

MEMO 507  
LØSNINGSFORSLAG IC OG  
JORDSKJELV  
PROSJEKTERING

Dato: 26.06.2011  
Siste rev.: 10.05.2016  
Dok. nr.: K4-10/507

Sign.: sa  
Sign.: sss  
Kontr.: th

## Løsningsforslag IC og jordskjelv

### 1. Grunnleggende prinsipper for dimensjoneringen.

En konstruksjons duktilitet (seighet) er et sentralt begrep i dimensjonering for jordskjelv, som defineres som følger:

*Duktilitet er evne til å deformere seg ut over elastisk grense uten å miste sin styrke eller funksjon.*

I seismiske hendelser varierer påkjenningene dynamisk, stort sett mellom like store verdier i motsatte retninger. For å beholde styrke og funksjon under et jordskjelv må tre betingelser være tilfredsstillt:

- Byggematerialet må ha tilstrekkelig deformasjonsevne.
- Konstruksjonsdelene (knutepunkter, bjelker, søyler, plater og skiver) må kunne oppta store repeterte deformasjoner, tøyninger eller krumninger.
- Bærekonstruksjonen settes sammen av de duktile konstruksjonsdelene til en deformasjonsmekanisme.

### 2. Duktilitetsklasser.

Den europeiske standarden for dimensjonering for jordskjelv [EN 1998-1:2004+NA:2008, Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning, Del 1: Allmenne regler, seismiske laster og regler for bygninger (EC8), referanse \1] definerer tre duktilitetsklasser:

- Duktilitetsklasse lav (DCL).
- Duktilitetsklasse middels (DCM).
- Duktilitetsklasse høy (DCH).

### 3. Forholdet mellom dimensjoneringen og duktilitetsklassene.

I DCL kan dimensjoneringen gjennomføres i henhold til de vanlige standardene for beregning av kapasiteter. EC8 brukes bare til å bestemme lastvirkningene fra jordskjelvet.

I DCM må det identifiseres en duktil deformasjonsmodell. Modellen eller mekanismen er normalt sikret ved å bruke en "overstyrkefaktor" for de områder i konstruksjonen hvor plastiske ledd kan gjøre

deformasjonsmodellen ustabil. Dimensjoneringsprosedyren vil føre til at lastvirkningene fra jordskjelvet blir mindre i DCM enn i DCL. EC8 har detaljerte krav til dimensjoneringsprosedyren og utførelsen på byggeplass.

Dimensjonering i DCH gjennomføres som i DCM, forskjellen er at det er strengere og mer detaljerte krav til dimensjoneringsprosedyren og utførelsen på byggeplass. DCH ansees ikke for å være aktuelt i Norge, som ligger i et lavseismisk område.

#### **4. Skadeerfaringer med prefabrikkerte betongelementbygg.**

Det er skrevet flere artikler for å dra fordel av erfaringen og konklusjonene som kan trekkes fra jordskjelv, spesielt referansene \2\, \3\, \4\ and \5\.

Konklusjon i referanse \4\ (Kobe 1995): "Flertallet av prefabrikkerte betongkonstruksjonene oppførte seg bemerkelsesverdig godt fordi de hadde bedre regularitet og høyere betongfasthet enn ordinære armerte betongkonstruksjoner."

Konklusjon i referanse \5\ (som omfatter ni forskjellige jordskjelv): "Ikke en eneste betongbygning med skjærvegger har rast sammen. Bygninger med normalt armerte skjærvegger, armerte murvegger og rammer med innmurte murvegger har kapasitet til å motstå store jordskjelv, i mange tilfelle uten alvorlige skader."

#### **5. Viktige dimensjoneringsregler basert på erfaringer med jordskjelv**

Det er mange muligheter og mange dimensjoneringsmetoder for seismisk dimensjonering av prefabrikkerte konstruksjoner. Imidlertid forteller erfaring oss at prinsippene med regularitet horisontalt og vertikalt er svært viktig. Likeledes synes det som bygninger med skjærvegger (økt stivhet) gir bedre sikkerhet mot sammenbrudd (ras) enn fleksible rammer.

