Markus Nätti

Palosuojamenetelmien vertailu KAEFER Oy:ssä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

15.5.2017

Metropolia

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Markus Nätti Palosuojamenetelmien vertailu KAEFER Oy:ssä 43 sivua + 2 liitettä 15.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Konetekniikka
Ohjaajat	Osastonjohtaja Sampsa Järveläinen Lehtori Pekka Salonen

Insinöörityö tehtiin KAEFER Oy:lle. Siinä tutkittiin ja esiteltiin rakennusteollisuudessa sekä öljy- ja kaasuteollisuudessa käytettäviä määräyksiä ja standardeja sekä näille soveltuvia palosuojausratkaisuja, joita KAEFER Oy toimittaa asennettuna.

Työssä tehtiin karkeaa kustannusvertailua eri palosuojamenetelmille. Samoin selvitettiin hankintakustannuksia ja verrattiin niitä saatuihin kokonaiskustannuksiin. Lisäksi laskettiin laajenevalle epoksipalosuojapinnoitteelle tarvittavien laitteiden investointilaskuja sekä takaisinmaksuaikoja.

Työstä tehtiin myös PowerPoint -esitys, jota hyödynnetään tulevaisuudessa esiteltäessä palosuojausmenetelmiä asiakkaille. Täten asiakkaat ymmärtävät saadut hyödyt ja lähtötasot, joiden mukaan voidaan suunnitella hyvä palosuojaus. PowerPoint -esityksessä käsiteltiin mm. erilaisia palosuojamenetelmiä sekä niiden asennusta, soveltuvuutta eri käyttökohteisiin ja vastaavia kustannuksia.

Avainsanat	palosuojaus, investointi, laajeneva epoksipalosuojapinnoite

Author Title Number of Pages Date	Markus Nätti Comparison of Fire Protection Methods 43 pages + 2 appendices 15 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Specialisation option	Mechanical Engineering
Instructors	Sampsa Järveläinen, Department Director Pekka Salonen, Senior Lecturer

This Bachelor´s thesis was commissioned by KAEFER Ltd. The objective of this thesis was to examine and describe the standards and legislation used in construction, oil and gas industries and the fire protection systems for those standards supplied by the client company.

In this project, a rough cost comparison was made for different kinds of fire protection systems. In this comparison, the acquisition costs were examined and then those costs were compared to the total costs. In addition, investment costs and payback times were calculated for the equipment of epoxy intumescent coatings.

As a result, a PowerPoint presentation was also created, which will be utilized in the future when fire protection methods are introduced to customers. The target of the presentation is to clarify the benefits and requirements of different fire protection methods and suggest solutions how the best possible fire protection system can be planned. Therefore, several fire protection methods and their installation, as well as their suitability for different locations and costs are explained in this PowerPoint presentation.

Keywords	fire protection, Investment, intumescent coating

Sisällys

Lyhenteet

1 Johdanto 1

1.1 Yritys 1
1.2 Työn tausta 1
1.3 Työn tavoitteet 2

2 Määräykset ja standardit 3

2.1 Pelastuslaki 3
2.2 Maankäyttö- ja rakennuslaki 4
Rakenteiden lujuus ja vakaus 4
Paloturvallisuus 4
2.3 Eurokoodit ja ISO standardit 5
2.3.1 EN 1991-1-2 Eurokoodi 1, osat 1-2 6
2.3.2 EN 1993-1-2 Eurokoodi 3, osat 1-2 7
2.3.3 EN ISO 13702:2015 8
2.4 CE-merkintä ja ETA-hyväksyntä 10
2.5 API 2218 14

3 Rakenteiden palomitoitusmenetelmät ja mitoituspaloskenaariot 15

3.1 Standardipalo 16
3.2 Hiilivetypalo 17
3.3 Toiminnallinen palomitoitus 17
3.4 Yksinkertaiset laskentamallit 18
3.5 Kehittyneet laskentamallit 19
3.6 Kokeet 19

4 Palosuojausmenetelmät 20

4.1 Palosuojalevyt ja matot 20
4.1.1 Kivivillalevyt 21
4.1.2 Endotermiset palosuojamatot 22
4.1.3 FireMaster® 550 22
4.2 Palosuojamaalit 22

4.3 Palosuojaruiskutteet 24
4.4 Betoni 25
4.5 Tiilet 26
4.6 Laajeneva epoksipalosuojapinnoite 27

5 Kustannusvertailu 31

5.1 Hankintakustannukset 31
5.2 Asennuskustannukset 31
5.3 Kunnossapitokustannukset 32
5.4 Palosuojamateriaalien kustannukset 33

6 Laajenevan epoksipalosuojapinnoite laitteiston investointi 35

6.1 Investoinnin prosessi 35
6.2 Investoinnin kannattavuus 37

7 Yhteenveto 41

Lähteet 42

Liitteet

Liite 1. Verkon asennusohjeet

Liite 2. Investoinnin sisältävät laitteet hintoineen

Lyhenteet

CE	ransk. Conformité Européenne
hEN	Harmonised European standard
ETA	Eurooppalainen Tekninen Arviointi
SSIV	Subsea Isolation Valve
SSSV	Sub Surface Safety Valve
BOP	Blowout preventer
PFP	Passive Fire Protection
CUI	Corrosion Under Insulation
API	American Petroleum Institute
NPV	Nettonykyarvo
TMA	Takaisinmaksuaika
NCF	Net Cash Flows

1 Johdanto

1.1 Yritys

KAEFER konserni on kansainvälinen yritys, joka on erikoistunut laivanrakennukseen ja teollisuuseristämiseen. Laivanrakennuksessa KAEFER on erikoistunut sisustusalueiden kokonaistoimituksiin niin uudis- kuin korjausrakentamiskohteissakin. Teollisuuseristyksissä KAEFER toimittaa palo-, lämpö-, kylmä- sekä äänieristyksiä. Toimipisteitä konsernilla on yli 40 maassa ja se työllistää noin 25 000 työntekijää.

KAEFER Oy:n pääkonttori sijaitsee Ruskolla, tämän lisäksi yrityksellä on toimipisteet Turussa ja Porvoossa. Näiden lisäksi KAEFER Oy tekee laivanrakennusprojekteja ulkomailla. Vuonna 2015 yrityksen liikevaihto oli 26 milj. € ja yritys työllisti 62 henkilöä.

1.2 Työn tausta

KAEFER toimittaa eristystöitä ja asiakkailla on teräsrakenteita sekä laitteita, joiden palosuojaus pitäisi toteuttaa nykyaikaisia menetelmiä käyttäen, ottaen huomioon vaativat paloluokitukset ja toteutus- että kunnossapitokustannukset. Kunnossapitokustannukset ovat nousseet vanhoja menetelmiä käyttäen kohtuuttoman suuriksi.

Ongelmana on, että perinteisillä palonsuojamaaleilla ei päästä vaadittaviin ilmastorasitus- eikä paloluokkiin. Teollisuudessa eniten käytetty palosuojabetonointi ja sen tuomat korroosio-ongelmat ovat johtaneet uusien palosuojamateriaalien etsimiseen. Lisäksi villa-/peltiyhdistelmällä toteutetussa palosuojauksessa on havaittu rakenteiden ja palosuojauksen välissä korroosion aiheuttamia ongelmia, jotka nostavat kunnossapitokustannuksia huomattavasti. Myös palosuojavaatimukset ja määräykset ovat vuosien saatossa muuttuneet ja kiristyneet, mikä on yksi syy uusien palosuojamateriaalien etsimiselle.

1.3 Työn tavoitteet

Insinöörityön tavoitteena on tutkia laajenevan epoksipalosuojapinnoitteen ominaisuuksia sekä kustannuksia. Työssä perehdytään pääasiassa energiateollisuuden määräyksiin ja standardeihin, mutta käsitellään myös rakennusteollisuuden määräyksiä. Tutustutaan palomitoituksen perusteisiin ja erilaisiin palosuojamenetelmiin sekä vertaillaan niiden ominaisuuksia ja kustannuksia. Työssä lasketaan laajenevan epoksipalosuojapinnoitteen tekemiseen vaadittavien laitteiden investointikustannukset sekä takaisinmaksuajat.

