knyttet til valg av profiler og konstruksjonsvennlig design.

7.1 Vinkel- og Bulb-profil

I kapittel 6 nevnte jeg at et ønske fra Aker Egersund er å implementere økt bruk av Bulb-profil som erstatning for vinkelprofiler i avstivning av dekk/skott inn i designdisiplinen. For å bevise reduksjon i kostnader knyttet til overflatebehandling ved valg av Bulb-profil, vises en tabell fra et datablad fra tidligere Aker Kværner Rosenberg [14].

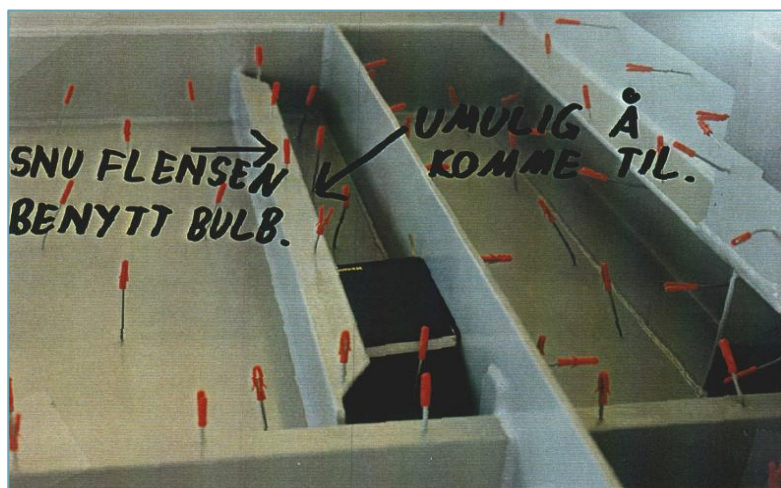
Sammenlignende kostnadsoverslag for typiske konstruksjoner: Vinkel- kontra Bulb avstivning.

TYPE OVERFLATEBEHANDLING		
MALING	60 %	100 %
METALLISERING	60 %	100 % Umulig å oppnå spesifiserte krav oppå vinkelen

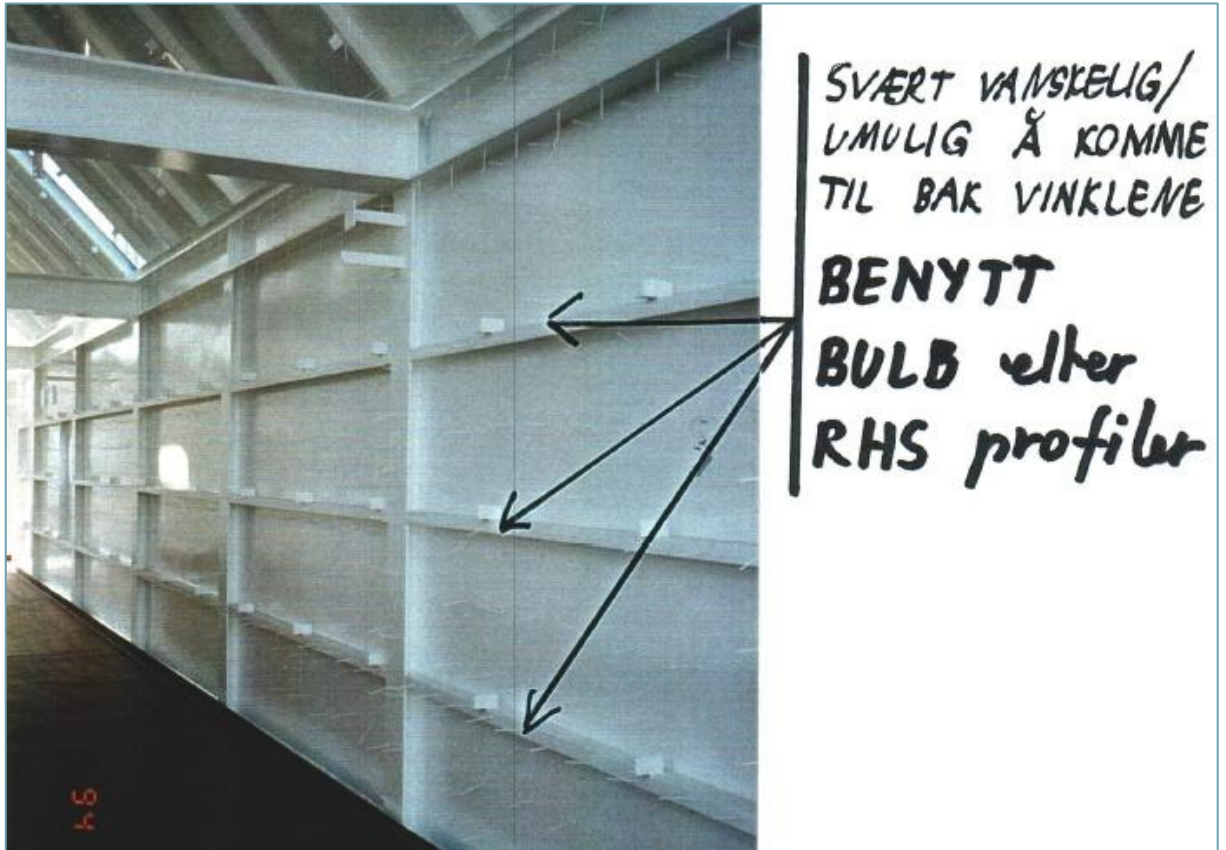
Figur 7.0: Kostnadsoversikt - Bulb-profil kontra vinkel-profil

Problemene som oppstår er ved maling og sveis. For å komme til på toppen av den utkragede vinkelbiten må malingsrulle brukes som vi har sett krever lengre tid. Velges Bulb-profil vil man lett kunne male ved hjelp av høytrykkssprøyte. Med tanke på sveis kan det også være problematisk å komme til på grunn av den utfordrende geometrien til vinkler.

Generelt er bruk av vinkelprofiler er område med et stort potensial for forbedring. Ofte blir vinkler plassert slik at malearbeidere og sveisearbeidere har vanskeligheter for å utføre sine oppgaver. Eksempler på dårlig design vises her ved bilder fra Aker Kværner Rosenberg.



Figur 7.1: Dårlig design med vinkler (1)



Figur 7.2: Dårlig design med vinkler (2)

Fra nevnt datablad fra Rosenberg kommer også noen anbefalinger til designdisiplinen til spesialdetaljer:

BESKRIVELSE	DÅRLIG	BRA
2 vinkelprofiler	<p>Umulig å metallisere mellom vinklene</p>	<p>$e > h$</p>
Supporter	<p>Umulig å metallisere i enden av vinkelen.</p>	<p>45°</p>

Figur 7.3: Spesialtilfeller ved bruk av vinkler

7.2 RHS-profiler eller H-profiler?

7.2.0 Innkjøpskostnader

I samtale med en ansatt ved innkjøpsavdelingen i Aker Egersund har jeg fått vite pris på to profiler, HEA 200 og RHS 200x200x8,00. Motstandsmomentet om sterk akse på disse er henholdsvis $W = 389\,000\text{ mm}^3$ og $W = 432\,000\text{ mm}^3$.

Pris på standard lengde på 12 meter med HEA 200 er *kr. 5588,40*

Pris på standard lengde på 12 meter med RHS 200x200x8,00 er *kr. 7588,20*

Disse profilene er tilnærmet lik med tanke på strukturell kapasitet. En antakelse fra Aker Solutions Egersund er at RHS-profiler er dyrere å kjøpe inn enn H-profiler. Med priseksempelen over kan denne antakelsen bekreftes. I dette eksempelet er RHS profilet $7588,20 / 5588,40 = 1,36 \rightarrow 36\%$ dyrere enn H-profilet.

Andre punkter under materialinnkjøp som er viktige med tanke på å bevare god økonomi i prosjektet er [10]:

- Standardiser materialer – sjekk hva som er tilgjengelig hos leverandør
 - Størrelser
 - Kvaliteter
 - Kabeltyper, kabelgater, rør, ventiler, profiler, plater osv.
- Opprett artikkelkatalog for prosjektet og ”lås” denne.
 - Ikke tillat alle artikler ukritisk
- Kjøp i bulk og ikke i biter – kunden bør utfordres
- Følg opp leverandørene, sjekk produktene før leveranse
 - Sett krav til preservering (for utendørs lagring)
 - Sjekk om leveransene er iht. bestillingen (nøyaktighet)



Figur 7.4: Kjøp i bulk – ikke i biter

7.2.1 Egenlaster

I dette delkapittelet skal jeg bruke antakelsen om at man grovt sett kan likestille to profiler (en RHS og en H-profil) med tanke på strukturell kapasitet ved å sammenligne motstandsmoment. En rekke RHS-profiler velges tilfeldig, for så å finne tilsvarende H-profil. Vekt skal sammenlignes for å sjekke hvilke profiler som bidrar med mest egenlast.

HEA mot kvadratiske RHS

- ❖ RHS 100x100x8,00 har $W = 81\,500\text{ mm}^3$ – veier 23,40 kg/m
HEA100 har $W = 72\,800\text{ mm}^3$ – veier 17,00 kg/m
RHS 100x100x8,00 har $23,40 / 17,00 \Rightarrow 37\%$ mer egenvekt enn HEA100

- ❖ RHS 160x160x8,00 har $W = 226\,000\text{ mm}^3$ – veier 37,90 kg/m
HEA160 har $W = 220\,000\text{ mm}^3$ – veier 31,00 kg/m
RHS 160x160x8,00 har $37,90 / 31,00 \Rightarrow 22\%$ mer egenvekt enn HEA160

- ❖ RHS 300x300x10,00 har $W = 1\,061\,000\text{ mm}^3$ – veier 92,50 kg/m
HEA280 har $W = 1\,010\,000\text{ mm}^3$ – veier 77,90 kg/m
RHS 300x300x10,00 har $92,50 / 77,90 \Rightarrow 19\%$ mer egenvekt enn HEA280

HEA mot rektangulære RHS

- ❖ RHS 160x80x6,30 har $W = 115\,000\text{ mm}^3$ – veier 22,70 kg/m
HEA120 har $W = 106\,000\text{ mm}^3$ – veier 20,30 kg/m
RHS 160x80x6,30 har $22,7 / 20,30 \Rightarrow 12\%$ mer egenvekt enn HEA120

- ❖ RHS 200x100x8,00 har $W = 220\,000\text{ mm}^3$ – veier 36,10 kg/m
HEA160 har $W = 220\,000\text{ mm}^3$ – veier 31,00 kg/m
RHS 200x100x8,00 har $36,10 / 31,00 \Rightarrow 16\%$ mer egenvekt enn HEA160

IPE mot rektangulære RHS

- ❖ RHS 150x100x5,00 har $W = 99\,500\text{ mm}^3$ – veier 19,10 kg/m
IPE160 har $W = 109\,000\text{ mm}^3$ – veier 16,10 kg/m
RHS 150x100x5,00 har $19,10 / 16,10 \Rightarrow 19\%$ mer egenvekt enn IPE160

- ❖ RHS 250x150,6,30 har $W = 329\,000\text{ mm}^3$ – veier 39,00 kg/m
IPE240 har $W = 324\,000\text{ mm}^3$ – veier 31,30 kg/m
RHS 160x160x8,00 har $39,00 / 31,30 \Rightarrow 25\%$ mer egenvekt enn IPE240

IPE mot kvadratiske RHS

❖ RHS 100x100x8,00 har $W = 81\,500\text{ mm}^3$ – veier 23,40 kg/m

IPE140 har $W = 77\,300\text{ mm}^3$ – veier 13,20 kg/m

RHS 100x100x8,00 har $23,40 / 13,20 \Rightarrow 77\%$ mer egenvekt enn IPE140

❖ RHS 250x250x10,00 har $W = 718\,000\text{ mm}^3$ – veier 76,50 kg/m

IPE330 har $W = 713\,000\text{ mm}^3$ – veier 50,10 kg/m

RHS 250x250x10,00 har $76,50 / 50,10 \Rightarrow 53\%$ mer egenvekt enn IPE330

Det må nevnes at denne metoden å sammenligne profiler på ikke dekker alle egenskapene til profilene, men forenklet er dette metoden jeg har valgt å bruke for å finne hvilke som er noenlunde like med tanke på kapasitet om sterk akse.

For å ta et gjennomsnitt av alle sammenligninger gjort over kan man finne en veldig grov prosentsats som sier litt om hvor mye RHS-profiler veier i forhold til H-profiler:

$$\frac{37\% + 22\% + 19\% + 12\% + 16\% + 19\% + 25\% + 77\% + 53\%}{9} = 31\%$$

Dette tallet blir *for* grovt til å representere et virkelig bilde da man ser på ytterpunktene på 12 % og 77 %. Differansen mellom 31 % og disse er henholdsvis 19 % og 46 %. Men det som *er* mulig og konstantere er at bruken av RHS-profiler *vil* bidra til økt vekt på strukturen sammenlignet med H-profiler.

Man kan se at man får de største vektforskjellene hvor IPE og kvadratisk RHS blir sammenlignet. Dette er fordi ved kvadratisk RHS finnes mye av vekten i flensene som ikke vil bidra stort til motstandsmomentet i profilen om sterk akse. IPE-profilen har på den andre siden redusert flensbredde, noe som vil bidra til redusert vekt kontra en HEA/HEB profil.

Fordeler med bruk av RHS-profiler er at de er bedre i tilfeller med last i flere retninger. I en piperack-konstruksjon er dette ofte tilfellet og som regel blir RHS-profiler anvendt her.

7.2.2 Kapasitet og fremtidig modulinstallasjon

For å beskrive bruksområdene til RHS-profiler og H-profiler refereres det til en email fra en ekspert i ståldimensjonering i Aker Solutions [15]:

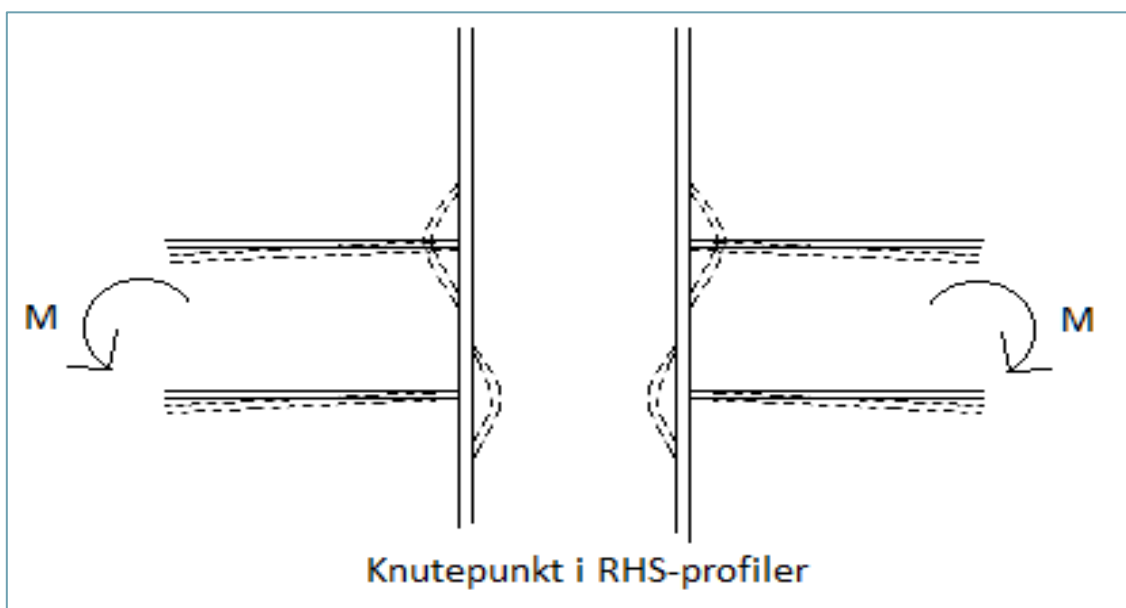
“Use of H or RHS depends on following factors:

1. Type of forces acting on the member.

- For pure axial member RHS is better than H.*
- For a member with bending on only on major axis H is preferred*
- for a member with both axis bending, RHS is preferred.*
- For member with torsion RHS is preferred*

2. Even though RHS is fabrication friendly in welded connections, it is not good for bolted connections. H is preferred for bolted connection. In offshore platforms, it will be required to do modification in due course of time and it will be easy to add things by bolted connection to an existing H section. It’s not easy to add new modification work to an existing RHS profile. During modification bolted connection is preferred. Welding involves huge cost compared to bolting offshore.”