Rammekonstruksjoner med stor deformasjonsevne er overrepresentert i antall sammenbrudd, spesielt bygg med såkalte "soft stories" (myke etasjer). En "soft story" er en bygning hvor stivheten av en etasje er mindre enn stivheten av øvrige etasjer. Vanligvis er dette første etasje, men ikke nødvendigvis.



Figur 1a. Eksempel på "soft story"



Figur 1b. Eksempel på "soft story" sammenbrudd

I denne kategorien finner vi også en-etasjes industribygg med utkragede søyler og leddede søyle-bjelke forbindelser. De store bevegelsene av søyletoppene krever en solid forbindelse mellom søyle og bjelke i begge retninger, men som fortsatt må tillate bevegelsene.

For ytterligere informasjon og dimensjoneringshjelp er det gitt diverse referanser i punkt 7: Noen behandler begrensninger og krav, andre diskuterer dimensjoneringsmetoder og spesielle vurderinger knyttet til prefabrikkerte konstruksjoner.

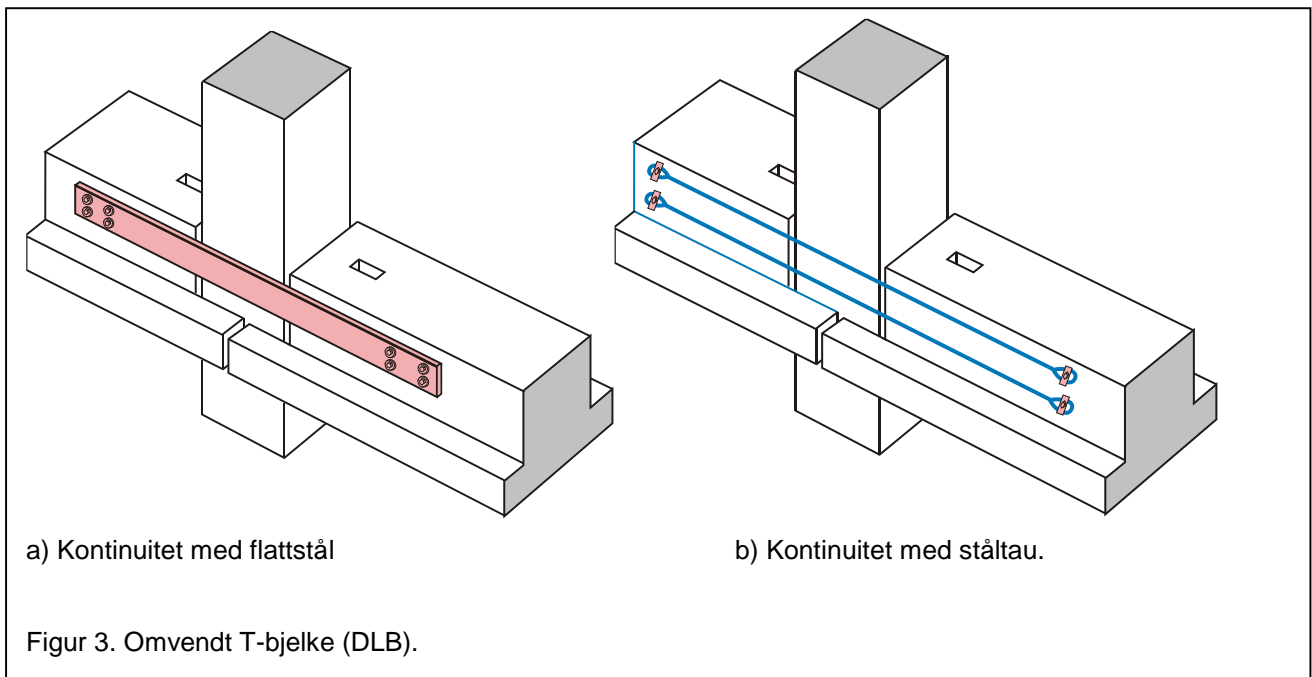
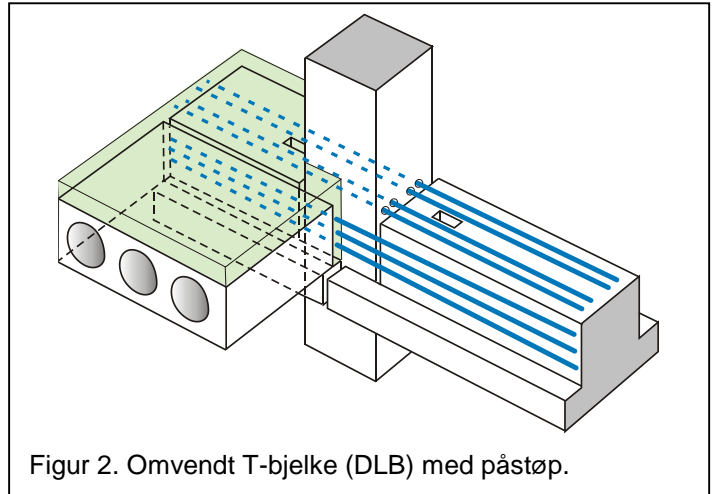
Flere referanser finnes i \14\.