2 Määräykset ja standardit

Palosuojauksia koskevia määräyksiä ja standardeja on hyvin paljon. Tässä luvussa käsitellään yleisimpiä määräyksiä ja standardeja, joita sovelletaan palosuojauksia suunniteltaessa ja toteutettaessa energia- ja rakennusteollisuudessa..

2.1 Pelastuslaki

Lain tarkoituksena on vähentää onnettomuuksia ja parantaa ihmisten turvallisuutta. Lain tavoitteena on myös onnettomuuden sattuessa, että ihmiset pelastetaan, tärkeät toiminnot turvataan ja onnettomuuden seurauksia rajoitetaan tehokkaasti. Pelastuslaki on kaikkein ylin palosuunnittelua koskeva määräys, jota muut lait ja määräykset tarkentavat. Pelastuslaissa sanotaan seuraavasti:

> **Rakennusten palo- ja poistumisturvallisuus**
>
> Rakennuksen omistajan ja haltijan sekä toiminnanharjoittajan on osaltaan huolehdittava siitä, että rakennus, rakennelma ja sen ympäristö pidetään sellaisessa kunnossa, että:
>
> - tulipalon syttymisen, tahallisen sytyttämisen sekä leviämisen vaara on vähäinen;
> - rakennuksessa olevat henkilöt pystyvät tulipalossa tai muussa äkillisessä vaaratilanteessa poistumaan rakennuksesta tai heidät voidaan pelastaa muulla tavoin;
> - pelastustoiminta on tulipalon tai muun onnettomuuden sattuessa mahdollista;
> - pelastushenkilöstön turvallisuus on otettu huomioon.
>
> Helposti syttyvää materiaalia tai muuta tavaraa ei saa säilyttää ullakolla, kellarissa, rakennuksen alla tai sen välittömässä läheisyydessä niin, että siitä aiheutuu tulipalon syttymisen tai leviämisen vaaraa tai että tulipalon sammuttaminen vaikeutuu. [1.]

2.2 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Maankäyttö- ja rakennuslaki sisältää useita säännöksiä ja vaatimuksia. Tämän insinöörityön kannalta oleellisimmat vaatimukset ovat rakenteiden lujuus ja vakaus (117 a §) sekä paloturvallisuus (117 b §). Lakia tarkentavia ja täydentäviä teknisiä määräyksiä ja ohjeita löytyy Suomen rakentamismääräyskokoelmassa, joita käsitellään kohdassa 2.4.

Rakenteiden lujuus ja vakaus

> Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan siten, että sen rakenteet ovat lujia ja vakaita, soveltuvat rakennuspaikan olosuhteisiin ja kestävät rakennuksen suunnitellun käyttöiän. Kantavien rakenteiden suunnittelun ja mitoituksen on perustuttava rakenteiden mekaniikan sääntöihin ja yleisesti hyväksyttyihin suunnitteluperusteisiin taikka luotettaviin koetuloksiin tai muihin käytettävissä oleviin tietoihin. Rakennuksen rakentamisessa on käytettävä rakenteiden lujuuden ja vakauden kannalta soveltuvia rakennustuotteita. [2.]

Paloturvallisuus

> Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan siten, että sen rakenteet ovat lujia ja vakaita, soveltuvat rakennuspaikan olosuhteisiin ja kestävät rakennuksen suunnitellun käyttöiän. Kantavien rakenteiden suunnittelun ja mitoituksen on perustuttava rakenteiden mekaniikan sääntöihin ja yleisesti hyväksyttyihin suunnitteluperusteisiin taikka luotettaviin koetuloksiin tai muihin käytettävissä oleviin tietoihin. Rakennuksen rakentamisessa on käytettävä rakenteiden lujuuden ja vakauden kannalta soveltuvia rakennustuotteita. [2.]

Käytännössä tämä tarkoittaa, että rakenteiden tulee olla riittävän kestäviä ja ne tulee suojata korroosiolta standardin SFS-EN 1090-2 + A1 mukaan. Lisäksi rakenteiden lämpötilan nousua tulee rajoittaa. Lämpötilan nousua voidaan rajoittaa eristämällä rakenteet. Eristäminen voidaan tehdä useita eri materiaaleja ja menetelmiä hyväksi käyttäen. Eristämistä käsitellään lisää luvussa 4.

2.3 Eurokoodit ja ISO standardit

Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelussa käytettäviä standardeja, ne tulivat voimaan 1.9.2014 ja täten syrjäyttivät rakentamismääräyksessä esiintyvät määräykset liittyen kantavien rakenteiden suunnittelua. Eurokoodit ovat eurooppalaisia standardeja, mutta niitä ollaan ottamassa käyttöön myös muualla maailmassa. Eurokoodien käyttö teräsrakenteiden suunnittelussa edesauttaa suomalaisia yrityksiä kasvamaan kansainvälisille markkinoille. Standardien soveltaminen edellyttää kuitenkin kansallisten liitteiden laatimista. Suomessa liitteiden laatimisesta vastaa ympäristöministeriö lukuun ottamatta siltarakenteita käsitteleviä liitteitä, joista vastaa liikenne- ja viestintäministeriö.

Eurokoodit koostuvat 9 standardista, jotka sisältävät 58 osaa. Tässä luvussa käsitellään standardeja eurokoodi 3, EN 1993-1-2 (Rakenteellinen palomitoitus)- sekä eurokoodi 1, EN 1991-1-2 (Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset).

2.3.1 EN 1991-1-2 Eurokoodi 1, osat 1-2

Standardin osassa EN 1991-1-2 esitetään palolle altistettujen rakennusten rakennesuunnittelua varten lämpörasitukset ja mekaaniset kuormat. Standardi on tarkoitettu pääasiassa tilaajille, suunnittelijoille, urakoitsijoille ja viranomaisille. Standardissa sanotaan seuraavasti:

- Standardin sisältyvät menetelmät soveltuvat rakennuksiin, joihin vaikuttaa rakennuksen ja sen käyttötavan mukainen palokuorma. [3.]

- Standardissa käsitellään palolle altistettuihin rakenteisiin kohdistuvia lämpörasituksia ja mekaanisia kuormia. Tämä osa on tarkoitettu käytettäväksi yhdessä standardien prEN 1992...prEN 1996 ja prEN 1999 palomitoitusosien kanssa, joissa esitetään rakenteiden palonkestävyyden mitoitussäännöt. [3.]

- Standardiin sisältyvät nimellispaloon liittyvät lämpörasitukset ja fysikaalisiin parametreihin perustuvat lämpörasitukset. Liitteissä esitetään lisää lämpörasituksia koskevia fysikaalisiin parametreihin perustuvia tietoja ja malleja. [3.]

- Standardissa esitetään lämpörasituksiin ja mekaanisiin kuormiin liittyvät yleiset periaatteet ja soveltamissäännöt, joita käytetään standardien EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 ja EN 1991-1-4 yhteydessä.[3.]

- Tässä asiakirjassa ei käsitellä palon jälkeen suoritettavaa rakenteen vaurioiden arviointia.

2.3.2 EN 1993-1-2 Eurokoodi 3, osat 1-2

Standardissa EN 1993-1-2 käsitellään teräsrakenteiden palomitoitusta. Siinä esitetään periaatteita, vaatimuksia ja sääntöjä, jotka koskevat palolle altistettujen teräsrakennusten rakennesuunnittelua. Standardissa sanotaan seuraavasti:

- Standardi EN 1993-1-2 koskee teräsrakenteiden suunnittelua tulipalosta aiheutuvassa onnettomuustilanteessa ja sitä käytetään yhdessä standardien EN 1993-1-1 ja EN 1991-1-2 kanssa. Standardissa EN 1993-1-2 esitetään vain erot tai lisäykset verrattuna normaalilämpötilamitoitukseen. [4.]