RHS-profiler er ikke like robuste som H-profiler når det kommer til momenter om sterk akse [15]. Som tidligere ansatt i Mulitconsult avd. Sandnes har undertegnede kontaktet tidligere avdelingsleder som er ekspert innen stål og betongdimensjonering for informasjon om bruk av RHS og H-profiler. Uttalelsene hans sa at knutepunkter i RHS-profiler er et svært omtalt tema som innehar mange utfordringer. Svakheten er sammenlignet med H-profiler er momenter om sterk akse i knutepunktet. Momentene blir overført til ”flensene” i søylen som virker som plater. Eksempelet under viser at momentet i ”flensen” til bjelken hovedsakelig blir tatt opp i søylens ”flens”. Flaten vil opptre som en plate og risikoen for utbøyning er stor.



Figur 7.5: Fare for utbøyning av ”flensen” ved bruk av RHS

I vurdering av innspenningstype i ved valg av RHS-profiler i dette tilfellet vil det være vanskelig og ukritisk velge fast innspenning ved beregning av momenter i knutepunktet. For å sikre en mer konservativ design vil det være nødvendig å finne en løsning som gir et større moment i innspenningen til søylen. Dette vil øke dimensjoneringskravet og slik forsøke å forhindre utbøying i ”flensene” til søylen.

Fast innspent bjelke(1,2) – innspenningsmoment: $M_{1,2} = \frac{q \cdot L^2}{12}$

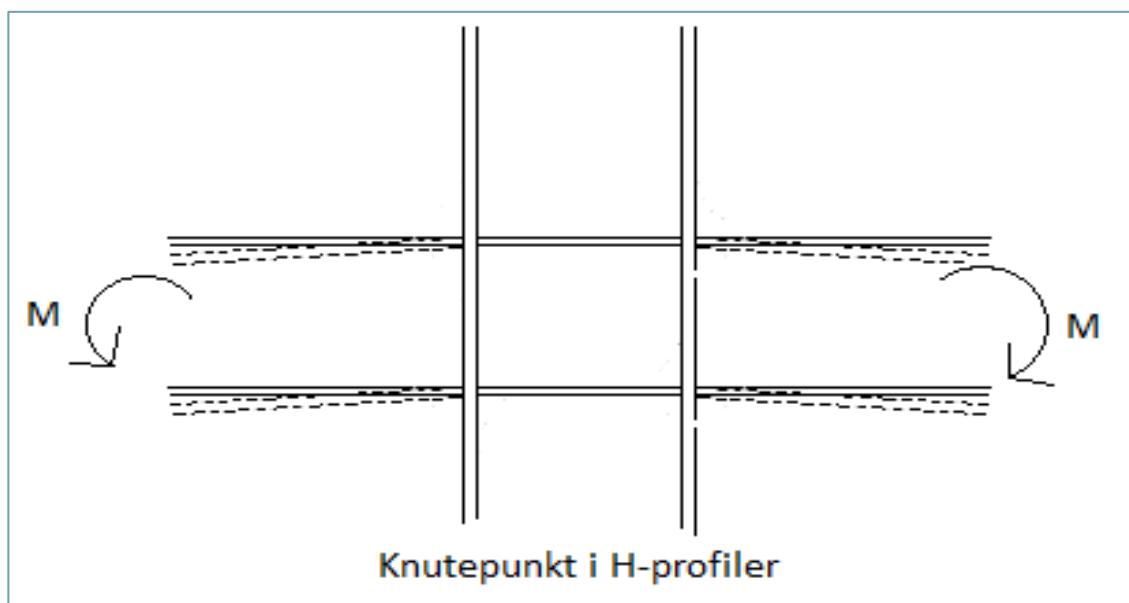
Fritt opplagt (1) fast innspent bjelke(2) – innspenningsmoment: $M_2 = \frac{q \cdot L^2}{8}$

Fritt opplagt i den ene enden og fast innspent i knutepunktet ved søylen vil øke innspenningsmomentet som vil gi større dimensjoneringskrav til søylen. Det må bemerkes at dette kun er en *observasjon* av problemet og ikke forslag til løsning. Siden temaet i seg selv kunne utgjort en hel masteroppgave kan jeg ikke påta meg å gå i dybden i denne oppgaven.

Bruken av RHS-profiler vil også bidra til vanskeligheter når man ønsker å opprettholde kontinuitet i bjelkene. Når bjelken møter en kontinuerlig søyle vil ikke kreftene bli overført til bjelken på den andre siden av søylen.

Disse omtalte problemene er viktige faktorer som bør anses som de største ulempene med bruk av RHS-profiler.

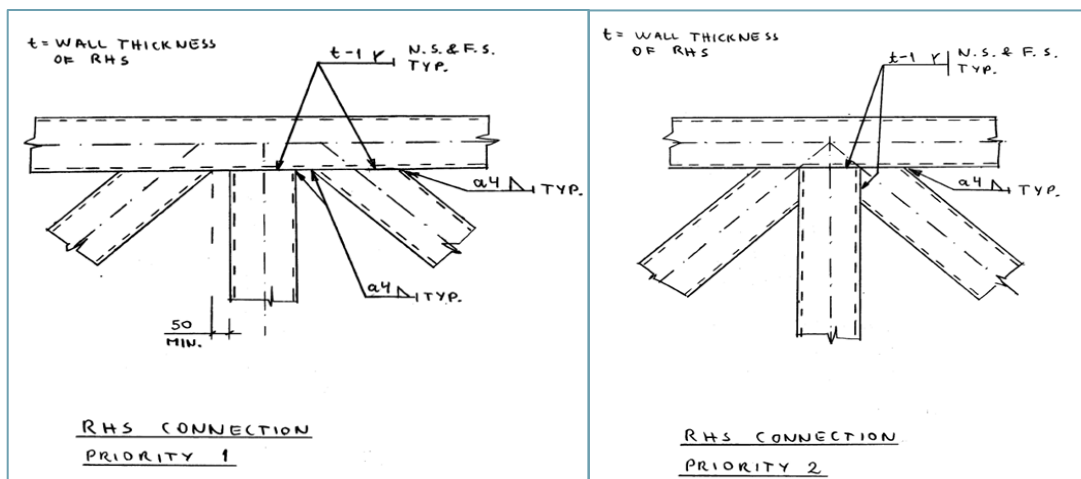
I tilsvarende tilfelle vil H-profiler kunne videreføre krefter til neste bjelke og kontinuitet er lettere å opprettholde. Utbøying er det heller ingen risiko for da avstiverplater i søylens steg vil sammen med steget selv bidra til tilstrekkelig stivhet. Under er en illustrasjon av knutepunktet i H-profiler.



Figur 7.6: Stivhet opprettholdt ved bruk av H-profiler

Med tanke på at dagens situasjon hvor nye moduler og strukturer til stadighet blir installert på eksisterende plattformer for å øke levetiden vil bruken av RHS-profiler by på kinkige problemer. Oljeselskapene ønsker å minimere mengden av sveisearbeid offshore for å ivareta sikkerheten under produksjon. Dette betyr at kaldløsninger som bolteforbindelser er den beste metoden for installasjon av nye moduler. Det er et kjent fenomen at boksprofiler ikke er gunstige med tanke på denne type koblinger, og nødvendigheten til H-profiler spiller her en stor rolle[15]. Det er med andre ord lite sannsynlig at man fullt og helt kan fjerne bruken av H-profiler i fabrikasjon av offshoremoduler.

En kobling av RHS-profiler er ikke særlig sterk sammenlignet med kapasiteten til profilene hver for seg. Knutepunktsdetaljene som er best med tanke på fabrikasjon er som regel de detaljene som er de svakeste. Eksempelet på neste viser et knutepunkt utført på to forskjellige måter. Figuren til høyre er den sterkeste da den ikke inneholder eksentrisitet, men på grunn av fabrikkasjonsvennlighet foretrekkes figuren til venstre [10].



Figur 7.7: Prioritet 1 – med eksentrisitet

Figur 7.8: Prioritet 2 – uten eksentrisitet

7.2.3 Overflatebehandling og vedlikehold

Fra tidligere kapittel har det blitt forklart at RHS-profiler er å foretrekke når det gjelder overflatebehandling. De fire avrunda kantene og flatene gjør at høytrykkssprøyte kan brukes ved malearbeid. H-profiler har åtte kanter (innvendig og utvendig) og åtte flater som ofte kan medføre bruk av rull og kost for å komme til i malearbeidet.

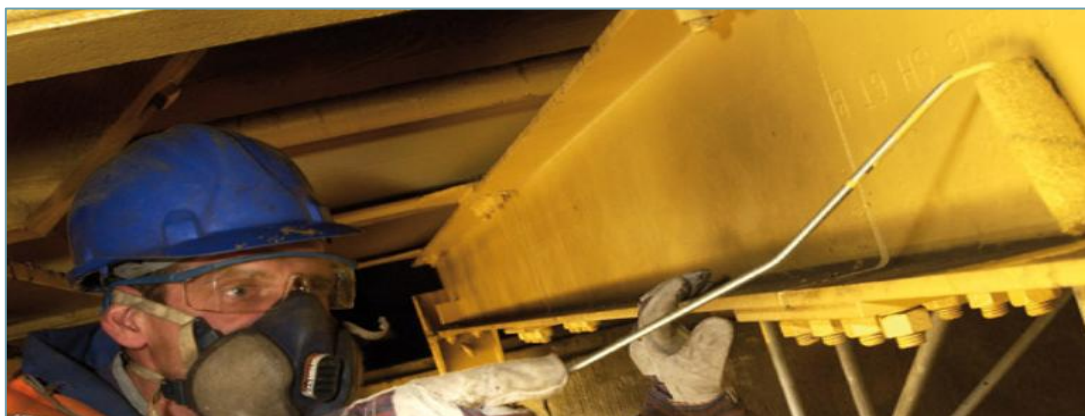


Figur 7.9: Struktur i H-profil



Figur 7.10: Struktur i RHS-profil

Ved bruk av H-profiler trengs stiverplater for å stive av bjelker, diagonaler og søyler. Stiverplater kan også bidra til økt bruk av rull og kost. Rull og kostbruk er som nevnt en påføringsmetode som øker timeforbruket. Andre fordeler med bruk av RHS-profiler og Bulb-profiler er at de ikke gir ansamlinger av blåsesand og støv (tidligere nevnt).



Figur 7.11: H-profil som må males med rulle på grunn av dårlig tilkomst

Tidligere ble det nevnt fra samtale med ansatt i BP i inspeksjonsdisiplinen, at tilstrekkelig ressurser til vedlikeholdsarbeid knyttet til maling av moduler og plattformer i en årrekke har blitt undervurdert. Vedlikeholdsbudsjettene har og er for lave, noe som understreker viktigheten med å utføre overflatearbeid av høy kvalitet i fabrikasjonen[13].

Ståldesignet har stor innflytelse på kostnadene for overflatebehandling. Dette gjelder både kostnadene på byggeverkstedet og for fremtidig vedlikehold. Dersom ressursene til vedlikeholdsarbeid allerede er for lave, bør man satse på malingsvennlig ståldesign. Dette vil sikre levetiden til plattforminstallasjoner og være med på å redusere vedlikeholdskostnader. Å spare ressurser på korrosjonsbeskyttende arbeid av moduler og plattformer anbefales ikke.



Figur 7.12: Malarbeid på krane offshore

7.2.4 Fabrikasjon og produksjonsvennlig design

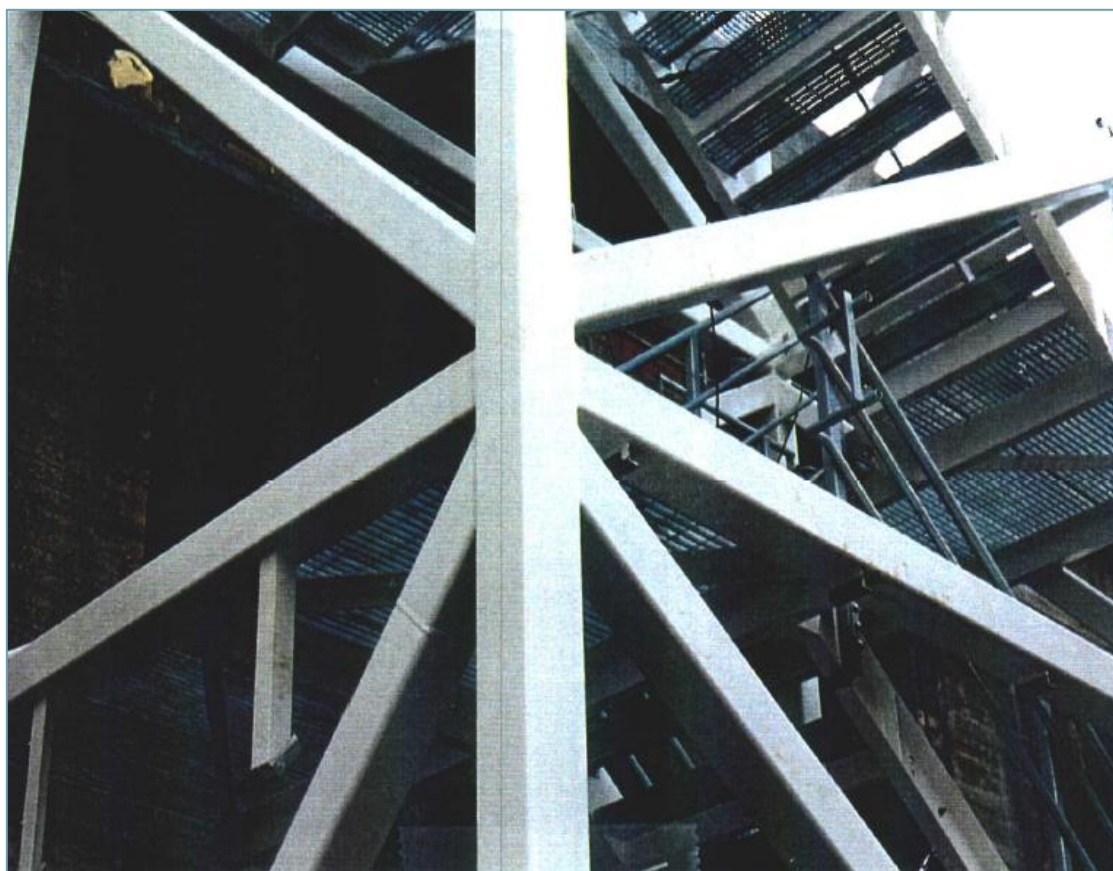
En ståldesign som tar hensyn til overflatebehandling har i mange tilfeller også en kostnadsreducerende effekt på andre disipliner som for eksempel platearbeider og sveis. Som en verkstedbedrift opplever Aker Solutions Egersund gjentatte ganger ståldesignløsninger som er lite produksjonsvennlige. Dette gjelder både for stålbearbeiding og overflatebehandling. Platearbeid er en stor del av fabrikasjonen og bør tas hensyn til i vurderingen av profilvalg.