Figur 1c. Eksempel på "softstory"

## 6. Eksempler på mulige løsninger med Invisible connections™

Horisontalkreftene overføres med armering oppå bjelkene og gjennom hull i søylen, og med armering i fugen mellom dekkeelementene og bjelkene. Antall, dimensjon og plassering av armeringsstengene avhenger av nødvendig kapasitet for negative momenter og størrelsen på jordskjelvkreftene.

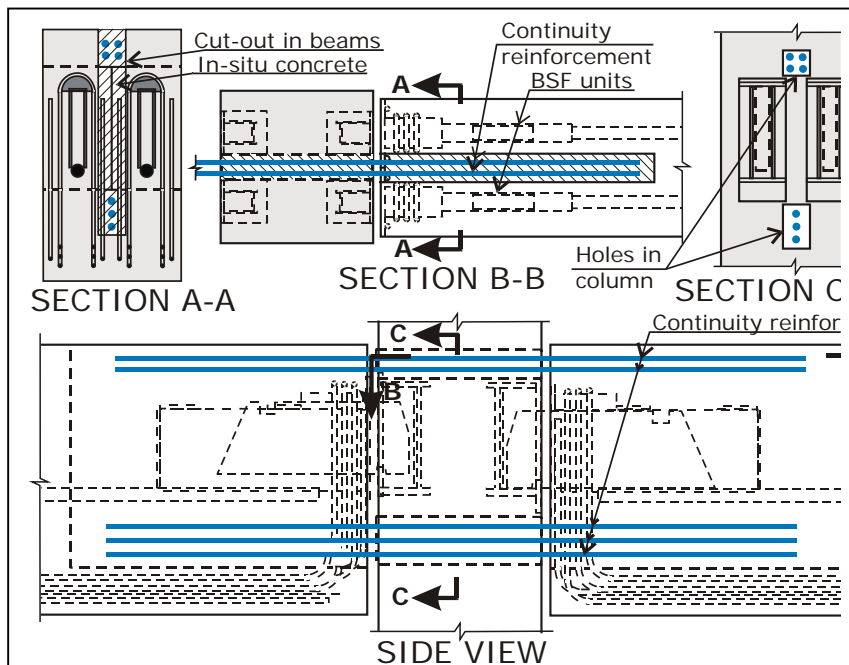


Horisontalkreftene overføres enten med flattstål eller ståltau boltet til bjelkene, i begge tilfelle skjult bak enden av dekkeelementene. Størrelsen på flattstålet og antall bolter, så vel som antall ståltau må bestemmes på grunnlag av størrelsen på jordskjelvkreftene.