- Standardissa EN 1993-1-2 käsitellään vain palosuojauksen passiivisia menetelmiä. [4.]

- Standardi EN 1993-1-2 koskee teräsrakenteita, joille asetetaan kantavuutta koskeva vaatimus palotilanteessa rakenteen ennenaikaisen sortumisen välttämiseksi. HUOM. Standardi EN 1993-1-2 ei sisällä osastoivia rakennusosia koskevia sääntöjä. [4.]

- Standardissa EN 1993-1-2 esitetään periaatesääntöjä ja soveltamissääntöjä rakenteiden suunnittelemiseksi määritettyjen vaatimusten suhteen, jotka koskevat kuorman kantokykyä ja toimivuustasoja. [4.]

- Standardi EN 1993-1-2 koskee rakenteita tai osarakenteita, jotka kuuluvat standardin EN 1993-1 soveltamisalan piiriin ja jotka suunnitellaan sen mukaan. [4.]

- Esitettävät menetelmät soveltuvat standardin EN 10025 mukaisille teräslajeille S235, S275, S355, S420 ja S460 sekä standardien EN 10210 ja EN 10219 mukaisille kaikille teräslajeille. [4.]

- Esitettävät menetelmät soveltuvat myös kylmämuovattuihin sauvoihin ja muotolevyihin standardin EN 1993-1-3 soveltamisalan puitteissa. [4.]

- Esitettävät menetelmät soveltuvat kaikille teräslajeille, joille eurooppalaiseen yhdenmukaistettuun standardiin perustuvat materiaaliominaisuudet korkeissa lämpötiloissa ovat käytettävissä. [4.]

- Esitettävät menetelmät soveltuvat myös ruostumattomasta teräksestä tehtyihin sauvoihin ja muotolevyihin standardin EN 1993-1-4 soveltamisalan puitteissa. [4.]

HUOM. Betoni-teräs-liittorakenteiden palonkestävyys, ks. standardi EN 1994-1-2.

2.3.3 EN ISO 13702:2015

Tässä kansainvälisessä standardissa on määritelty ohjeet ja toiminnalliset vaatimukset koskien tulipalojen ja räjähdysten hallintaa ja torjuntaa. ISO 13702:2015- standardi soveltuu:

- kiinteisiin offshore-rakenteisiin
- kelluviin tuotanto-, varastointi- ja purkausjärjestelmiin
- öljy- ja kaasuteollisuuteen.

Tämän standardin soveltaminen liikuteltaviin offshore-yksiköihin ja vedenalaisiin asennuksiin ei ole suotavaa, vaikka standardia voidaankin käyttää perusohjeena edellä mainittuihin. Standardissa käytettävät menetelmäsuositukset vaihtelevat laitostyyppien, prosessin, miehitystason ja ympäristöolosuhteiden mukaan.

Tämän insinöörityön kannalta oleellisimmat asiat tässä standardissa koskevat passiivisia palosuojauksia. Passiivisten palosuojausten tehtävänä on

- estää palon leviäminen ja erottaa eri palo alueita
- suojata kriittiset laitteet ja niiden kannakkeet ja tukijalat
- suojata tärkeitä turvajärjestelmiä, joita tarvitaan palon sattuessa, esim. palovesipumput, venttiilit, toimilaitteet ja näihin kuuluvat kriittiset kaapelit
- suojata kriittiset rakenneosat sekä laitteet ja välttää näiden romahtaminen evakuointi ja pakoreiteille.

Standardin mukaan passiivisen palosuojauksen on annettava suojaa myös räjähdyksen jälkeen, joten se on suunniteltava ja asennettava siten, että räjähdyksen aiheuttamat muodonmuutokset eivät vaikuta haitallisesti sen suorituskykyyn.

Taulukossa 2 on standardissa esitetyt palonkestovaatimukset, joita voidaan käyttää ohjeena määritettäessä kriittisten laitteiden passiivisia palosuojauksia, jotta ne voivat selvitä toimistaan hätätilanteessa.

Taulukko 1 Palonkestovaatimukset kohteen mukaisesti.

	Suojauskriteerit	
Laite	**Pintalämpötila** (°C)	**Palosuoja aika** (min)
Riser/ nousuputki	<200*	60**
Nousuputken kannakkeet	<400	60**
Nousuputken hätäsulkuventtiili	<200	60**
Palovesipumput	<200	60
Hätägeneraattorit	<200	60
UPS- laitteet ja järjestelmät	40***	30
SSIV/SSSV ja BOP:n ohjauspaneelit	40***	15

*Koska mitään tarkkaa tietoa ei tulipalon sijainnista ole, on oletettu, että palo on lähellä hätäsulkuventtiiliä ja nousuputki on täytetty nestemäisellä hiilivedyllä. Tämän seurauksena nousuputken pintalämpötilana on käytetty 200°C:ta ja näin varmistetaan hätäsulkuventtiilin toiminta.

**Tai vähimmäisaika täydelliseen evakuointiin

***Passiivinen palosuojaus voidaan asentaa estämään lämpötilan nousu näille tasoille, kun laitteelle kohdistuu ulkoinen tulipalo.

2.4 CE-merkintä ja ETA-hyväksyntä

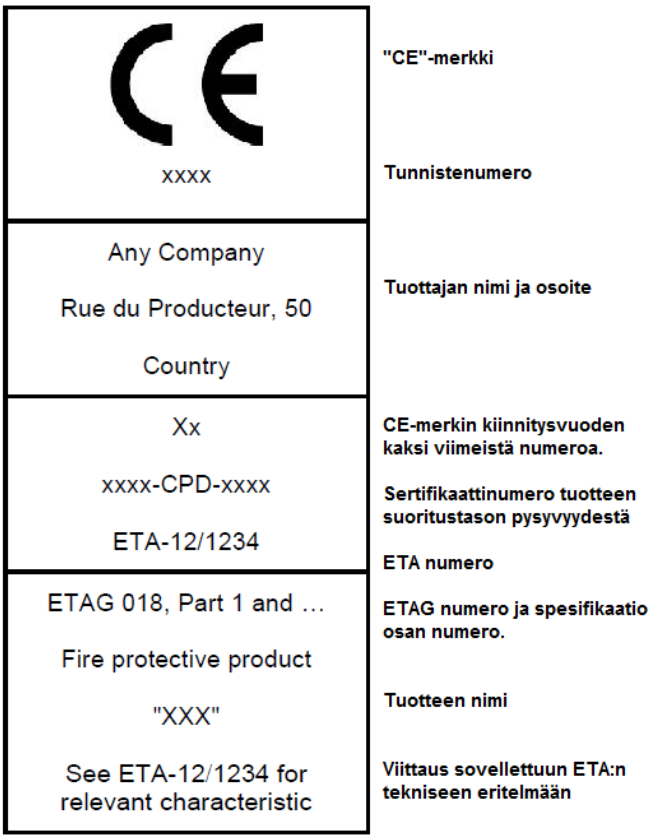
CE-merkintä tuli pakolliseksi 1.7.2013 alkaen rakennustuotteille, jotka kuuluvat harmonisoitujen tuotestandardien (hEN) joukkoon. CE-Merkintä on valmistajan ilmoitus, että tuotteen ominaisuudet vastaavat ilmoitettuja. CE-merkintä ilmoittaa tuotteen ominaisuudet mutta se ei osoita, että tuote täyttää kohdekohtaisia vaatimuksia, jotka saattavat riippua esim. sääolosuhteista.

CE-merkintää ei kuitenkaan tarvita

- tuotteille, jotka on valmistettu ei-sarjatuotantona tilauksesta tiettyyn yksilölliseen rakennuskohteeseen ja valmistaja vastaa asennuksesta
- tuotteille, jotka valmistetaan työmaalla ja asennetaan valmistajan toimesta
- tuotteille, jotka valmistetaan perinteiseen tapaan historialliseen korjausrakentamiskohteeseen.