Ekspertene ved verkstedbedriften i Egersund informerte at en generell struktur utført med RHS-profiler krever halvparten av arbeidstidene medgått til bygging av tilsvarende struktur utført med HEA/HEB-profiler. Ser man bort fra sveise- og overflatearbeid ligger disse timene i arbeid knyttet til platearbeid – kutting, tilpasning, bøying, sliping osv.

Alle skarpe kanter som skal brukes i strukturer skal avrundes med sliping. Grunnen er for å hindre dryppkanter ved maling. I tillegg er avrundede kanter lettere og Chartek-belegge. Det er her klart at man ved valg av H-profiler har et større behov for mer slipearbeid sammenlignet med RHS-profiler. RHS-profiler har fire avrundede kanter, mens H-profiler har åtte skarpe kanter som må slipes.

Knutepunkter utført med H-profiler er generelt kompliserte da flensene i tilkoblet element må støttes opp med påsveiste stiverplater. For at en H-bjelke skal sveises på en H-søyle må fire stiverplater sveises mellom flensene på søyla der flensene til bjelken treffer. Kravet til platearbeid øker drastisk da alle stiverplatene må skjæres ut fra stålplater. Før sveising må området hvor stiverne skal plasseres, slipes for å fjerne smuss og urenheter.

Geometrisk vil knutepunkter utført med RHS-profiler alltid være en ønsket løsning da hele tverrsnittet blir kuttet i én lik vinkel for å passe til motstående element. H-profiler kan være utsatt for ukompatible koblinger hvor flenser må fjernes og knutepunkt med staver i flere akser vil medføre kompliserte arbeidsoppgaver. Flere RHS-profiler kan lettere kobles sammen i et knutepunkt da alle sidene er rette og kompatibiliteten med hverandre er bra i alle retninger. Under kan ser man bilde fra Aker Kværner Rosenberg:



Figur 7.13: RHS – bra løsning for knutepunkter med flere akser

7.3 Standardisering

Aker Egersund opplever til tider at arbeidere ved utvalgte prosjekter ikke får utnyttet sin fulle arbeidskraft. Bruk av et bredt spekter av profilutvalg og dimensjoner gjør at konstruksjonsløsninger sjelden blir repetert og man må bruke lang tid på å lese tegninger før fysisk arbeid kan starte.

Aker Egersund føler at designere har en tendens til å tenke på hva som er mest robust strukturelt sett, men mangler ofte evnen til å se nytte i å repetere konstruksjonsløsninger. Designet som blir valgt i slike situasjoner krever at Aker Solutions Egersund må opprettholde et lager med mange forskjellige typer profiler. Det gjør det igjen vanskelig for innkjøpsavdelingen til å kjøpe i bulker.

Aker Egersund mener at man i større grad kan benytte flere profiler som har samme utvendige mål, for slik å kunne tilby mer standardiserte konstruksjonsløsninger. For eksempel ved bruk av RHS-profiler kan man bruke RHS200x200 som standard, og heller justere kapasiteten ved å forandre veggtykkelser.

Eksempel:

Anta at konstruktørene har valgt et knutepunkt der RHS200x200x10,0 og RHS180x180x8,0 skal kobles sammen. Ser man på motstandsmomentet (kapasiteten) til RHS180x180x8,0 sier det $W_{el.} = 293 \times 10^3 \text{ mm}^3$

For å opprettholde standardiserte konstruksjonsløsninger kan man se om det finnes en RHS med 200 mm som utvendig mål med samme eller høyere kapasitet en RHS180x180x8,0.

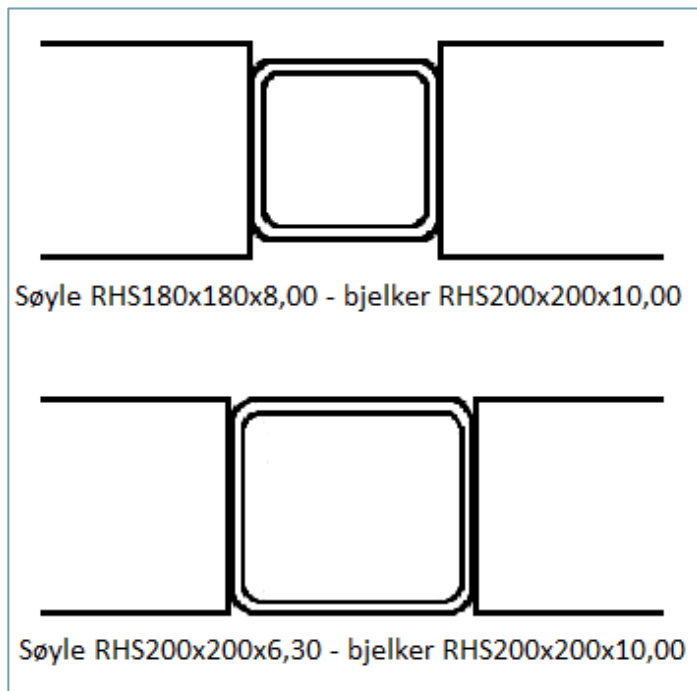
RHS200x200x6,3 gir $W_{el.} = 299 \times 10^3 \text{ mm}^3$

Ser man på egenvekten til profilet vil man ha en gevinst med å velge RHS200x200x6,30 fremfor RHS180x180x8,00 da egenvektene per meter er som følger:

- RHS180x180x8,00: 43,90 kg/m

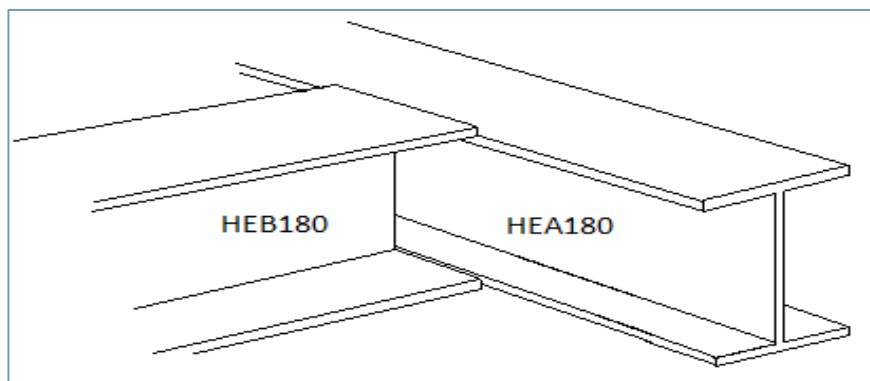
- RHS200x200x6,30: 39,00 kg/m

Ved å velge samme utvendig mål og justere veggtykkelsen har vi nå fått et profil med tilsvarende kapasitet og lavere egenvekt. I tillegg har man to profiler som har samme utvendige mål som gjør det lettere å sammenkoble elementene. Knutepunktet på neste side illustrerer fordelene med å bruke profiler med like utvendige mål (snitt i plan). Her kan man observere at knutepunkter hvor bjelker skal inn på søyle er lettere å koble sammen hvis utvendige mål er like. Tilfeller hvor løsningen byr på problemer er dersom søylen har et utvendig mål som er mindre enn bjelkenes.



Figur 7.14: Like utvendige mål kan være en fordel i noen tilfeller

Ved utførelse i H-bjelker er dette en større utfordring da veksling mellom HEA og HEB aldri vil gi samme høyde på profilene (for sammenkobling). Eksempelen under viser en sammenkobling av HEA180 og HEA180 som henholdsvis har høyder 171 mm og 180 mm. Eksempelen viser at kompatibiliteten mellom disse ikke er god.



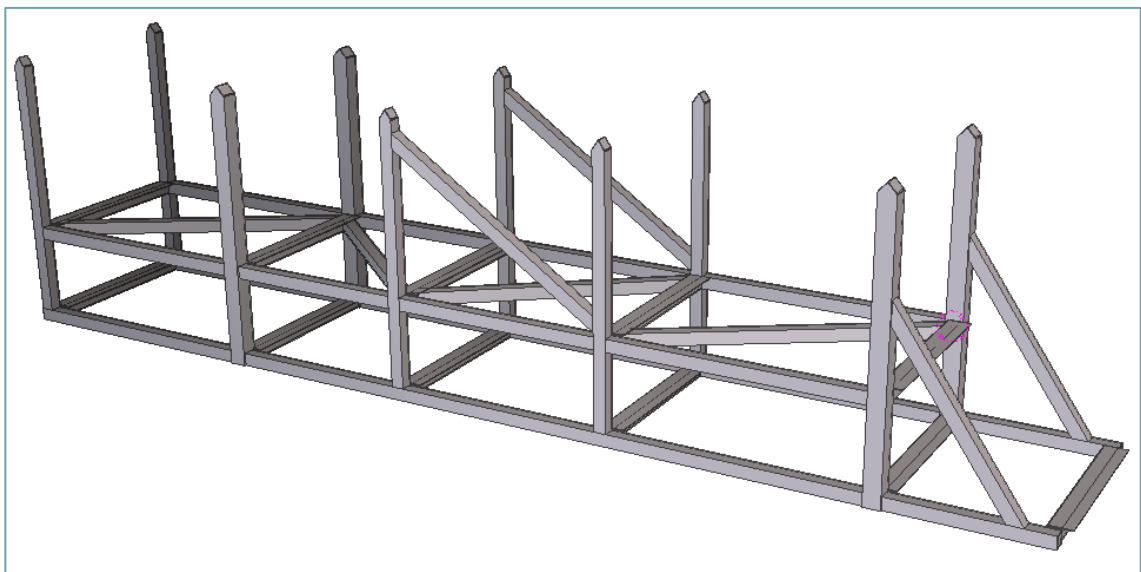
**Figur 7.15:
HEA180 og
HEB180**

I tilfeller hvor standardisering bidrar til økt kapasitet, mener Aker Egersund at det skal være lov å overdimensjonere dersom det betyr at standardløsninger kan tas i bruk. Det finnes flere eksempler på der robust (overdimensjonert) design er positivt. For eksempel kan egenlastene til utstyr og komponenter som skal plasseres på dekk bli forandret i siste sekund. Det kan være seg en pumpe eller aggregat som må oppjusteres i forhold til nye krav satt av kunden eller andre forhold. Erfaringer fra Aker Egersund viser at ved et tilfelle ble en pumpe som skulle veie 10 tonn byttes ut med en som veide 14 tonn. Når verkstedsbedriften befant seg i slutten av montasjefasen og klargjorde for transport, ville det å ha overdimensjonert bjelkelaget i dekket vist seg å ha blitt godt mottatt fra ledelsen. Dette var ikke tilfellet i denne saken.

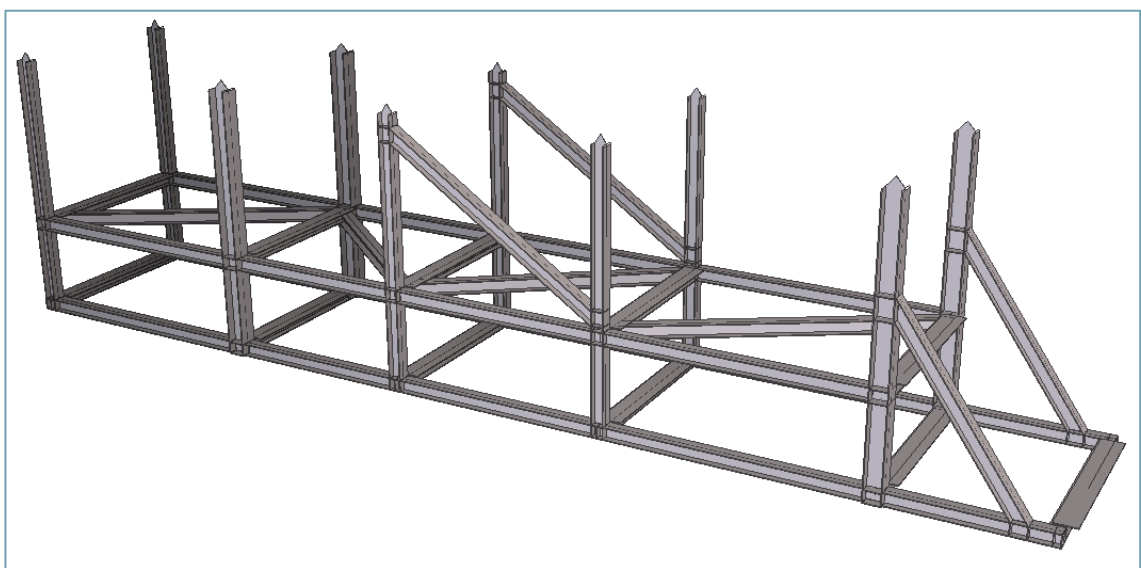
7.4 Praktisk eksempel

I denne oppgaven er temaer som sveis, overflatebehandling og profilvalg blitt omtalt. For å kunne støtte opp informasjon og meninger om temaene skal et praktisk eksempel bli brukt for å se om det er mulig å avdekke sannheter knyttet til nettopp denne informasjonen.

Fra Aker Solutions har jeg fått bruke produksjonstegninger av en piperack fra et prosjekt som de selv har hatt ansvar for. Konstruksjonen er bygget av RHS-profiler, og for å søke sannheter har jeg valgt å modellere den samme konstruksjonen i H-profiler for så å sammenligne sveiselengder, materialkostnader og overflateareal. Målet er å finne grove noen tall som kan si noe om hva som er mest økonomisk med tanke på valg av profiler. Jeg har laget to modeller (RHS og H) av piperacken i Tekla Structures 16.1.



Figur 7.16: Piperack utført i RHS-profiler (modellert i Tekla Structures 16.1)



Figur 7.17: Piperack utført i H-profiler (modellert i Tekla Structures 16.1)

7.4.0 Dimensjoner

Ser man på hovedstålet på originaltegningene hvor piperacken er utført i RHS-profiler blir to dimensjoner brukt – RHS200x200x12,5 og RHS150x150x10.

Da bare krefter om sterk akse er vurdert, vil tilnærmet likt eller større motstandsmoment være et konservativt valg ved konvertering til H-profiler.

$$\text{RHS200x200x12,50} - W = 534 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\text{RHS150x150x10,00} - W = 236 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Tilsvarende H-profiler:

$$\text{HEA 220} - W = 515 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\text{HEA 160} - W = 220 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Her ser man at man profilene har tilsvarende motstandsmoment om sterk akse. Disse kan da erstatte hverandre dersom man kun vurderer krefter om sterk akse.