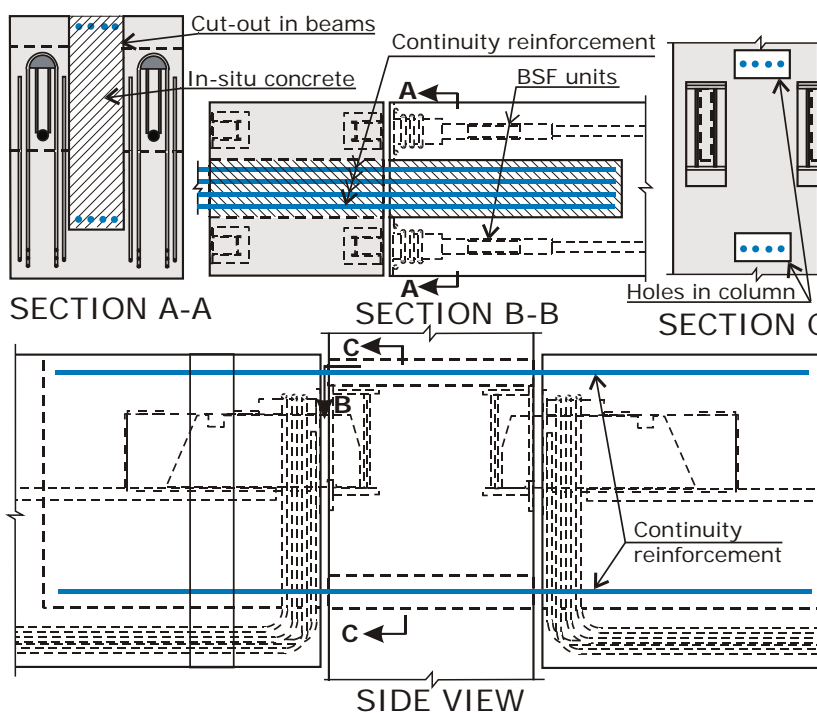
Denne løsningen passer når jordskjelvkraftene er store, og dimensjonene på bjelker og søyler er forholdsvis store.

Løsningen tillater rask montasje av elementene.

Plasstøpingen kan gjennomføres uavhengig av planlagt montasjerekkefølge.