CE- merkintä antaa yrityksille mahdollisuuden helpompaan kaupankäyntiin Euroopan markkinoilla.

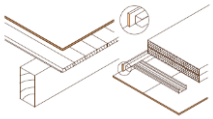
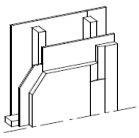
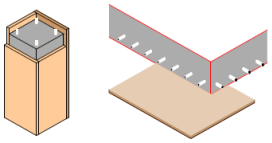
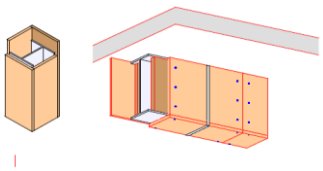
Kuvassa 1 on esimerkki CE-merkistä ja sen sisältämästä tiedoista.

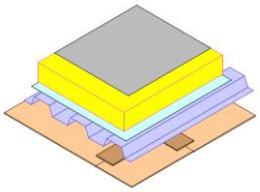
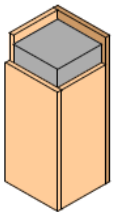
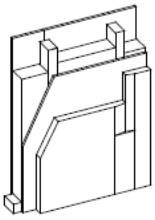
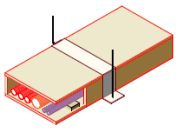
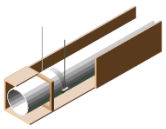
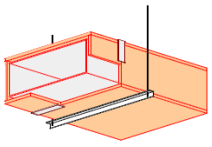


Kuva 1 CE- merkintä [6]

Eurooppalainen tekninen arviointi eli ETA on vapaehtoinen, CE-merkintään johtava arviointi. ETA voidaan myöntää tuotteille, joilla ei ole harmonisoitua tuotestandardia. Palosuojatuotteille arviointia hakeville on luotu ohje ETAG 018. Se määrittää palosuojatuotteiden käyttökohteet tyypeittäin. Taulukossa 1 on lueteltu ETAG 018-1:n mukaiset käyttökohteet.

Taulukko 2 ETAG 018-1 mukaiset käyttökohteet.

Kohde	Tyyppi	Esimerkki
Vaakatasojen suojaus	Tyyppi 1	
Pystytasojen suojaus	Tyyppi 2	
Kantavat beto-nielementit	Tyyppi 3	
Kantavat teräs-rakenteet	Tyyppi 4	

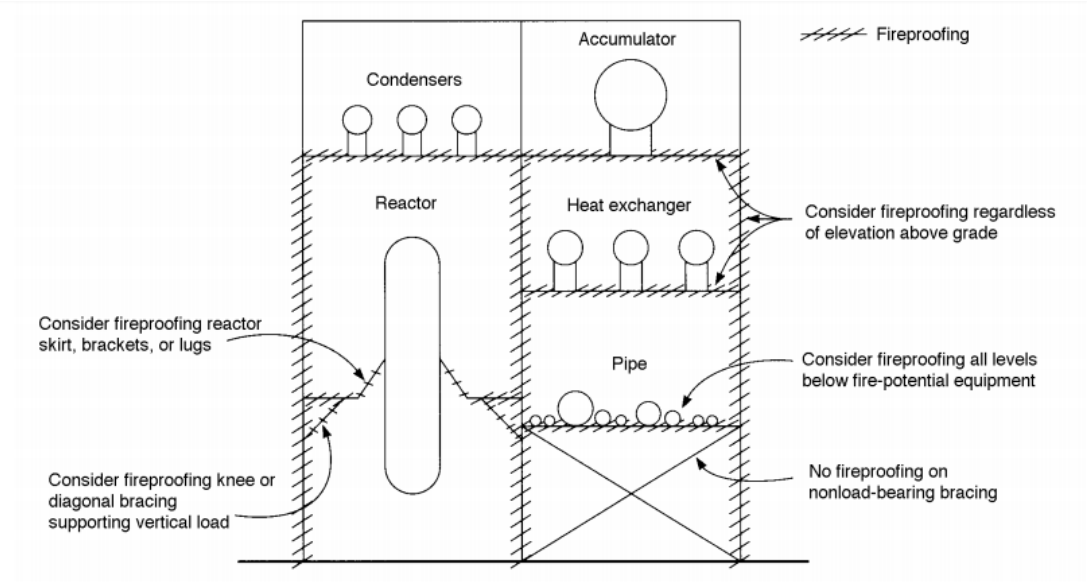
Kantavat poimu- ja liitto-levyt	Tyyppi 5	
Kantavat beto-nitäytetyt teräs-pilarit	Tyyppi 6	
Kantavat puu-rakenteet	Tyyppi 7	
Palo-osastoi-vat rakenteet (ei kantavat)	Typpi 8	
Palosuojattavat talotekniset tuotteet	Tyyppi 9	  
Muut	Tyyppi 10	

2.5 API 2218

API 2218 on API-instituutin julkaisema ohje, jossa on esitelty öljyntuotantolaitosten ja petrokemiantehtaiden palosuojausten käytäntöjä. Tämä julkaisu on tarkoitettu helpottamaan käyttäjiä, jotka valitsevat, valmistavat ja huoltavat palosuojausjärjestelmiä, ymmärtämään niiden tarkoitus. Julkaisu ei kuitenkaan ole käsikirja suunnittelulle. Julkaisussa ei täsmennetä palosuojavaatimuksia tietyille yksiköille ja tehtaille. Julkaisussa on esitelty erilaiset passiiviset palosuojamateriaalit, joita ovat

- tiheäbetoni
- kevytbetoni
- ruiskutettavat palosuojalaastit (orgaaniset ja epäorgaaniset)
- esimuovatut epäorgaaniset paneelit tai epoksikotelot/ paneelit
- harkot ja tiilet
- endoterminen eristematto (esim. 3M™ Interam E-5A-4).

Lisäksi julkaisussa on esitetty selkeästi teräsrakenteiden palosuojaustarve erilaisten laitteiden palopotentiaalin ja paloskenaarion mukaan. Kuvassa 2 on yksi esimerkki näistä.



Kuva 2 Esimerkki palosuojauksista [8]

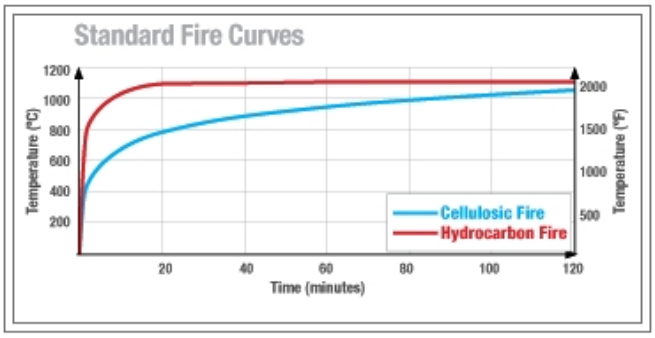
3 Rakenteiden palomitoitusmenetelmät ja mitoituspaloskenaariot

Rakenteiden palomitoitus on osa rakennuksen palosuojelua, jolla yritetään ennaltaehkäistä ja rajoittaa tulipalotilanteeseen liittyviä riskejä. Käytännössä palomitoituksella määritetään rakenteiden palonkestävyys. Rakenteiden palomitoituksen tulee pohjautua mitoituspaloskenaarioihin. Kantavien rakenteiden kuten teräspalkkien palomitoituksen ja palosuojamenetelmien avulla henkilöihin ja rakennuksiin kohdistuvat vahingot voidaan kokonaan välttää tai niitä voidaan ainakin huomattavasti pienentää.

Kantavien rakenteiden palomitoituksessa voidaan käyttää kolmea menetelmää. Nämä ovat yksinkertaiset laskentamallit, kehittyneet laskentamallit ja polttokokeen tai yksinkertaistetun taulukkomitoituksen avulla. Taulukkomitoitus ja yksinkertaiset laskentamenetelmät perustuvat pääsääntöisesti standardipaloon.