7.4.1 Materialkostnader

I dette praktiske eksempelet er det valgt å ikke inkludere kostnader av maling og Chartek. Pris på overflatearbeid er tatt med for å sammenligne arbeidstimene. Resultat fra kalkulasjoner i vedlegg A viser at innkjøpskostnadene av profiler varierer mye mellom RHS og H-profiler.

Total materialkost av RHS-profilene er 79 998,47 kr

Total materialkost knyttet til H-profiler (inkludert stiverplater) er 50 790,90 kr

Generelt må det kommenteres at kostnader knyttet til kutting, sliping og tilpassing av stålmateriale ikke er tatt med i dette eksempelet.

7.4.2 Sveisekostnader

Da H-profilene har større omkrets enn RHS-profiler (profiler av tilsvarende kapasitet), viser kalkulasjoner i vedlegg A at kostnader knyttet til sveisarbeid på H-profiler er betydelig høyere enn kostnader knyttet til sveisarbeid på RHS-profiler.

Totale kostnader knyttet til sveis av piperack i RHS-profiler er 74 069 kr, mens totale kostnader knyttet til sveis av piperack utført i H-profiler (stiverplater inkl.) er 179 070 kr.

Her må det nevnes at det ikke her er tatt hensyn til at sveisehastigheten vil være noe redusert ved H-profiler da geometrien byr på flere problemer enn ved sveising av RHS-profiler. NDT-tid antas å være innbakt i prisene funnet.

7.4.3 Overflatekostnader

I vedlegg A er det foretatt beregninger av overflatearealet til piperacken i de to tilfellene (H-profiler og RHS-profiler). I tillegg er det innhentet grove tall fra overflateavdelingen som brukes her for å finne kostnader knyttet til dette området. Igjen bemerkes det at kostnader til selve malingen, Chartek og arbeid knyttet til Chartek ikke er tatt med i disse beregningene.

Totale arbeidskostnader (430 kr/time) knyttet til maling av piperack utført i

RHS-profiler er 35 680 kr.

Totale arbeidskostnader (430kr/time) knyttet til maling av piperack utført i H-profiler er 57 094 kr.

7.4.4 RHS-profiler eller H-profiler?

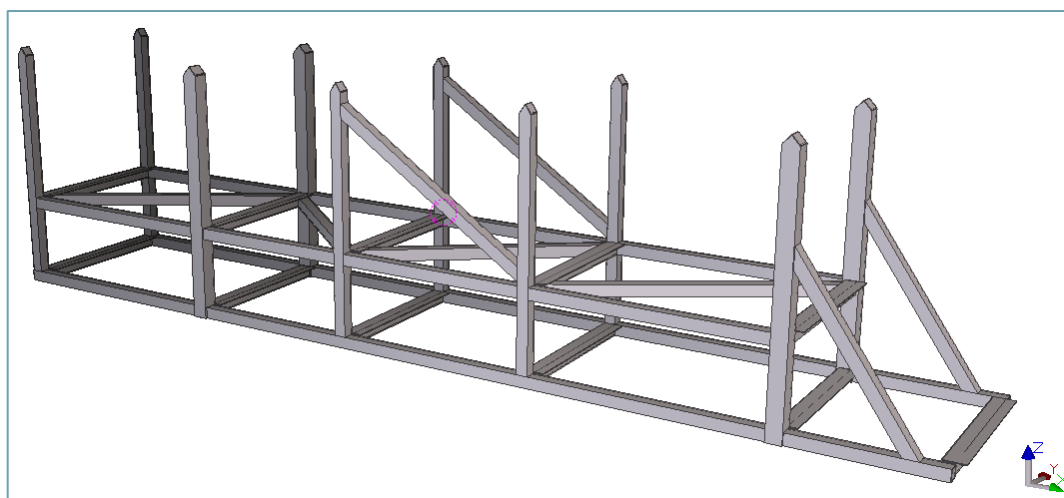
Totale kostnader av piperacken utført i H-profiler:

Materialkostnader:	50 790,90 kr
Sveisekostnader:	179 070,00 kr
Overflatebehandling:	57 094,00 kr
Totalt:	286 954,00 kr

Totale kostnader av piperacken utført i RHS-profiler:

Materialkostnader:	79 998,47 kr
Sveisekostnader:	74 069,00 kr
Overflatebehandling:	35 680,00 kr
Totalt:	189 747,47 kr

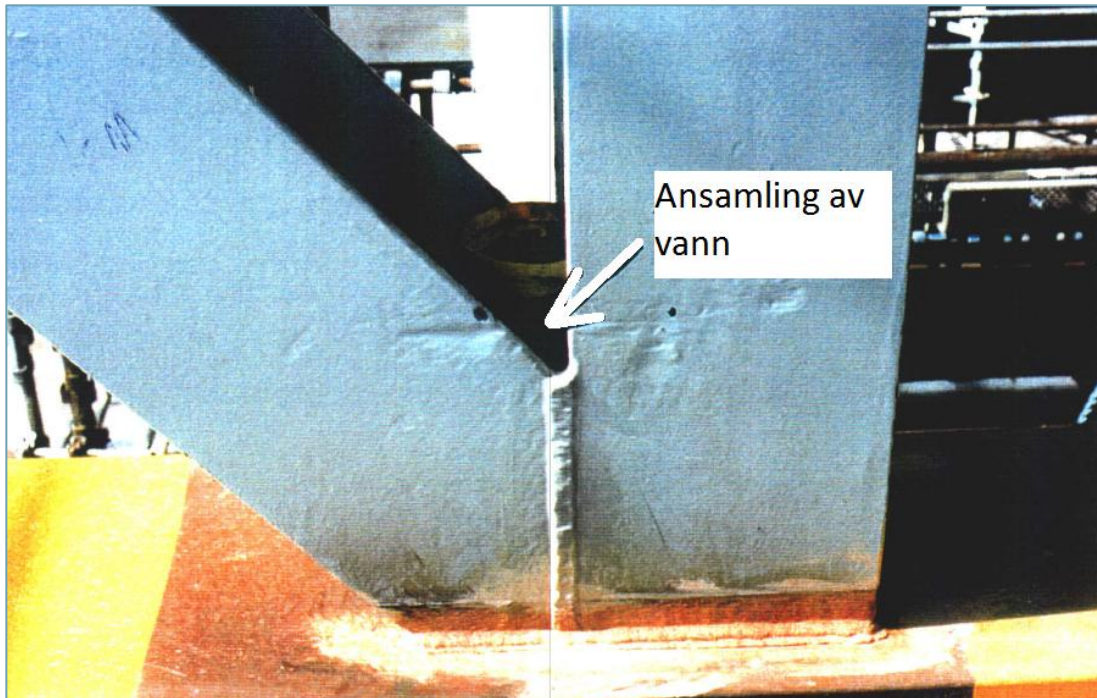
Det vil si at i dette praktiske eksempelet med de antakelser tatt koster piperacken 97 206,53 kr mer dersom utført i H-profiler. Dette utgjør 51,2 % mer enn utførelse i RHS-profiler.



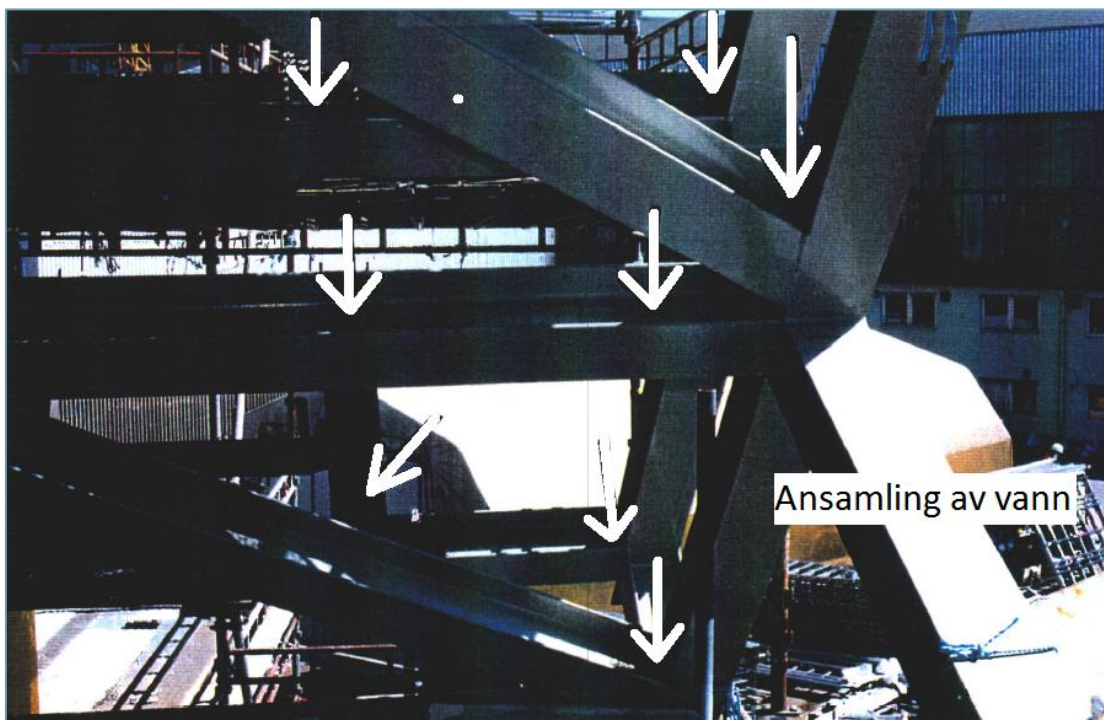
Figur 7.18: RHS-profiler utgjør lavest byggekostnader i dette eksempelet

7.5 Dårlig design

Dårlig design og konstruksjonsløsninger finnes og det er i denne oppgaven aktuelt å påpeke noen av disse for å understreke hvor lett det er å overse feller og løsninger som kan føre til unødvendige vedlikehold. I dette kapitlet vil bilder og figurer brukes for å illustrere dette. Vinkel- og bulbproblematikk er omtalt i kapittel 7.1 Vinkel- og bulbprofiler.



Figur 7.19: Fare for ansamling av vann (1)



Figur 7.20: Fare for ansamling av vann (2)



Figur 7.21: For trang konstruksjonsløsning



Figur 7.22: H-bjelker plassert for nærme hverandre

Kapittel 8 – Konklusjoner og anbefalinger

For at ståldesign skal kunne betegnes som fabrikkasjonsvennlig krever det at produksjon av moduler og strukturer blir gjort rimeligere og mer lettvinnt. Å ha sett på områder som sveis, overflatebehandling og profilvalg har man kommet frem til fordeler og ulemper med valg som blir gjort i forprosjektfasen.

Hva sveis angår har man sett at Aker ønsker å følge tre prinsipper for å redusere kostnader og ekstraarbeid:

1. Automatiser sveiseoperasjoner når det er gunstig
2. Velg fuger og sveisemetoder som gir minst mulig timeforbruk uten at kvalitetskravet blir redusert
3. Velg riktig designklasse og inspeksjonsklasse med hensyn til geometri og spenningsoppbygging

Viktig her er at konstruktøren bør alltid velge lavest mulig designklasse som vil gi redusert eller ingen krav til inspeksjon.

Med tanke på overflatebehandling ønskes det økt kvalitet på kommunikasjon mellom avdelinger for å øke nivået på preustrustning av pipe-supporter før maling av konstruksjon. Dette vil føre til redusert rettetarbeid og touch-up. Spesielt i områder hvor stål er Chartekbelagt, vil lavt nivå på preustrustning medføre omfattende rettetarbeid.

Grating er et område som overflatebehandlingsavdelingen i Egersund ønsker utført på topp bjelkelag. Nedsenket gratinger medfører fare for gnissing og riper som igjen fører til korrosjonsproblematikk.

I diskusjon om hvilke type profiler som burde anbefales er overflatebehandling et viktig tema. Konklusjoner fra denne oppgaven tilsier at i de tilfeller det lar seg gjøre bør RHS-profiler benyttes i bygging av stålmoduler/stålkonstruksjoner. I kapittel ”7.4 – Praktisk eksempel” har det vist seg at økt areal ved bruk av H-profiler medførte at kostnader knyttet til arbeidstimer alene utgjorde en økning på 60 %. I tillegg kommer ekstra materialkostnad for maling. Det må igjen nevnes at det her også antas at timebruken ved H-profiler vil økes da H-profiler har en mer utfordrende geometri (kost og rulle).

Valg av profilvalg vil i flere tilfeller fra denne oppgaven, basert på økonomi i praktisk eksempel, havne på RHS-profiler. Fordeler er redusert sveiselengde (H-profiler 242 % av RHS-profiler), overflatebehandling (reduisert areal, lettere tilkomst), standardisering, kutting og tilpassing. Ulemper med RHS-profiler er evnen til å opprettholde kontinuitet (integritet), bolteforbindelser og dyrere i innkjøp.

Hovedkonklusjon og anbefaling vil være å bruke RHS-profiler i alle typer konstruksjoner som ikke er egnet for oppkoblingspunkter for fremtidig installasjoner offshore. Økt innkjøpskostnad vil fra eksempelet (7.4) tjenes inn i reduserte fabrikkasjonskostnader.