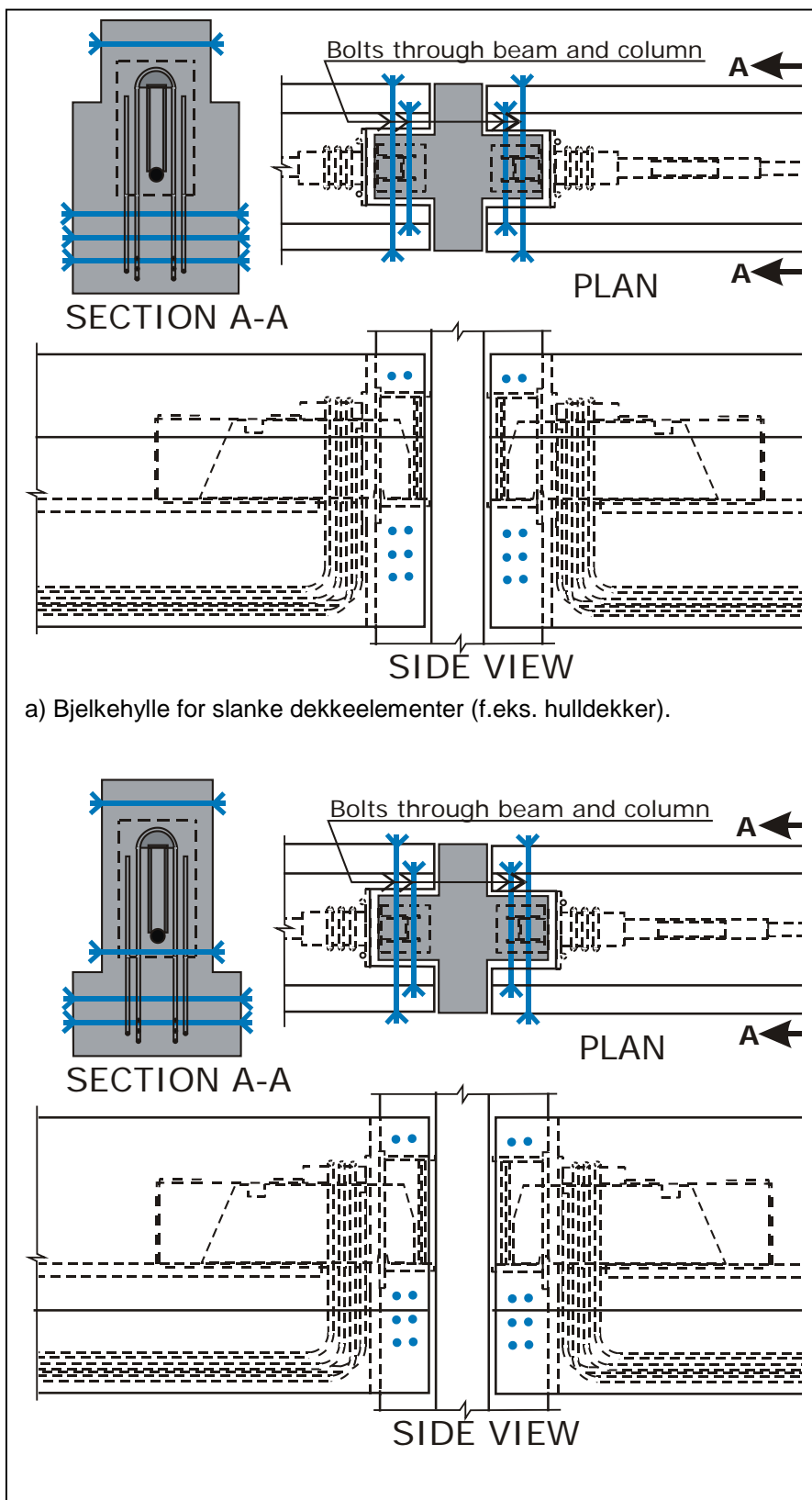


a) To BSF enheter i et forholdsvis lite bjelketverrsnitt



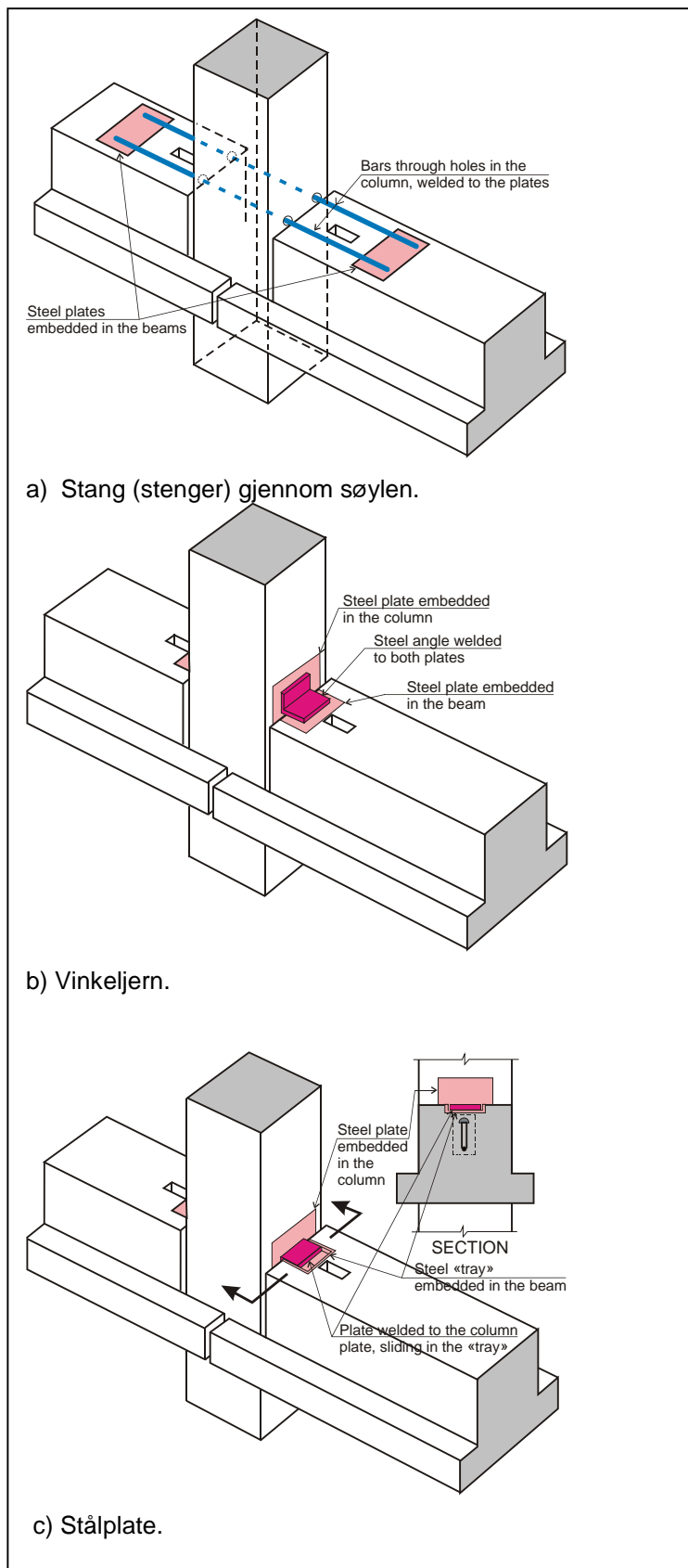
b) To BSF enheter i et større bjelketverrsnitt