3.1 Standardipalo

Standardipalo eli selluloosapalo on yleisesti palomitoituksen perusta. Paloskenaario ei ota huomioon palon ominaisuuksia, kuten palokuormaa, palotilan geometriaa, hapen määrää eikä tulipalon hiipumisaikaa. Standardipalon palavina aineina ovat puu, paperi, tekstiilit ja muut vastaavat. Standardipalokäyrä saavuttaa 500 °C 5 minuutissa ja nousee yli 1100 °C. Tulipaloja saattaa olla monia eri variaatioita kasvuvaiheen, huippulämpötilan sekä paloajan suhteen. (kuva 3.)



Kuva 3 Selluloosapalon ja hiilivetypalon lämpötila-aikakäyrä [12]

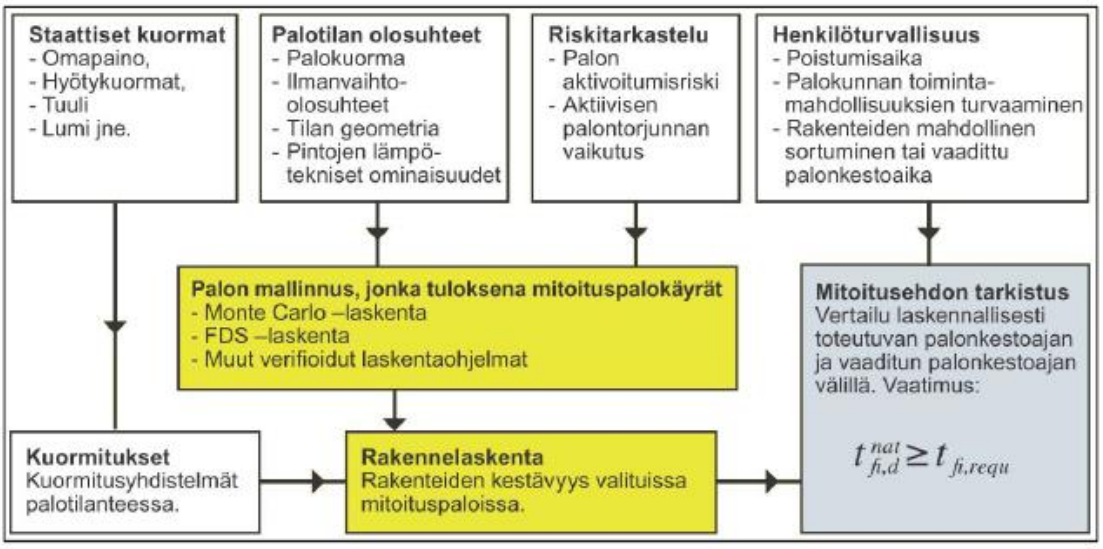
3.2 Hiilivetypalo

Hiilivetypalon palavina aineina ovat hiilivetypohjaiset nesteet ja kaasut. Kuten kuvasta 3 näemme, hiilivetypalossa liekit saavuttavat korkean lämpötilan lähes välittömästi syttymisen jälkeen. Lähes poikkeuksetta öljy- ja kaasuteollisuudessa syttyvät tulipalot ovat hiilivetypaloja. Niitä on olemassa kahdenlaisia. Allaspalossa palaavaa nestettä pääsee vuotamaan putkesta tai säiliöstä maahan ja aiheuttaa tulipalon. Toinen, ja paljon vaarallisempi on suihkupalo, joka voi syttyä paineessa olevan öljy- tai kaasuputken revettyä. Allaspalossa lämpötila nousee yli 1 000 °C 10 minuutissa ja lämpövuo on noin 150 kW/m^2. Suihkupalossa lämpötila nousee samassa ajassa mutta, lämpövuo saattaa tuplaantua 300 kW/m^2. [7 ; 12]

3.3 Toiminnallinen palomitoitus

Toiminnallisessa palomitoituksessa huomioidaan rakennuksen yksilölliset ominaispiirteet sekä palontorjuntatoimet. Mitoitus perustuu todelliseen palonkehitykseen, tilastollisiin todennäköisyyksiin palokuorman ja mitoituspalokäyrän suhteen. Nykypäivän tietotekniikan ja laskentaohjelmien avulla toiminnallinen palomitoitus kehittyy hurjaa vauhtia.

Mitoitusehto tarkistetaan vertailemalla vaadittua palonkestoaikaa ja laskennallisesti toteutuvaa palonkestoaikaa toisiinsa. Kuvassa 4 on esitetty kaavio toiminnallisen palomitoituksen vaiheista.



Kuva 4 Toiminnallinen palomitoitus [13]

3.4 Yksinkertaiset laskentamallit

Yksinkertaistetut laskentamallit toimivat yksittäisten rakenneosien mitoituksessa. Yksinkertaistuksien takia menetelmä perustuu oletuksiin, jotka ovat varmalla puolella. Yksinkertaistetuissa laskentamalleissa teräsrakenneosan kantavuuden oletetaan säilyvän tietyn ajan tulipalossa sekä lämpötilan oletetaan jakautuvan tasan koko poikkileikkaukselle. Nettopoikkileikkauksen murtumista laskettaessa pulttien reikiä ei tarvitse huomioida, mikäli reiässä on pultti, koska pultin olemassaolon takia teräksen lämpötila on alhaisempi liitoksen kohdalla. [4.]

3.5 Kehittyneet laskentamallit

Kehittyneillä laskentamenetelmillä tulee esittää tulipalossa olevan rakenteen todenmukaista käyttäytymistä. Kehittyneiden laskentamenetelmien on perustuttava fysikaaliseen peruskäyttäytymiseen siten, että ne vastaavat ja kuvaavat tulipalossa tarkasteltavan rakenneosan odotettavissa olevaa käyttäytymistä luotettavasti. Kehittyneitä laskentamenetelmiä voidaan käyttää kaikenlaisille palokäyrille ja poikkileikkauksille, kunhan tiedämme aineominaisuudet kyseisellä lämpötila-alueella. Kehittyneiden laskentamenetelmien tulee sisältää termistä vastetta kuvaava malli rakenneosien lämpötilan kehittymisen ja jakaantumisen määrittämiseksi, sekä mekaanista vastetta kuvaava malli rakenteen tai sen osan mekaanisen käyttäytymisen määrittämiseksi. [4.]

3.6 Kokeet

Kun oikeanlaista laskentamallia ei ole saatavilla, voidaan palomitoitus tehdä kokeiden avulla. Kokeita käytetään myös varmistamaan yksinkertaisten ja kehittyneiden laskentamenetelmien tuloksia pistokoemenetelmällä. Mikäli samanlaisia rakenneosia tullaan käyttämään suuria määriä, niin kokeet ovat toimiva mitoitusmenetelmä. Koetuloksia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon kokeiden luotettavuustaso niiden rajallisesta määrästä johtuen. [4; 9]

4 Palosuojausmenetelmät

Palosuojaukseen on useita eri menetelmiä. Palosuojauksen valintaan vaikuttavat suojattavan kohteen rakenne, vaadittava palosuoja-aika, asennus- ja käyttöolosuhteet sekä asennus- ja kunnossapitokustannukset. Tässä luvussa käsitellään pääasiassa palosuojamenetelmiä, jotka soveltuvat teräsrakenteiden ja prosessilaitteiden palosuojaukseen. Tarkempaan käsittelyyn ja tutkimiseen kuitenkin otetaan laajeneva epoksipalosuojapinnoite, sen hyvien ominaisuuksien vuoksi. Lisäksi se on vielä toistaiseksi vähemmän käytössä oleva menetelmä Suomessa.

Teräsrakenteiden ja prosessilaitteiden ulkopuolinen palosuojaus voidaan toteuttaa palosuojalevyillä, -maalilla, -ruiskutteilla, -betonilla, -muurauksella, -rappauksella, orgaanisilla ruiskutettavilla palosuojapinnoitteilla, tiilillä ja monella erilaisella yhdisteellä. Mikäli teräsrakenne on ontto, niin lämmönvaraamiskykyä voidaan parantaa täyttämällä rakenne vedellä tai betonilla, jolloin osa lämmöstä siirtyy rakenteen sisälle.