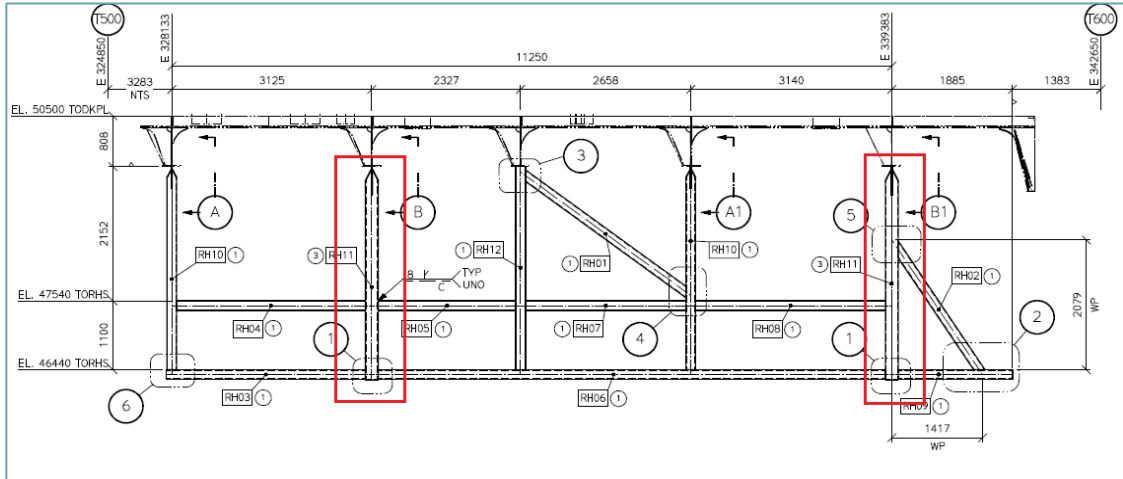
Vedlegg A

Kalkulasjoner til kapittel 7.4 – Praktisk eksempel

Lengdekalkuleringer (fra 7.4 Praktisk eksempel)

RHS200x200x12,5 og HEA 220:

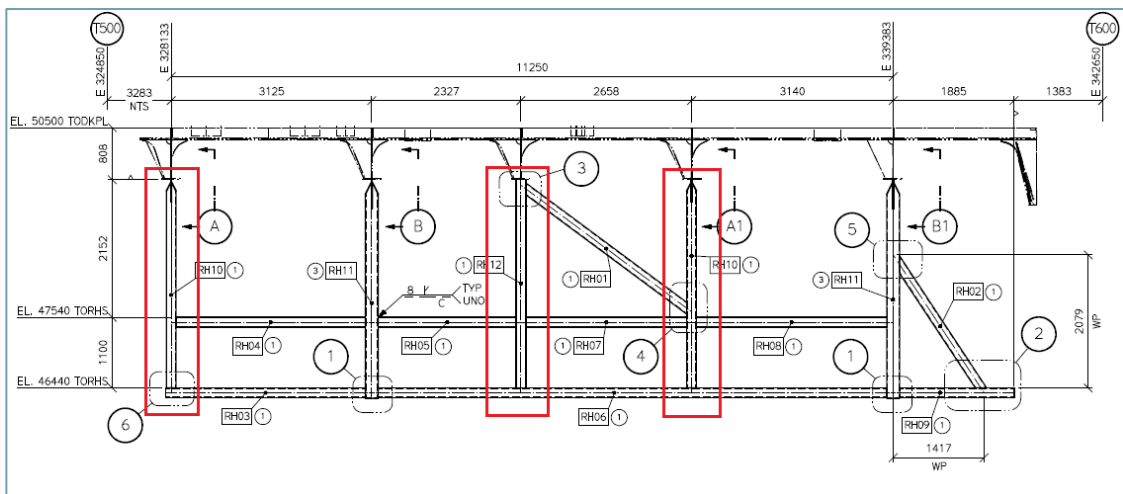
$3\ 402\ \text{mm} \times 4 = 13\ 608\ \text{mm}$



Figur A.1: Vertikale staver i RHS200x200x12,5 eller HEA220

RHS150x150x10 og HEA 160:

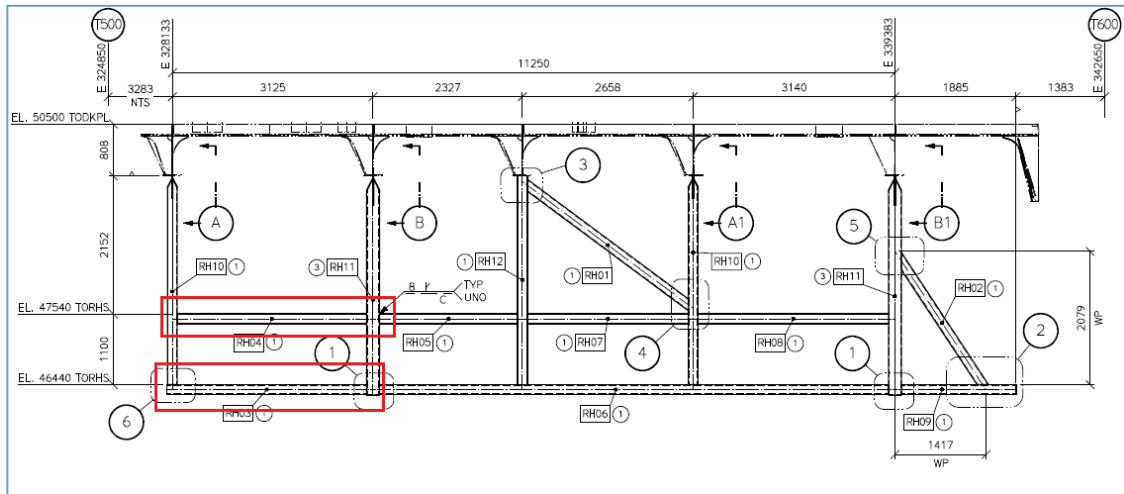
$3\ 252\ \text{mm} \times 6 = 19\ 512\ \text{mm}$



Figur A.2: Vertikale staver i RHS150x150x10 eller HEA160

3 100 mm x 2 = 6 200 mm

2 950 mm x 2 = 5 900 mm



Figur A.3: Horisontale staver i felt 1 i RHS150x150x10 eller HEA160

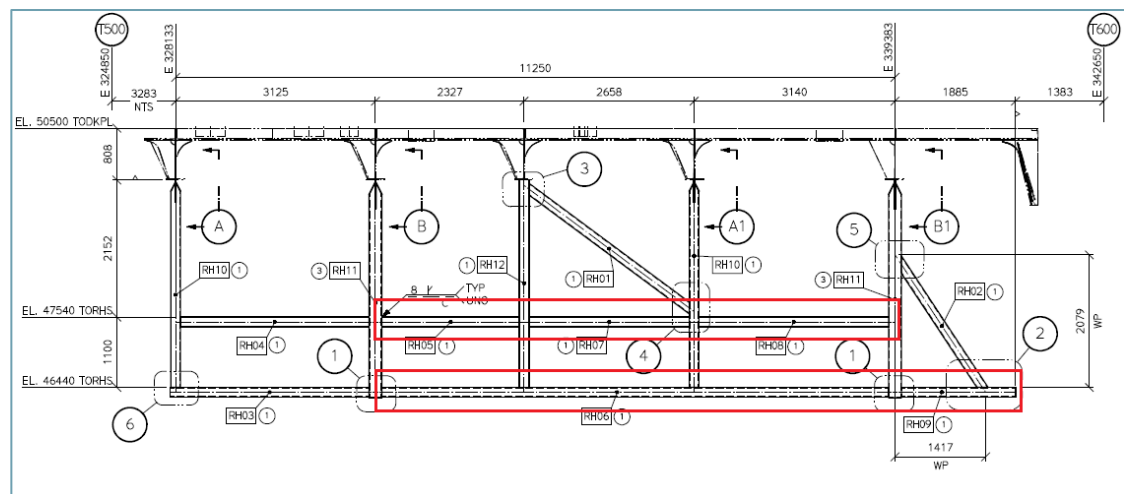
7 925 mm x 2 = 15 850 mm

2 152 mm x 2 = 4 304 mm

2 643 mm x 2 = 5 286 mm

2 965 mm x 2 = 5 930 mm

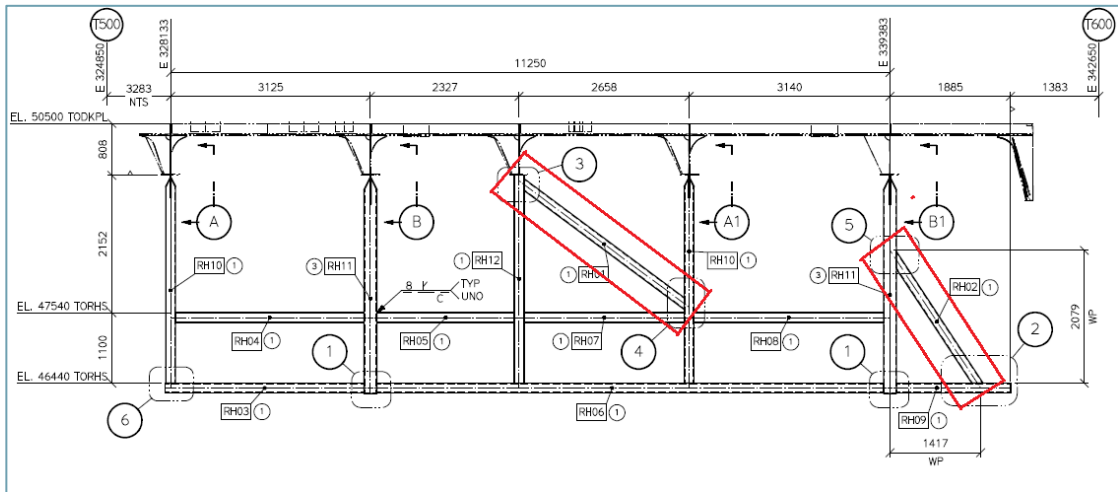
1 785 mm x 2 = 3 570 mm



Figur A.4: Horisontale staver i felt 2, 3, 4 og 5 i RHS150x150x10 eller HEA160

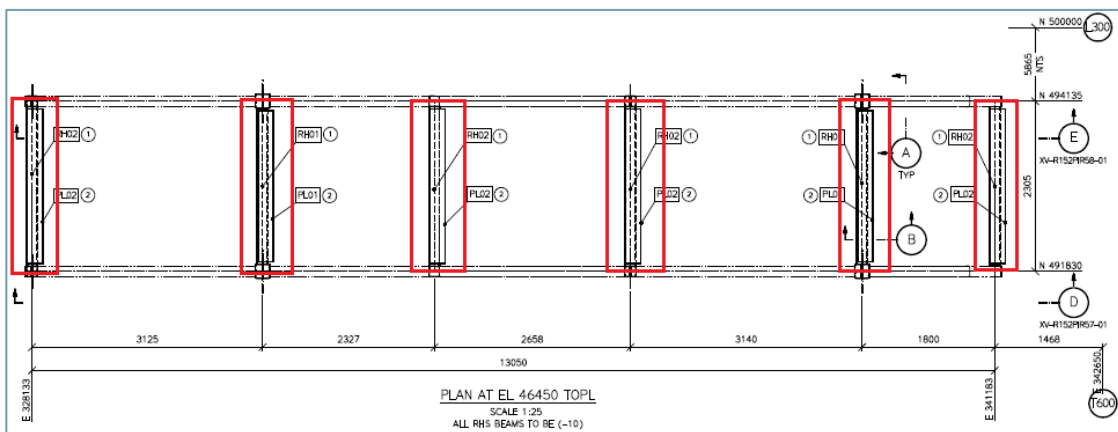
$2\ 516\ \text{mm} \times 2 = 5\ 032\ \text{mm}$

$3\ 305\ \text{mm} \times 2 = 6\ 610\ \text{mm}$



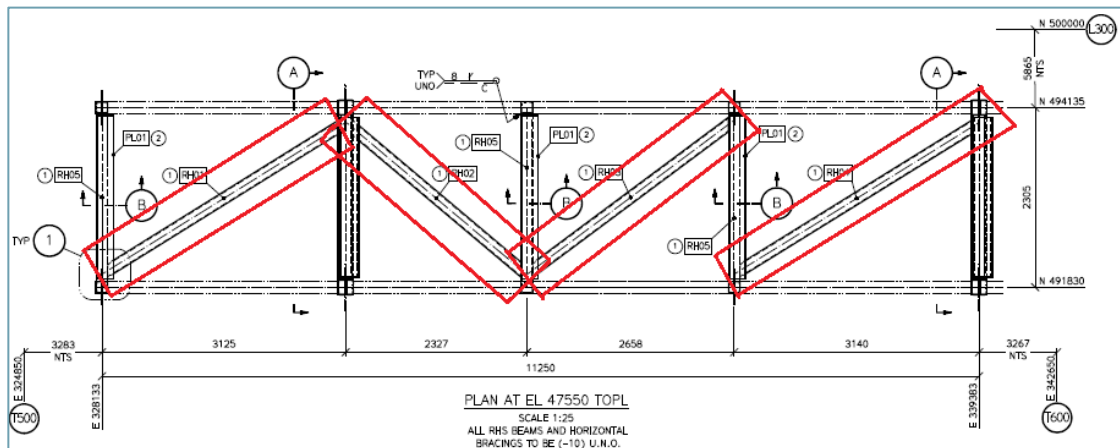
Figur A.5: Diagonale staver i RHS150x150x10 eller HEA160

$2\ 155\ \text{mm} \times 11 = 23\ 705\ \text{mm}$



Figur A.6: Horisontale staver i plan i RHS150x150x10 eller HEA160

3 796 mm
 3 172 mm
 3 422 mm
 3 808 mm



Figur A.7: Diagonale staver i plan i RHS150x150x10 eller HEA160

Totale lengder:

RHS200x200x12,5 og HEA220:

13 608 mm = 13, 61 m

RHS150x150x10 og HEA160:

19 512 mm
 + 6 200 mm
 + 5 900 mm
 + 15 850 mm
 + 4 304 mm
 + 5 286 mm
 + 5 930 mm
 + 3 570 mm
 + 5 032 mm
 + 6 610 mm
 + 23 705 mm
 + 3 796 mm
 + 3 172 mm
 + 3 422 mm
 + 3 808 mm
 = **116 097 mm = 116, 1 m**

Areal av stiverplater til H-profiler (fra 7.4 Praktisk eksempel)

Areal av en stiverplate til HEA220: $188 \text{ mm} \times 106,5 \text{ mm} = 20\,022 \text{ mm}^2 = 0,0200 \text{ m}^2$

Areal av et par stiverplater til HEA220: $0,0200 \text{ m}^2 \times 2 = 0,04 \text{ m}^2$

Areal av en stiverplate til HEA160: $134 \text{ mm} \times 77 \text{ mm} = 10\,318 \text{ mm}^2 = 0,0103 \text{ m}^2$

Areal av et par stiverplater til HEA160: $0,0103 \text{ m}^2 \times 2 = 0,0206 \text{ m}^2$

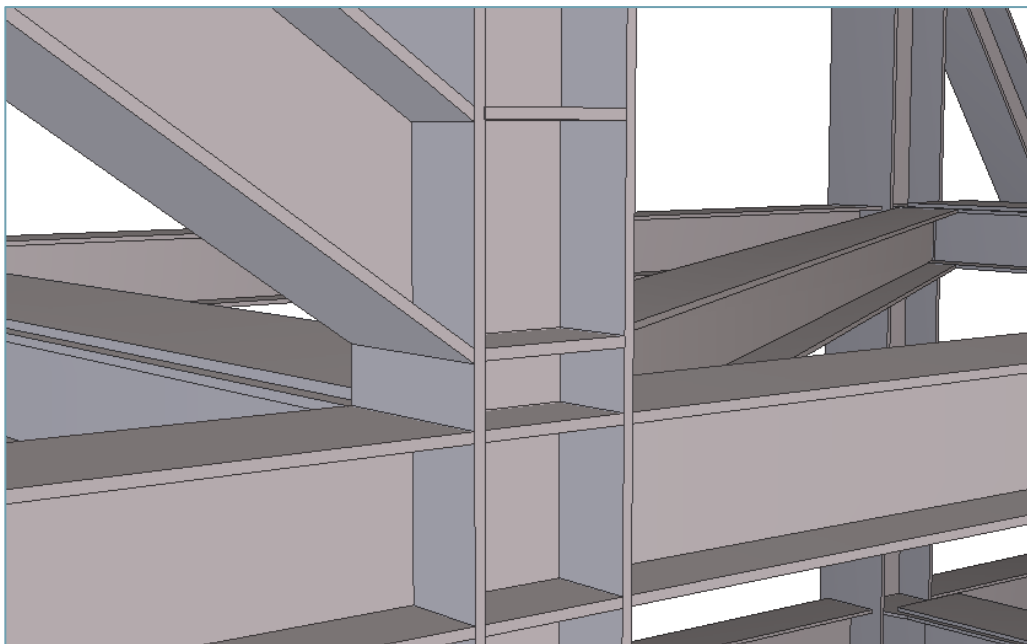
Antall par med stiverplater til HEA220: 20 stk.