Denne løsningen passer for moderate til store horisontalkrefter. Monteringen av boltene kan gjennomføres uavhengig av planlagt montasjerekkefølge.



Disse løsningene passer for relativt små jordskjelvkrefter. Bjelkene er fritt opplagte for permanente laster, og kontinuerlig for nyttelaster og jordskjelvlaster i løsning a) og b). Løsning c) er fritt opplagt også for nyttelaster. Knutepunktene har også kapasitet for torsjonsmoment og horisontalkrefter.

Forankringen av sveiseplatene og sveisestørrelser avhenger av kreftenes størrelse.



## 7. Referanser / anbefalt litteratur

Referert til i teksten:

- \1\ EN 1998-1:2004, Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (EC8).
- \2\ Menegotto, M.: Seismic Diaphragm Behavior of Untopped Hollow-Core Floors. FIP XII International Congress. 1994.
- \3\ Menegotto, M.: Precast floors under seismic actions. Proceedings 2nd International Symposium on Prefabrication. Helsinki, Finland. 2000.
- \4\ H. Muguruma, M. Nishiyama, F. Watanabe: Lessons learned from the Kobe Earthquake. PCI Journal no. 4, 1995.
- \5\ Mark Fintel. Performance of Buildings With Shear Walls in Earthquakes of the Last Thirty Years. PCI Journal no. 3, 1995.
- \14\ Betongelementboken bind H. Dimensjonering for jordskjelv. Betongelementforeningen 2011.

*Jordskjelvdimensjonering av prefabrikkerte konstruksjoner:*

- \6\ Structural connections for precast concrete buildings. fib bulletin 43. 2008.
- \7\ Menegotto M. and Monti, G.: Waved Joint for Seismic-Resistant Precast Floor Diaphragms. ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 131, No 10. 2005.
- \8\ Park, R.: Perspective in Seismic Design of Precast Concrete Structures in New Zealand. PCI Journal, May/June 1995.
- \9\ Yee, A.A.: Design considerations for Precast Prestressed Concrete Building Structures in Seismic Areas. PCI Journal May/June 1991.
- \10\ Displacement-based seismic design of reinforced concrete buildings. fib bulletin 25. 2003.
- \11\ Seismic design of precast concrete building structures. fib bulletin 27. 2003.
- \12\ Ned Cleland, S. K. Gosh: Seismic design of precast/prestressed concrete structures. PCI 2007.
- \13\ PCI Design Handbook, PCI 2004



REVISJON	
Dato:	Beskrivelse:
26.06.2011	Utgitt som memo 56.
01.10.2013	Første utgave som memo 507. Memoet er en direkte kopi av memo 56, skrevet av Sven Alexander, Illustrasjonene viser tidligere utgave av BSF enheten, men dette har ingen betydning for prinsippene.
29.11.2013	Justering av bunntekst
10.15.2016	Ny mal