4.1 Palosuojalevyt ja matot

Teräsrakenteiden palosuojaus on mahdollista toteuttaa palosuojalevyillä. Tässä luvussa esitellään vain muutamaa palosuojalevyä, jotka soveltuvat hiilivetypaloihin. Mainittakoon kuitenkin, että on lukemattoman paljon palosuojalevyjä, jotka soveltuvat selluloosapaloihin, esimerkiksi Gyproc- palosuojalevyt soveltuvat teräsrakenteiden palosuojaukseen. Palosuojalevyjen suojauskyky perustuu niiden lämmöneristysominaisuuksiin. Levyjen kiinnittäminen teräskanteille tapahtuu yleensä piikeillä, ruuveilla, teräsvanteilla tai liimaamalla. Palosuojamattoja ja -villoja käytettäessä on matot koteloitava siten, etteivät mahdolliset suihkupalot ja räjähdykset pääse irrottamaan suojausta suojattavan kohteen pinnasta. Tavallisesti käytettyjä alumiini- ja muovipinnoitettuja teräspeltejä on vältettävä hiilivetypaloissa. Näin ollen koteloiden, kiinnikkeiden ja mahdollisesti käytettävien sääsuojausten materiaalina on käytettävä ruostumatonta teräspeltiä.

4.1.1 Kivivillalevyt

Kivivillaeristeiden palosuojauskyky vaihtelee hyvin paljon niide tiheyden ja eristevahvuuden mukaan. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että tiheyden ollessa suuri myös palonkestävyysaika on pidempi. Palosuojaukseen tarkoitetuissa kivivillalevyissä tiheys on ~100 kg/m^3 – 200 kg/m^3 ja eristevahvuus vaihtelee 10 mm – 120 mm. Kivivillalevyt soveltuvat paremmin standardi, eli selluloosapalotilanteisiin kuin hiilivetypaloon. Kivivillalevyt kiinnitetään yleensä aluslevyllisillä hitsipiikeillä. Kuvassa 4 nähdään yleisimmät teräksen poikkileikkaustekijät, niiden jälkeen näemme vaadittavaan paloluokkaan tarvittavan eristevahvuuden. [19; 20]

Eristepaksuus, PAROC FPS 17
Teräksen kriittinen lämpötila 450°C

A/V	R 30	R 60	R 90	R 120	R 150	R 180	R 210
50	20	20	20	25	40	40	50
60	20	20	20	30	40	50	60
70	20	20	20	40	50	60	
80	20	20	25	40	50		
90	20	20	25	40	60		
100	20	20	30	50			
110	20	20	40	50			
120	20	20	40	60			
130	20	20	40	60			
140	20	20	40	60			
150	20	20	50				
160	20	25	50				
170	20	25	50				
180	20	25	50				
190	20	25	50				
200	20	25	50				
210	20	30	60				
220	20	30	60				
230	20	30	60				
240	20	30	60				
250	20	30	60				

Kuva 4 Eristysvahvuus teräsrakenteen poikkileikkaustekijään nähden [20]

4.1.2 Endotermiset palosuojamatot

Endotermisten palosuojamattojen kuten 3M™ Interam™ Endothermic Mat E-5A-4 palonsuojauskyky perustuu sen epäorgaanisiin aineisiin. Palosuojamatto vapauttaa kidevettä tietyssä lämpötilassa, ja veden vapauduttua matto muodostaa hiilen kanssa suojaavan kerroksen suojattavan kohteen pinnalle. Samalla vapautuva vesihöyry laimentaa syttyviä kaasuja. Palosuojamatto on helppo asentaa, ja se sopii hyvin prosessilaitteiden, teräsrakenteiden ja kaapelihyllyjen palosuojaukseen. Endotermiset matot soveltuvat niin standardipalo- kuin hiilivetypaloskenaarioihin. Matolla voidaan saavuttaa jopa 4 tunnin palosuoja-aika. Palosuojamatto kiinnitetään alumiiniteipillä ja RST-vanteilla ja näiden jälkeen matto voidaan päällystää joko alumiini- tai RST- peltipäällysteellä. [21]

4.1.3 FireMaster® 550

FireMaster palosuojalevy on valmistettu maa-alkali-silikaattikuiduista, palamattomista täyteaineista sekä sideaineista. Levy soveltuu hyvin rakenneosien palosuojaksi sen helpon työstettävyyden vuoksi. Levyjä on saatavilla myös suuria levykokoja joten se soveltuu myös hyvin paloseinien ja kattojen rakentamiseen. FireMaster® 550- levy on kevyempi, ja levyllä on matalampi lämmönjohtavuus kuin kalsiumsilikaattilevyillä. FireMaster® 550- levy soveltuu allaspaloihin sekä suihkupaloihin. Vastaavaa tuotetta on saatavilla myös villana sekä mattona, joten myös prosessilaitteiden ja kaapeliratojen paloeristys onnistuu kyseisellä materiaalilla.

4.2 Palosuojamaalit

Palosuojamaalit soveltuvat käytettäväksi parhaiten sisätiloihin, jossa ilmastonrasitusluokka on C1, mutta oikealla maalausjärjestelmällä voidaan päästä jopa C5-M-luokkaan eli hyvin ankariin meriolosuhteisiin. Palosuojamaaleja käytetään maalausjärjestelmänä, johon kuuluu teräsrakenteen esikäsittely, pohjamaalaus, palosuojamaalaus ja pintamaalaus. Järjestelmän kuivakalvon kokonaispaksuus on tavallisesti 0,2 mm – 5,0 mm. [10] Palosuojamaalit ovat paisuvia maaleja, jotka reagoivat tulipalon lämpöön paisumalla moninkertaiseksi muodostaen lämpötilan nousua hidastavan eristekerroksen.

Palosuojamaalaus voidaan tehdä sekä maalaamossa että työmaalla. Maalauspaikan valintaan vaikuttavat aikataulu, sääolosuhteet sekä teräsrakenteiden liitos. Mikäli käytetään pulttiliitosta, maalaus tehdään yleensä maalaamossa. Hitsattavat teräsrakenteet maalataan yleensä työmaalla, sillä hitsausliitos vaurioittaa maalausta. Palosuojamaalien mekaaninen ja kosteuden kesto on huono, joten maalaamossa maalatut rakenteet on suojattava erinomaisesti kuljetusta ja asennusta varten.

Palosuojamaalaus on erikoistyötä, jonka tekijöiltä vaaditaan Teräsrakenneyhdistyksen myöntämä palosuojamaalarin pätevyystodistus. Palosuojamaalarin ja palosuojaustarkastajien koulutuksia järjestää AMIEDU Helsingissä sekä Jyväskylän aikuisopisto.

Palosuojamaalatuille rakenneosille tulee tehdä riittävä merkintä paikan päällä palo-osastoittain. Merkintä tehdään kyltein, joiden koko on min. 75 mm * 45 mm. Kyltissä tulee olla esillä seuraavat tiedot.

- palosuojamaalin nimi
- palosuojamaalaus urakoitsija
- varmennettu käyttöselosteen numero
- palosuojamaalin asennusajankohta
- palonkestoaikaluokka (R15, R30, R60).

4.3 Palosuojaruiskutteet

Palosuojaruiskutteilla voidaan suojata teräsrakenteiden lisäksi myös muita epätasaisia sekä tasaisia ja suoria pintoja. Ennen ruiskutusta kohteen pintojen on oltava kuivat ja puhtaat. Pintoja ei kuitenkaan tarvitse hiekkapuhaltaa ruiskutteen tarttumiseksi, vaikka pientä ruostetta pinnassa olisikin. Eristepaksuuden ylittäessä 40 mm, ruiskutteen kiinnipysyminen varmistetaan sinkityllä teräsverkolla.