Antall par med stiverplater til HEA160: 40 stk.

Totalt plateareal medgått til stiverplater:

HEA220: $20 \times 0,04 \text{ m}^2 = 0,80 \text{ m}^2$

HEA160: $40 \times 0,0206 \text{ m}^2 = 0,824 \text{ m}^2$



Figur A.8: Stiverplater til piperacken utført i H-profiler

Materialkostnader (fra 7.4 Praktisk eksempel)

Fra innkjøpsavdelingen ved Aker Egersund har pristilbud fra Norsk Stål AS blitt anskaffet. Tilbudene ligger som vedlegg.

Ved kalkulering av materialkostnader er det valgt å beregne pr. meter da rester kan brukes i andre prosjekter og kan dermed ikke regnes som økonomisk tap i prosjektet.

Pris pr. meter for RHS200x200x12,5:

$$11\,727,04 \text{ kr} / 12 \text{ m} + 450,20 \text{ kr} / 12 \text{ m} = 1\,014,77 \text{ kr/m}$$

Pris pr. meter for HEA220:

$$5\,515,28 \text{ kr} / 12 \text{ m} + 718,55 \text{ kr} / 12 \text{ m} + 756,00 \text{ kr} / 12 \text{ m} = 582,49 \text{ kr} / \text{m}$$

Pris pr. meter for RHS150x150x10:

$$6\,481,69 \text{ kr} / 12 \text{ m} + 359,37 \text{ kr} / 12 \text{ m} = 570,09 \text{ kr} / \text{m}$$

Pris pr. meter for HEA160:

$$3\,108,66 \text{ kr} / 12 \text{ m} + 519,32 \text{ kr} / 12 \text{ m} + 732,00 \text{ kr} / 12 \text{ m} = 363,33 \text{ kr} / \text{m}$$

Pris pr. kvadratmeter for 8 mm plater: $64 \text{ kg} / \text{m}^2 \times 7\,500 \text{ kr} / \text{tonn} = 480 \text{ kr} / \text{m}^2$

Pris pr. kvadratmeter for 6 mm plater: $48 \text{ kg} / \text{m}^2 \times 7\,500 \text{ kr} / \text{tonn} = 360 \text{ kr} / \text{m}^2$

Materialkostnader for piperack utført i RHS-profiler:

$$\text{RHS200x200x12,5: } 13,61 \text{ m} \times 1\,014,77 \text{ kr} / \text{m} = 13\,811,02 \text{ kr}$$

$$\text{RHS150x150x10,0: } 116,1 \text{ m} \times 570,09 \text{ kr} / \text{m} = 66\,187,45 \text{ kr}$$

$$\text{Totale materialkostnader: } 79\,998,47 \text{ kr}$$

Materialkostnader for piperacken utført i H-profiler:

$$\text{HEA220: } 13,61 \text{ m} \times 582,49 \text{ kr} / \text{m} = 7\,927,69 \text{ kr}$$

$$\text{HEA160: } 116,1 \text{ m} \times 363,33 \text{ kr} / \text{m} = 42\,182,61 \text{ kr}$$

$$\text{Stiverplater for HEA220: } 480 \text{ kr} / \text{m}^2 \times 0,80 \text{ m}^2 = 384 \text{ kr}$$

$$\text{Stiverplater for HEA160: } 360 \text{ kr} / \text{m}^2 \times 0,824 \text{ m}^2 = 296,64 \text{ kr}$$

$$\text{Totale materialkostnader: } 50\,790,90 \text{ kr}$$

Informasjon fra Aker Solutions tilsier at materialkostnader utgjør omtrent 20 % av kostnader i et generelt prosjekt.

For å finne antatt totalcost for fabrikasjon av piperacken i det praktiske eksempelet i oppgaven, brukes middelveien av materialkostnadene knyttet til begge profiltypene.

Kostnader knyttet til sveisarbeid er satt til ca. 40 % av totalcostnader i prosjektet.

$$(50\,790,90 \text{ kr} + 79\,998,47) / 2 = 65\,394,70 \text{ kr} (=20 \%)$$

$$\text{Antatt totalcost for piperack: } 65\,394,70 \text{ kr} / 20 \% = 326\,973 \text{ kr}$$

$$\text{Antatt kostnader knyttet til sveisarbeid: } 326\,973 \text{ kr} \times 40 \% = 130\,789 \text{ kr}$$

Sveiselengder (fra 7.4 Praktisk eksempel)

Omkrets av RHS200x200x12,5: $4 \times 200 \text{ mm} = 800 \text{ mm}$

Omkrets av HEA220: $2 \times 210 \text{ mm} + 2 \times 220 \text{ mm} + 2 \times 213 \text{ mm} = 1\,286 \text{ mm}$

Omkrets av RHS150x150x10: $4 \times 150 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$

Omkrets av HEA160: $2 \times 152 \text{ mm} + 2 \times 160 \text{ mm} + 2 \times 154 \text{ mm} = 932 \text{ mm}$

Omkrets av stiverplate til HEA220: $188 \text{ mm} + 2 \times 106,5 \text{ mm} = 401 \text{ mm}$

Omkrets av stiverplate HEA160: $134 \text{ mm} + 2 \times 77 \text{ mm} = 288 \text{ mm}$

Koblinger med RHS200x200x12,5 eller HEA220: 0 stk

Ortogonale koblinger med RHS150x150x10 eller HEA160: 54 stk

Diagonale koblinger med RHS150x150x10 eller HEA160 (forenklet antas 45°): 16 stk

Omkrets av diagonale koblinger med RHS150x150x10: $2 \times 212 \text{ mm} + 2 \times 150 = 724 \text{ mm}$

Omkrets av diagonale koblinger med HEA160:

$2 \times 215 + 2 \times 160 + 2 \times 154 \text{ mm} = 1\,058 \text{ mm}$

Stiverplater til HEA220: 40 stk

Stiverplater til HEA160: 80 stk

Total sveiselengde ved bruk av RHS-profiler:

Ortogonale koblinger av RHS150x150x10 gir sveiselengde: $54 \times 600 \text{ mm} = 32\,400 \text{ mm}$

Diagonale koblinger av RHS150x150x10 gir sveiselengde: $16 \times 724 \text{ mm} = 11\,584 \text{ mm}$

Total sveiselengde: 43 984 mm

Total sveiselengde ved bruk av H-profiler:

Ortogonale koblinger av HEA160 gir sveiselengde: $54 \times 932 \text{ mm} = 50\,328 \text{ mm}$

Diagonale koblinger av HEA160 gir sveiselengde: $16 \times 1\,058 \text{ mm} = 16\,928 \text{ mm}$

Stiverplater til HEA220 gir sveiselengde: $40 \times 401 \text{ mm} = 16\,040 \text{ mm}$

Stiverplater til HEA160 gir sveiselengde: $80 \times 288 \text{ mm} = 23\,040 \text{ mm}$

Total sveiselengde: 106 336 mm

Bruk av H-profiler bidrar til:

$(106\,336 / 43\,984) \times 100 \% = 242 \%$ lengre sveiselengde enn ved bruk av RHS-profiler i dette tilfellet.

For å finne pris per meter sveis vil kostnader knyttet til sveisearbeid og middelverdien av de to sveiselengdene brukes. Det antas i de 40 % av totalkostnadene som går til sveisearbeid at NDT-tid er inkludert.

$(48\,984 \text{ mm} + 106\,336 \text{ mm}) / 2 = 77\,660 \text{ mm}$

Pris per meter sveis antas å være: $130\,789 \text{ kr} / 77,66 \text{ m} = 1\,684 \text{ kr} / \text{m}$

Totalkost knyttet til sveis ved utførelse av RHS er:

$1\,684 \text{ kr} / \text{m} \times 43,984 \text{ m} = 74\,069 \text{ kr}$

Totalkost knyttet til sveis ved utførelse av H-profiler er:

$$1\,684 \text{ kr} / \text{m} \times 106,336 = 179\,070 \text{ kr}$$

$$(179\,070 / 74\,069) \times 100 \% = 242 \%$$

Overflate/Areal (fra 7.4 Praktisk eksempel)

$$\text{Omkrets av RHS200x200x12,5: } 4 \times 200 \text{ mm} = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Omkrets av HEA220: } 2 \times 210 \text{ mm} + 2 \times 220 \text{ mm} + 2 \times 213 \text{ mm} = 1\,286 \text{ mm}$$

$$\text{Omkrets av RHS150x150x10: } 4 \times 150 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Omkrets av HEA160: } 2 \times 152 \text{ mm} + 2 \times 160 \text{ mm} + 2 \times 154 \text{ mm} = 932 \text{ mm}$$

$$\text{Omkrets av stiverplate til HEA220: } 188 \text{ mm} + 2 \times 106,5 \text{ mm} = 401 \text{ mm}$$

$$\text{Omkrets av stiverplate HEA160: } 134 \text{ mm} + 2 \times 77 \text{ mm} = 288 \text{ mm}$$

Dette gir areal pr. meter dersom multiplisert med 1 m:

$$\text{Areal pr. meter RHS200x200x12,5: } 0,8 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0,8 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$\text{Areal pr. meter HEA220: } 1,286 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 1,286 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$\text{Areal pr. meter RHS150x150x10: } 0,6 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0,6 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$\text{Areal pr. meter HEA160: } 0,932 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0,932 \text{ m}^2/\text{m}$$

$$\text{Areal pr. stiverplate til HEA220: } 0,188 \text{ m} \times 0,1065 \text{ m} \times 2 = 0,04 \text{ m}^2$$

$$\text{Areal pr. stiverplate til HEA160: } 0,134 \text{ m} \times 0,077 \text{ m} \times 2 = 0,02 \text{ m}^2$$

$$\text{Areal av RHS200x200x12,5: } 0,8 \text{ m}^2/\text{m} \times 13,61 \text{ m} = 10,89 \text{ m}^2$$

$$\text{Areal av RHS150x150x10,0: } 0,6 \text{ m}^2/\text{m} \times 116,1 = 69,67 \text{ m}^2$$

$$\text{Totalt areal av piperack utført i RHS-profiler: } \underline{80,56 \text{ m}^2}$$

$$\text{Areal av HEA220: } 1,286 \text{ m}^2/\text{m} \times 13,61 \text{ m} = 17,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Areal av HEA160: } 0,932 \text{ m}^2/\text{m} \times 116,1 \text{ m} = 108,21 \text{ m}^2$$

$$\text{Areal av stiverplater til HEA220: } 0,04 \text{ m}^2 \times 40 \text{ stk} = 1,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Areal av stiverplater til HEA160: } 0,02 \text{ m}^2 \times 80 \text{ stk} = 1,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Totalt areal av piperack utført i H-profiler: } \underline{128,91 \text{ m}^2}$$

Tall fra Aker Solutions Egersund sier at pr. kvadratmeter brukes det i snitt 1,03 arbeidstimer med rate på 430 kr / time. Overflatematerial som maling er ikke tatt med i dette eksempelet da det er vanskelig å si hvor mye av strukturen som skal belegges med Chartek.

Pris på overflatebehandling ved RHS-profiler:

$$80,56 \text{ m}^2 \times 430 \text{ kr} / \text{time} \times 1,03 \text{ time} / \text{m}^2 = \underline{35\,680 \text{ kr}}$$

Pris på overflatebehandling ved H-profiler:

$$128,91 \text{ m}^2 \times 430 \text{ kr} / \text{time} \times 1,03 \text{ time} / \text{m}^2 = \underline{57\,094 \text{ kr}}$$

$$(57\,094 / 35\,680) \times 100 \% = 160 \%$$

Vedlegg B
Pristilbud fra Norsk Stål AS

STAVANGER

QUOTATION
NO.: 40021

Customer

**Aker Egersund AS
Postboks 2035**
5409 STORD

Delivery adress

**HOVLANDSVEI 160
EGERSUND**

Your ref.:

Our ref.:

Terms of delivery:

Date:

Valid to: Page

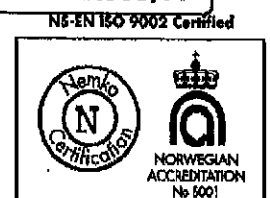
19.05.2011 25-06 1

PCS	Description	Quantity	Price	Discount%	Total
1 LGD	STEEL BEAMS HEA S355G11 +N/M				
	HEA 220 A 12000	618,00 KG	13320,00	33,00	5.515,28
	SL & PR OF STG W/MUKI Z	618,00 KG	1510,00	23,00	718,55
	SANDING	STK			756,00
	12 MTR.-NOK 582,24 MTR.				
1 LGD	STEEL BEAMS HEA S355G11 +N/M				
	HEA 160 A 12000	372,00 KG	13160,00	36,50	3.108,66
	SL & PR OF STG W/MUKI Z	372,00 KG	1813,00	23,00	519,32
	SANDING	STK			732,00
	12 MTR.-NOK 363,33 MTR.				
1 LGD	HOTF HOLLOW SECT S355NH				
	200 X 200 X 12,50 MA 12000	894,00 KG	17490,00	25,00	11.727,04
	SL & PR OF STG W/MUKI Z	894,00 KG	654,00	23,00	450,20
	12 MTR.-NOK 1014,77 MTR.				
1 LGD	HOTF HOLLOW SECT S355NH				
	150 X 150 X 10,00 MA 12000	534,00 KG	16184,00	25,00	6.481,69
	SL & PR OF STG W/MUKI Z	534,00 KG	874,00	23,00	359,37
	12 MTR.-NOK 570,09 MTR.				