Palosuojaruiskutteista tunnetuimpiin kuuluvat mineraalikuituruiskutteet. Mineraalikuidut ja kipsi tai sementti ruiskutetaan veden kanssa palosuojattavan kohteen pintaan. Mineraalikuituruiskutteet soveltuvat teräsrakenteiden palosuojaukseen silloin, kun tulipalovaikutus otaksutaan ns. standardipalon eli selluloosapalon mukaiseksi. Tällöin ruiskutetta voidaan käyttää palonkestoaikaluokkiin R30 — R120. Ruiskutteen tiheys vaihtelee 220 kg/m^3 – 500 kg/m^3 ja eristysvahvuus 10 mm – 80 mm riippuen vaatimuksista. Ruiskute ei kestä mekaanista rasitusta joten se vaatii rappauksen tai levytyksen päälle mikäli rasitusta on kestettävä. Mineraalikuituruiskutteita voidaan käyttää ilmastonrasitusluokissa C1 – C2, mutta C2-luokassa palosuojattavat teräsrakenteet tulee korroosiosuojata poh-

jamaalilla. Mineraalikuituruiskutteet soveltuvat siis pääasiassa sisätiloihin ja lämmittämättömiin rakennuksiin kuten varastoihin ja urheiluhalleihin. Kuvassa 5 on esitetty mineraalikuituruiskutteella suojattu teräsrakenne.

Kuva 5 Mineraalikuituruiskute teräsrakenteessa [21]

4.4 Betoni

Betoni ja betoniseokset soveltuvat hyvin hiilivetypaloihin, minkä vuoksi onkin paljon käytössä oleva palosuojausmateriaali öljynjalostamoissa. Sillä saavutetaan jopa 4 tunnin palonkestoaika hiilivetypaloissa ja 2 tunnin palosuoja suihkupaloissa. Betonia on käytetty niin teräsrakenteiden kuin myös prosessilaitteiden palosuojauksessa. Betonin palosuojausominaisuus perustuu sen kosteuteen. Lisäksi betoni sitoo itseensä kemiallisesti vettä, joka vapautuu tulipalon korkeassa lämpötilassa. Betonin tiheys vaihtelee 400 kg/m^3 - 2400 kg/m^3. Betoni voidaan asentaa suojattavan kohteen pinnalle valamalla tai ruiskuttamalla käyttäen teräsvahvistusta. Betoni sisältää kloridia, joka aiheuttaa korroosiota rakenteen pintaan, joten suojattava pinta tulee suojata pohjamaalilla. [8] Betonin

tiheydestä riippuen on havaittu betonin lohkeilevan ja kestävän mekaanisia rasituksia vaihtelevasti.

Edut:

- helppo asentaa
- kemikaalien sieto
- matalat asennuskustannukset
- sisä- ja ulkokäyttöön

Haitat:

- raskas paino
- paksu materiaalikerros
- suojauksen sisäpuolinen korroosio
- helposti lohkeileva

4.5 Tiilet

Tiilien käyttö palosuojauksessa perustuu myös niiden suuren lämpökapasiteettiin. Tiiliä on käytetty teräsrakenteiden ja prosessilaitteiden palosuojauksessa kauan. Parhaiten palosuojaukseen käyvät huokoiset tiililaadut, esim. reikätiili. Niiden käyttö on kuitenkin lähestulkoon kokonaan lopetettu niiden korkeiden asennus- ja huoltokustannusten vuoksi. Tiilimuurauksilla on myös taipumus halkeiluun, jolloin kosteus kerääntyy suojattavalle pinnalle, mikä johtaa vakaviin korroosio- ja halkeiluongelmiin. [8]

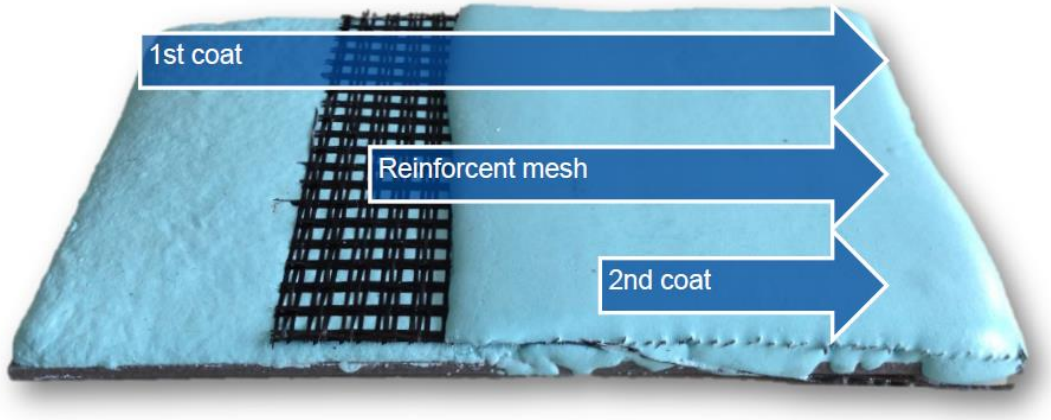
4.6 Laajeneva epoksipalosuojapinnoite

Laajeneva epoksipalosuojapinnoite on maailmalla paljon käytetty palosuojamenetelmä. Koostumuksensa ansiosta se soveltuu hyvin rakenteiden palosuojaukseen sekä korroosionestoon. Pinnoite tarjoaa hyvää suojausta teräsrakenteille, prosessilaitteille ja kaapeleille sekä muille öljy- ja kaasuteollisuudessa suojattaville kohteille.

Laajenevan epoksipalosuojapinnoitteen palosuojauskyky perustuu pinnoitteen laajenemiseen. Tulipalossa pinnoite laajenee jopa 10 kertaa pinnoitteen alkuperäisen paksuuden ja samassa pinnoite muodostaa pintaansa hiilikerroksen, joka toimii eristävänä kerroksena ja täten pitää itse rakenteen lämpötilan alle kriittistä lämpötilaa vaadittavan ajan [14]. Kuvassa 6 nähdään pinnoitteen laajeneminen.

Kuva 6 Laajenevan palosuojapinnoitteen käyttäytyminen palotilanteessa [14]

Laajenevat epoksipalosuojapinnoitteet ovat saavuttaneet hyviä tuloksia hiilivety- ja suihkupalotesteissä ja soveltuvat hyvin kohteisiin, joissa vaaditaan pitkiä palonkestoaikoja hiilivetypalossa. Riippuen palon tyypistä, luokituksesta ja suojattavan kohteen muodoista pinnoite saatetaan vahvistaa verkolla. Normaalisti käytetään hiilikuituverkkoa, mutta jossain tilanteissa tilaajan tai viranomaisen vaatimuksesta käytetään metalliverkkoa (galvanoitu tai ruostumaton teräsverkko). Metalliverkkoa käytettäessä verkon kiinnittämistä varten on hitsattava kiinnityspiikit. Liitteestä 1 löytyvät Chartek 7-pinnoitteelle verkon vaatimukset sekä asennusohjeet. Kuvassa 7 nähdään pinnoitteen kerrosten välissä oleva verkko.



Kuva 7 Laajenevan epoksipalosuojapinnoite kerroksittain [14]

Pinnan esikäsittely on tehtävä huolella pinnoitteen onnistumisen takaamiseksi. Vaadittavat esikäsittelymenetelmät määräytyvät suojattavan pinnan materiaalin mukaan. Kuitenkin pinta on aina puhdistettava pölystä ja rasvasta. Rasvanpoisto suoritetaan joko lämpimällä vedellä tai höyryllä, minkä jälkeen pinta kuivataan. Hiekkapuhallus tai muu vastaava puhdistus on suoritettava, mikäli suojattavan pinnan materiaali on muuta kuin galvanoitu teräs tai kuituvahvistettu muovi. Näiden toimenpiteiden jälkeen pinta vielä imuroidaan ennen kuin levitetään primeri.

Laajenevaa epoksipalosuojapinnoitetta asennettaessa on ympäristön olosuhteet huomioitava. Ilman lämpötilan on syytä olla >5 °C ja suhteellisen kosteuden maksimissaan 85 %. Suojattavan kohteen pintalämpötilan tulee olla vähintään 3 °C yli kastepisteen.