 With Best Regards
Norsk Stål AS

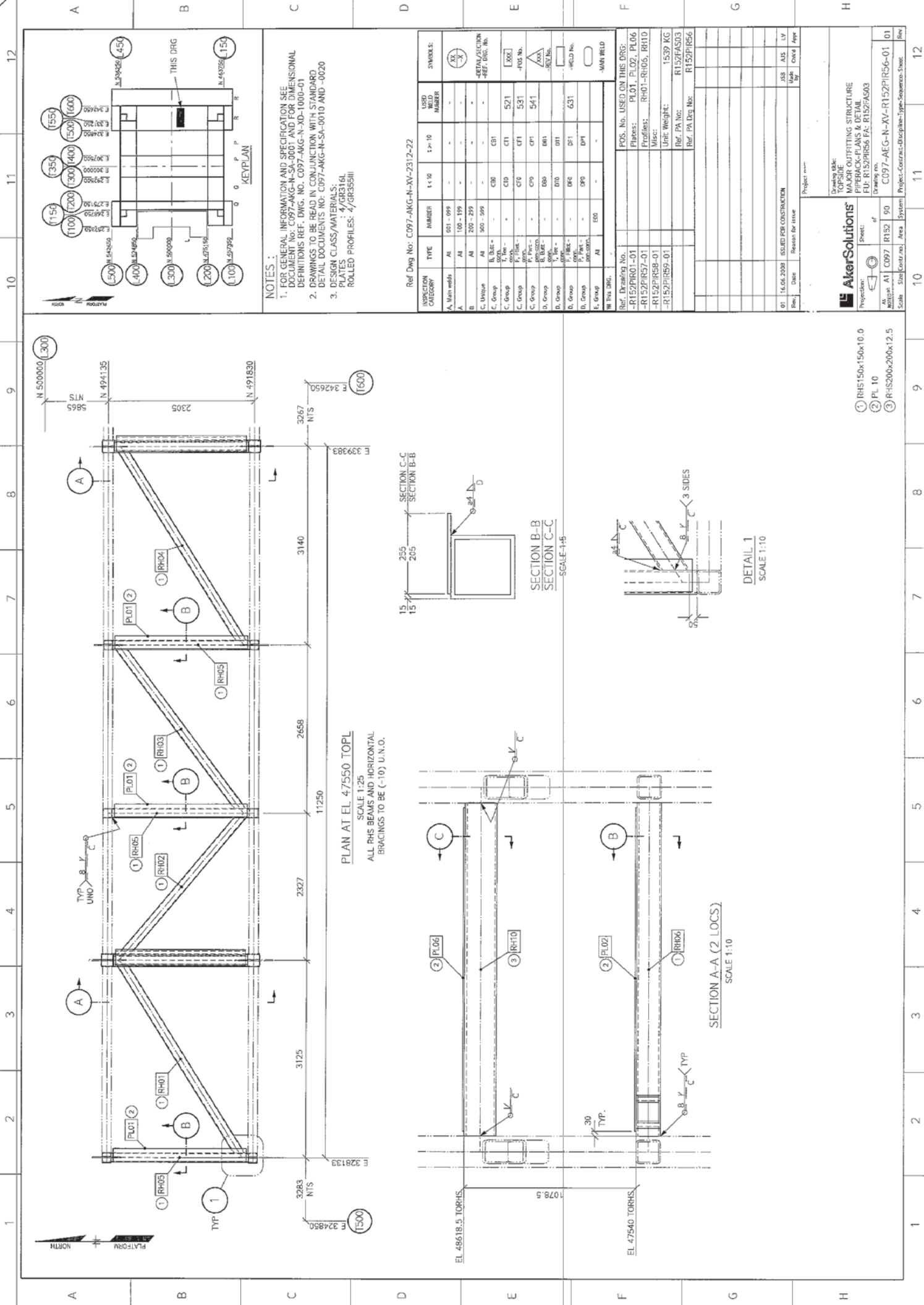
Tot excl. tax NOK 30.368,11

 Norsk Stål AS
P.B 1614, 4089 Stavanger
Adress: Stepperigt.1B
Phone: 61 68 71 60, Telefax:61 68 71 70
Bank: 8101.12.16688, Fokus bank,Oslo
Swiftadr.: DABAN022
Company nr: NO-868 489 716-MVA
www.norskstaa.no

 Norsk Stål AS keeps the right of
ownership of delivered products
until fully paid. Please refer to our terms of sale.


Vedlegg C

Produksjonstegninger og 3D-figur av piperack i kapittel 7.4 – Praktisk eksempel



NOTES :

1. FOR GENERAL INFORMATION AND SPECIFICATION SEE DOCUMENT NO: C097-AGK-N-SA-0001 AND FOR DIMENSIONAL DEFINITIONS REF. DWG. NO. C097-AGK-N-XD-1000-01
2. DRAWINGS TO BE READ IN CONJUNCTION WITH STANDARD DETAIL DOCUMENTS NO: C097-AGK-N-SA-0010 AND -0020
3. DESIGN CLASS/MATERIALS:
 PLATES : 4/GR3316
 ROLLED PROFILES: 4/GR355H11

PLAN AT EL. 47550 TOPL
 SCALE 1:25
 ALL RHS BEAMS AND HORIZONTAL BRACINGS TO BE (-10) U.N.O.

SECTION B-B
 SECTION C-C
 SCALE 1:45

SECTION A-A (2 LOCS)
 SCALE 1:10

DETAIL 1
 SCALE 1:10

Ref Dwg No: C097-AGK-N-XV-2312-22

DESCRIPTION CATEGORY	TYPE	NUMBER	1:10	1:20	1:40	1:80	1:160	1:320	1:640	1:1280	1:2560	SYMBOLS:
A. Main welds	AI	001 - 099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Weld
B. Unions	AI	100 - 199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Union
C. Group	AI	200 - 299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
D. Group	AI	300 - 399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
E. Group	AI	400 - 499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
F. Group	AI	500 - 599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
G. Group	AI	600 - 699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
H. Group	AI	700 - 799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
I. Group	AI	800 - 899	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
J. Group	AI	900 - 999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
K. Group	AI	1000 - 1099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
L. Group	AI	1100 - 1199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
M. Group	AI	1200 - 1299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
N. Group	AI	1300 - 1399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
O. Group	AI	1400 - 1499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
P. Group	AI	1500 - 1599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
Q. Group	AI	1600 - 1699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
R. Group	AI	1700 - 1799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
S. Group	AI	1800 - 1899	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
T. Group	AI	1900 - 1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
U. Group	AI	2000 - 2099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
V. Group	AI	2100 - 2199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
W. Group	AI	2200 - 2299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
X. Group	AI	2300 - 2399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
Y. Group	AI	2400 - 2499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
Z. Group	AI	2500 - 2599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AA. Group	AI	2600 - 2699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AB. Group	AI	2700 - 2799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AC. Group	AI	2800 - 2899	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AD. Group	AI	2900 - 2999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AE. Group	AI	3000 - 3099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AF. Group	AI	3100 - 3199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AG. Group	AI	3200 - 3299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AH. Group	AI	3300 - 3399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AI. Group	AI	3400 - 3499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AJ. Group	AI	3500 - 3599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AK. Group	AI	3600 - 3699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AL. Group	AI	3700 - 3799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AM. Group	AI	3800 - 3899	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AN. Group	AI	3900 - 3999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AO. Group	AI	4000 - 4099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AP. Group	AI	4100 - 4199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AQ. Group	AI	4200 - 4299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AR. Group	AI	4300 - 4399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AS. Group	AI	4400 - 4499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AT. Group	AI	4500 - 4599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AU. Group	AI	4600 - 4699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AV. Group	AI	4700 - 4799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AW. Group	AI	4800 - 4899	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AX. Group	AI	4900 - 4999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AY. Group	AI	5000 - 5099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AZ. Group	AI	5100 - 5199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BA. Group	AI	5200 - 5299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BB. Group	AI	5300 - 5399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BC. Group	AI	5400 - 5499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BD. Group	AI	5500 - 5599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BE. Group	AI	5600 - 5699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BF. Group	AI	5700 - 5799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BG. Group	AI	5800 - 5899	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BH. Group	AI	5900 - 5999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BI. Group	AI	6000 - 6099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BJ. Group	AI	6100 - 6199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BK. Group	AI	6200 - 6299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BL. Group	AI	6300 - 6399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BM. Group	AI	6400 - 6499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BN. Group	AI	6500 - 6599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BO. Group	AI	6600 - 6699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BP. Group	AI	6700 - 6799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BQ. Group	AI	6800 - 6899	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BR. Group	AI	6900 - 6999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BS. Group	AI	7000 - 7099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BT. Group	AI	7100 - 7199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BU. Group	AI	7200 - 7299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BV. Group	AI	7300 - 7399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BW. Group	AI	7400 - 7499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BX. Group	AI	7500 - 7599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BY. Group	AI	7600 - 7699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
BZ. Group	AI	7700 - 7799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CA. Group	AI	7800 - 7899	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CB. Group	AI	7900 - 7999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CC. Group	AI	8000 - 8099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CD. Group	AI	8100 - 8199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CE. Group	AI	8200 - 8299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CF. Group	AI	8300 - 8399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CG. Group	AI	8400 - 8499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CH. Group	AI	8500 - 8599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CI. Group	AI	8600 - 8699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CJ. Group	AI	8700 - 8799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CK. Group	AI	8800 - 8899	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CL. Group	AI	8900 - 8999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CM. Group	AI	9000 - 9099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CN. Group	AI	9100 - 9199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CO. Group	AI	9200 - 9299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CP. Group	AI	9300 - 9399	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CQ. Group	AI	9400 - 9499	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CR. Group	AI	9500 - 9599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CS. Group	AI	9600 - 9699	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CT. Group	AI	9700 - 9799	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CU. Group	AI	9800 - 9899	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
CV. Group	AI	9900 - 9999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Group
AWELD	AI	10000 - 10099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	AWELD

POS. No. USED ON THIS DRG:

Plates:	PL01, PL02, PL06
Profiles:	RH01-RH06, RH10
Misc:	
Unit Weight:	1539 KG
Ref. PA No:	R152P/R503
Ref. PA Dwg No:	R152P/R56

Rev.	Date	Issued For Construction	Reason for Issue
01	16.06.2008	ISSUED FOR CONSTRUCTION	

AkerSolutions

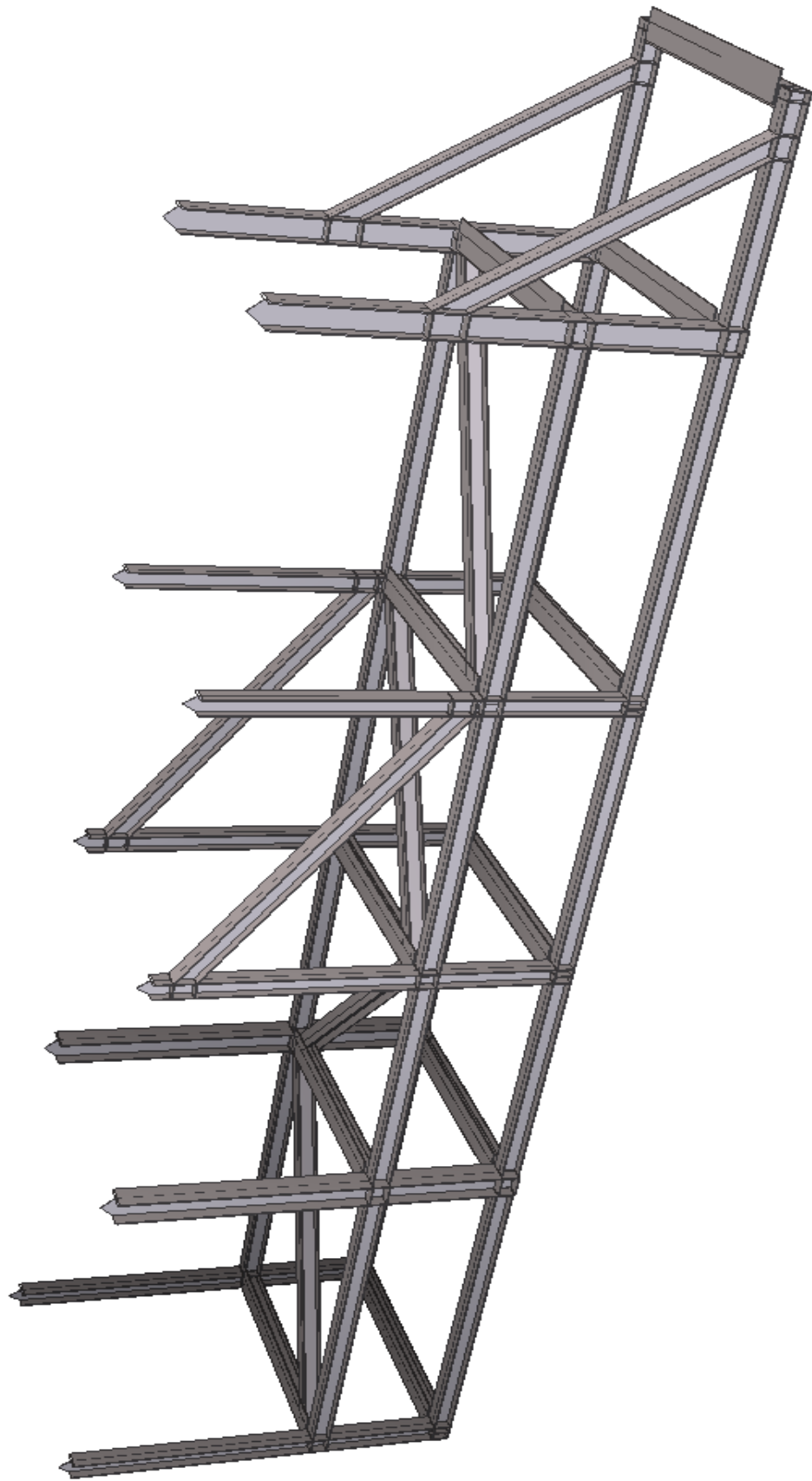
Project: **TOPSIDE MAJOR OUTFITTING STRUCTURE PIPERACK-PLANS & DETAIL**

Sheet: **R152P/R56**

Scale: **1:10**

Project-Contract-Disp-Plan-Type-Sequence-Sheet: **01**

1. RHS 150x150x10.0
2. PL 10
3. RHS 200x200x12.5



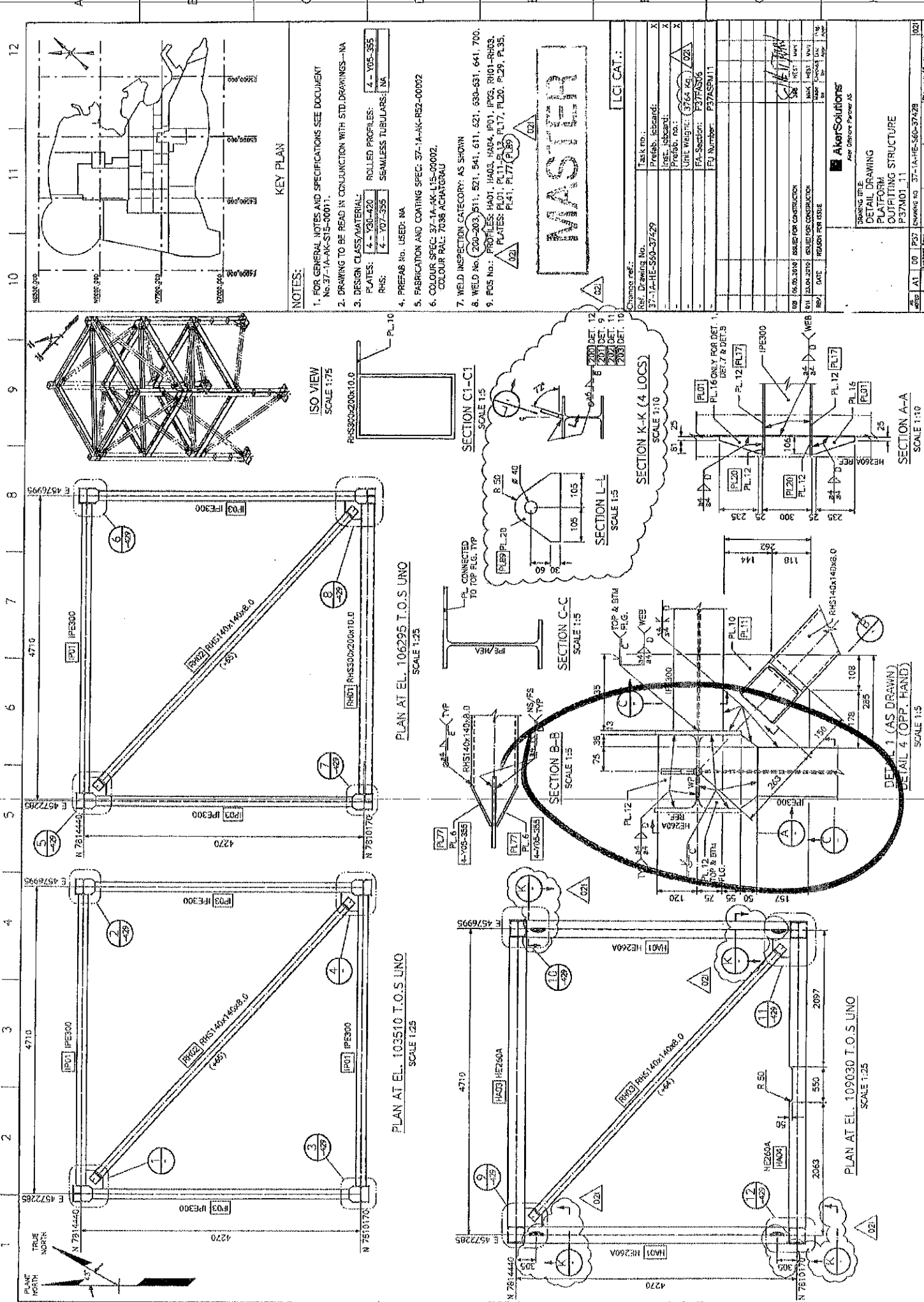
Figur C.1: Piperack modellert i H-profiler



Figur C.2: Piperack modellert i RHS-profiler

Vedlegg D

Detaljtegning for knutepunkt i H-profiler



KEY PLAN

NOTES:

1. FOR GENERAL NOTES AND SPECIFICATIONS SEE DOCUMENT No. 37-1A-AK-S15-30011.
2. DRAWING TO BE READ IN CONJUNCTION WITH STD. DRAWINGS--NA
3. DESIGN CLASS/MATERIAL:
 PLATES: 4- V30-420
 RHS: 4- 707-355
 ROLLED PROFILES: 4- V05-385
 SEAMLESS TUBULARS: NA
4. PREFAB NO. USED: NA
5. FABRICATION AND COATING SPEC: 37-1A-AK-RE2-00032
6. COLOUR SPEC: 37-1A-AK-L15-00002.
 COLOUR PALE: 7088 ACAPATAMAU
7. WELD INSPECTION CATEGORY: AS SHOWN
8. WELD No: (200-203) S11, S21, S41, G11, G21, S30-S31, G41, G700.
9. POS No.: PROFILES: HA01, HA03, HA04, IP01, IP03, RH01-RH03.
 PLATES: PL01, PL11, PL13, PL17, PL20, PL29, PL35,
 PL41, PL77 (PL35)

MASTER

Change ref.:		LCI CAT.:
Task no.:	37-1A-AK-S15-30011	
PreFab. fabricator:		
PreFab. no.:		
Unit weight:	3764 kg / 922	
PA-Section:	F37FAS06	
FU Number:	F37ASPM11	
Task no.:		
PreFab. fabricator:		
PreFab. no.:		
Unit weight:		
PA-Section:		
FU Number:		
Task no.:		
PreFab. fabricator:		
PreFab. no.:		
Unit weight:		
PA-Section:		
FU Number:		
Task no.:		
PreFab. fabricator:		
PreFab. no.:		
Unit weight:		
PA-Section:		
FU Number:		

AkerSolutions
 Aker Offshore Partner AS

DRAWING TITLE: DETAIL DRAWING
 PLATFORM: PLATFORM
 OUTFITTING STRUCTURE: OUTFITTING STRUCTURE
 P37M01_11

Scale: 1:100
 Date: 18/05/2016
 Issue: 1

PLAN AT EL. 103510 T.O.S. UNO
 SCALE 1:25

PLAN AT EL. 106295 T.O.S. UNO
 SCALE 1:25

PLAN AT EL. 109030 T.O.S. UNO
 SCALE 1:25

ISO VIEW
 SCALE 1:75

SECTION C-C
 SCALE 1:5

SECTION B-B
 SCALE 1:5

SECTION L-L
 SCALE 1:5

SECTION K-K (4 LOCS)
 SCALE 1:10

SECTION A-A
 SCALE 1:10

DETAIL 1 (AS DRAWN)
 DETAIL 4 (OPP. HAND)
 SCALE 1:5

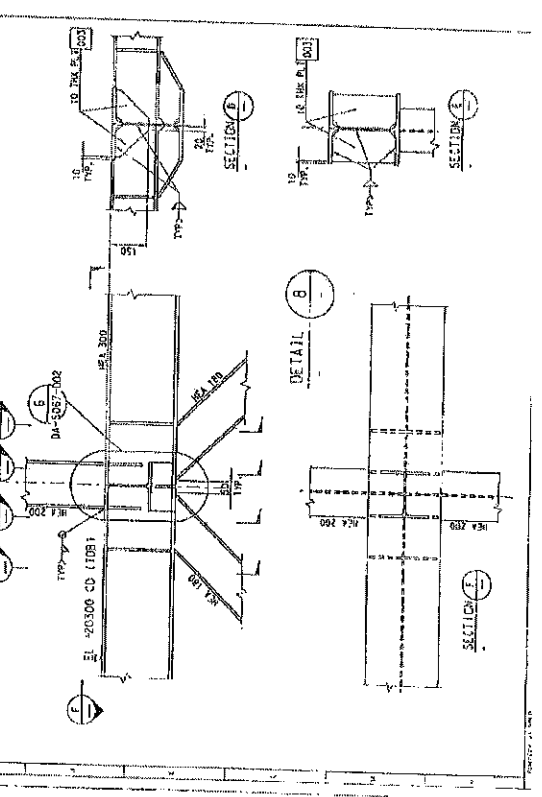
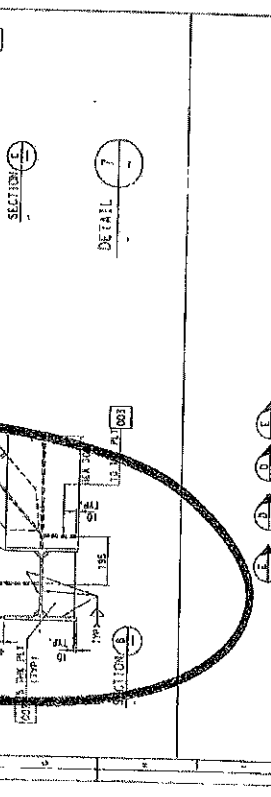
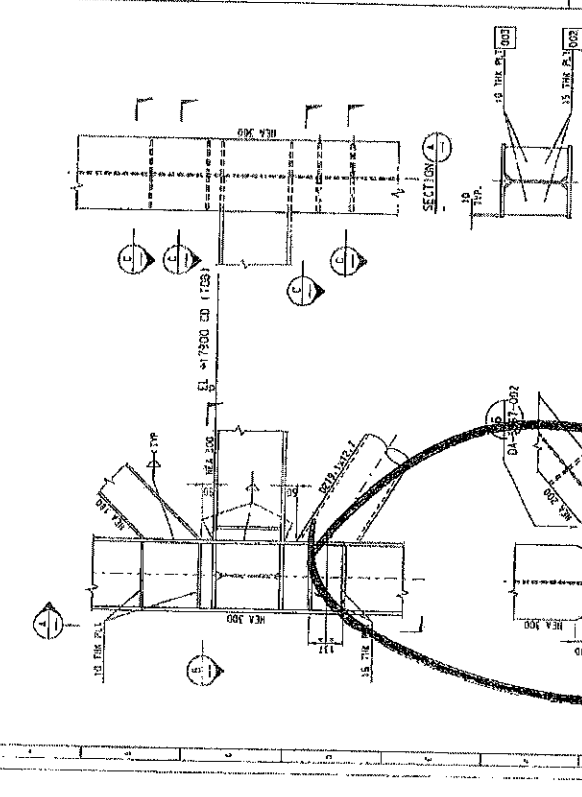
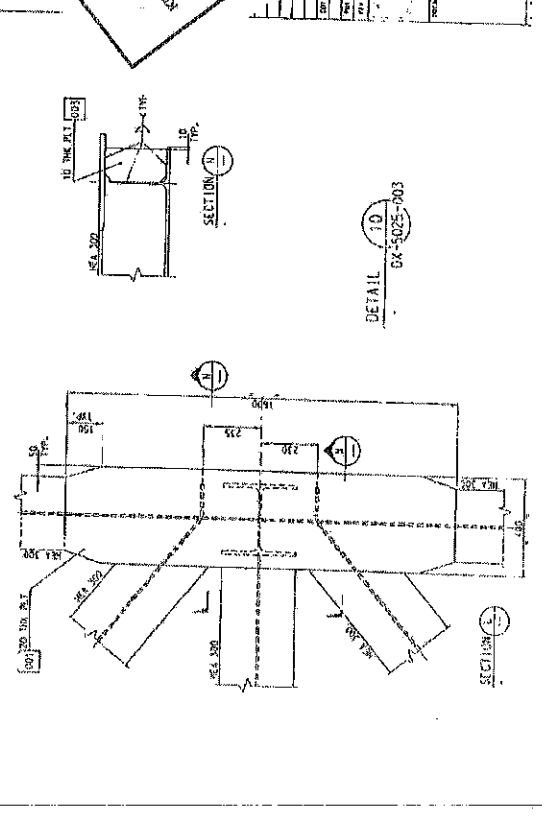
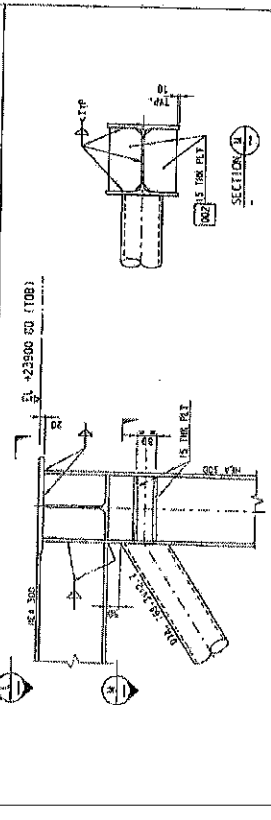
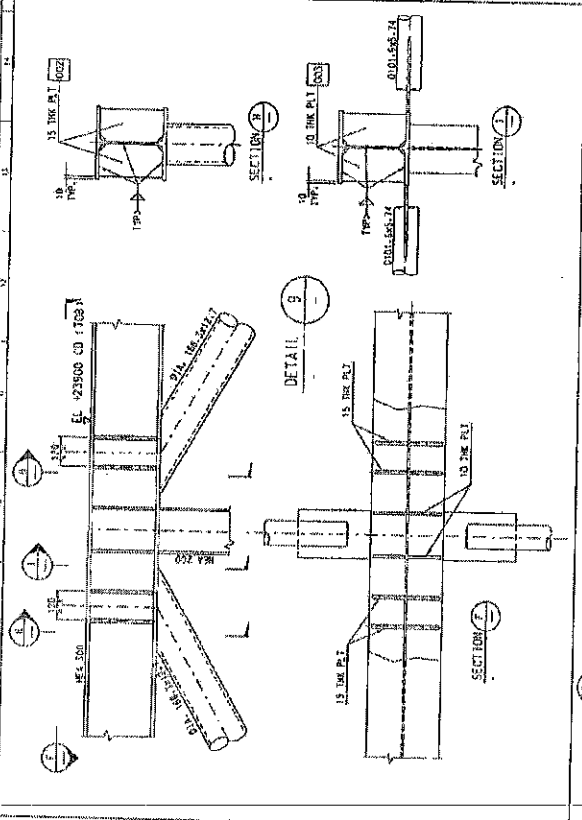
REVISIONS	DATE	BY	APP'D
1	01/15/03	J. M. [Signature]	[Signature]
2	02/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
3	03/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
4	04/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
5	05/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
6	06/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
7	07/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
8	08/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
9	09/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
10	10/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
11	11/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
12	12/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]

MASTER

KJPC and JOL are not responsible for the design of the piping system. The design is the responsibility of the client.

NO. 1000	DATE	BY	APP'D
1001	01/15/03	J. M. [Signature]	[Signature]
1002	02/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
1003	03/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
1004	04/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
1005	05/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
1006	06/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
1007	07/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
1008	08/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
1009	09/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
1010	10/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
1011	11/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]
1012	12/10/03	J. M. [Signature]	[Signature]

BARCE 6 - GAS DEHYDRATION
- PIPE RACK
JOINT DETAILS 7 TO 10



DETAIL 10
EX-5025-7003

Vedlegg E
Fremdriftsplan for masteroppgave

Fremdriftsplan for Stein Erik Olsen									
Aker Solution Egersund									
	February	March	April	May	June				
Lese/tilegne med tilgjengelig informasjon									
Bestemme temaer å skrive om									
Forberede en grov innholdsfortegnelse									
Forberede spørsmål til intervju/samtaler med Aker ansatte									
Utførelse av intervju/samtaler (informasjonsinnhenting)									
Analyserer og prosessere informasjon									
Starte skriveprosessen									
Omdirigere på rekkefølge og oppsett									
Redigere, skrive om og lese om igjen									
Ferdigstillelse									

Vedlegg F

Oversikt over samtalemøter med Akers Solutions ansatte (Egersund)

Oversikt over dag og tidspunkt for samtalemøter med Aker Solutions ansatte

Mandag 04.04:

Kl: 08:00-09:00 Tore Melhus (Prosjektleder)

Kl: 09:00-10:00 Espen Furuløkken (Maling/Brannbeskyttelse)

Kl: 10:00-11:00 Omvisning på verftet med Espen Furuløkken

Fredag 08.04:

Kl: 12:00-13:00 Tor Egil Håland (Sveiseteknisk)

Kl: 10:00-12:00 Jan Gunnar Mattingsdal (Metode)

Mandag 11.04:

Kl: 08:00-09:00 Bjarne Berntsen (Engineering Leeder)

Kl: 09:00-10:00 Ingrid Gjerdseth (Innkjøp)

KILDEHENVISNING

- [1]: http://www.regjeringen.no/upload/kilde/oed/bro/2002/0004/ddd/pdfv/152125-fakta_02.pdf
- [2]: <http://www.snl.no/Norge/petroleumsutvinning>
- [3]: <http://www.tu.no/olje-gass/article190566.ece>
- [4]: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/1999/NOU-1999-11/6/1.html?id=352695>
- [5]: <http://no.wikipedia.org/wiki/Korrosjon>
- [6]: Hentet fra et internt dokument hos Aker Solutions Egersund
- [7]: <http://www.dn.no/energi/article1971663.ece>
- [8]: http://www.nrk.no/kanal/nrk_gull/1.6542545
- [9]: Informasjon fra forelesning ved University of Western Australia i faget CIVL 3170 "Introduction to Offshore Engineering", Dr. Mehrdad Kimiaei.
- [10]: Informasjon fra Aker Solutions Egersund (power point presentasjon)
- [11]: Artikkel hentet fra bladet SVEISETEKNIKK (utgivelse ukjent)
- [12]: Informasjon fra Aker Solutions Stord (power point presentasjon)
- [13]: Tidligere ansatt som inspeksjonsansvarlig på Valhall-feltet – BP
- [14]: Informasjon fra datablad ved Rosenberg i tiden det het Aker Kværner Rosenberg
- [15]: E-mail fra ekspert i dimensjonering av stålkonstruksjoner
- [16]: Informasjon fra erfarent personell i kontraktsavdelingen hos Aker Egersund