Edut:

- kevyt
- erittäin hyvä mekaanista rasitusta kestävä
- kehitetty suojaamaan korroosiolta
- sisä- ja ulkokäyttöön
- tilaa säästävä
- kemikaalien sieto

Laajenevan epoksipalosuojapinnoitteen heikkoina puolina voidaan mainita sen korkeampi asennushinta, mutta se on kompensoitavissa matalammilla kunnossapitokustannuksilla. Tämän lisäksi epoksipohjainen palosuojapinnoite ei sovi rakenteille, joiden käyttölämpötila nousee yli 120 °C.

Laajenevan epoksipalosuojapinnoitteen tarvittavan kuivakalvon paksuuden määrittää ja laskee melkein poikkeuksetta materiaalin toimittaja. Materiaalin toimittajalle on kuitenkin toimitettava vaadittavat tiedot työmenetelmiä ja aineenpaksuuden määrittämistä varten, joita ovat seuraavat:

- hiilivetypalo vai selluloosapalo, jos suihkupalovaatimus niin lämpökuormitus (kW/m^2)
- mahdollinen räjähdyskuorma
- vaadittavat sertifikaatit esim. Lloyds, DNV, UL, ABS
- kriittinen lämpötila
- vaadittava kesto (minuuteissa)
- kuojattavan alustan tiedot
- poikkipinnan tiedot, teräsrakenteen nimi tai mitat, palolle alttiina (4 sivua, 3 sivua tai muuta).

Nämä tiedot antamalla materiaalitoimittaja pystyy laskemaan aineenvahvuuden tarvittavalle palosuojapinnoitteelle ja materiaalimenekille. Näiden lisäksi on hyvä toimittaa piirustukset, joissa näkyvät mitat, rakennekaaviot sekä paloalueet. Karkeasti ottaen 1 kg:sta pinnoitetta saadaan 1 mm/m^2 valmista pintaa, ja epoksipinnoitteen tyypillinen paksuus vaihtelee 4 mm – 20 mm. [14; 18]

5 Kustannusvertailu

Tässä luvussa on kerrottu, mitä kustannusvertailussa on otettava huomioon ja mistä palosuojauksen kustannukset pääasiassa muodostuvat. Lisäksi luvun lopussa on taulukko, jossa on vertailtu palosuojamateriaalien kustannuksia. Kustannusvertailuun on otettava huomioon palosuojamateriaalin hankinta, asennus sekä kunnossapitokustannukset. Palosuojauksen hintaan vaikuttavat suojattavan kohteen vaatimukset, teräsrakenteen poikkipinnan tiedot, kriittinen lämpötila, palosuojamateriaali sekä mahdollinen materiaalihukka.

5.1 Hankintakustannukset

Hankintakustannukset koostuvat palosuojamateriaalista, palosuojamateriaalin lisämateriaaleista sekä mahdollisista rahtimaksuista. Lisämateriaaleja ovat pohjamaalit, hiekkapuhallushiekat, puhdistusaineet, pohjamaalit, teräsverkot, hitsipiikit, ruuvit, niitit, listat, vanteet, teipit yms. Hankintahintoihin vaikuttavat paljon tilattavan materiaalin määrät, ja hinnat saattavatkin poiketa listahinnoista jopa useita kymmeniä prosentteja.

5.2 Asennuskustannukset

Asennuskustannukset koostuvat työhön käytettävästä ajasta sekä työtunnin hinnasta. Työhön käytettävä aika muodostuu palosuojaustavasta riippuen seuraavasti: esivalmistelut, ympäristön valmistelu/ suojaus, materiaalin kuljetus kohteeseen, kiinnikkeiden asennus, palosuojauksen asennus, pintamateriaalin asennus, ympäristön suojauksien purku sekä loppusiivous. Asennuskustannuksia laskiessa on huomioitava ja tarvittaessa eriteltävä kaikki lisäkustannukset. Lisäkustannuksia saattaa tulla telineistä, pohja- sekä pintamaalista, teräsverkkojen ja hitsipiikkien asennuksesta, hiekkapuhalluksesta yms.

5.3 Kunnossapitokustannukset

Teräsrakenteiden palosuojauksia suunniteltaessa ei yleensä ole huomioitu kunnossapitokustannuksia, sillä palosuojamateriaalit on suunniteltu kestämään koko käyttöiän. Todellisuudessa kuitenkin huonosti valittu palosuojamateriaali saattaa lyhentää teräsrakenteiden käyttöikää ja täten nostaa kunnossapitokustannuksia huomattavasti. Esimerkiksi kuvassa 8 nestekaasusäiliön teräsrakenteet on palosuojattu ulkopuolisena betonointina, betonointi saattaa rapistua ajan kuluessa ja näin betonoinnin ja teräsrakenteen väliin pääsee kosteutta, joka aiheuttaa korroosiota. Mikäli prosessilaitteiden palosuojattavalle kohteelle tehdään tarkastus- ja kunnossapitotöitä, on palosuojattava alue suunniteltava ja toteutettava siten, että palosuojaus on poistettavissa töiden ajaksi mahdollisimman helposti ja kustannustehokkaasti, kuitenkin siten ettei palosuojauskyky heikkene.

Kuva 8 Nestekaasusäiliö romahtaneena [15]

5.4 Palosuojamateriaalien kustannukset

Insinöörityössä on selvitetty palosuojamateriaalien hankinta- ja kokonaiskustannuksia. Kokonaiskustannukset on hyvin karkeasti arvioitu, sillä palosuojauksien kokonaiskustannukset saattavat muuttua hyvinkin paljon johtuen palonkestovaatimuksista ja täten materiaalin vahvuuksista. Näiden lisäksi kokonaiskustannuksiin vaikuttavat suojattavan pinnan profiilin muoto ja muut valmistelevat työt, esim. hiekkapuhallus, pohjamaalaus, pellitys yms. Lisäksi kaikista materiaaleista ei ollut saatavilla materiaalipaksuuden määrittämiseen tarvittavia tietoja eri paloluokille, mikä on hyvin tärkeä tieto kustannuksia arvioidessa. Taulukosta 3 selviävät karkeasti palosuojamateriaalien hankintakustannukset sekä kokonaiskustannukset. [11; 16; 17; 18; 19]

Taulukko 3 Materiaalien kustannukset

Materiaali	Hankintahinta	Kokonaiskustannukset
Palosuojamaalit	7–15 €/kg	15–50 €/m^2
Palosuojaruiskutteet	2–3 €/kg	30–50 €/m^2
Kivivillalevyt	9–22 €/m^2	20–45 €/m^2
Endotermiset matot	190–250 €/m^2	200–1 200 €/m^2
Betonointi	70–85 €/m^3	100–600 €/m^2
Laajeneva epoksipinnoite	15–20 €/kg	300–1 300 €/m^2

6 Laajenevan epoksipalosuojapinnoite laitteiston investointi

Tässä luvussa käsitellään laajenevan epoksipalosuojapinnoitteen asentamiseen tarvittavien laitteiden investointeja. KAEFER OY:llä ei ole vielä työhön tarvittavia välineitä ja laitteita, joten katsottiin tarpeelliseksi tehdä tutkimus siitä, mitä laitteita ja työkaluja kyseiseen työhön tarvitaan ja paljonko niihin tulee tulevaisuudessa mahdollisesti investoida. Ennen kuin syvennytään tarvittaviin laitteisiin ja niiden hintoihin, tässä luvussa käsitellään investointiprosessia.

6.1 Investoinnin prosessi

Investointi tarkoittaa rahan käyttöä uuteen asiaan, jonka tarkoituksena on tulon hankkiminen, kasvattaminen tai muuten vain kustannussäästö. Yleensä investointi on rahallisesti suuri ja tulon odotusaika on pitkä. Investointi on yksi prosessi, jossa on monia vaiheita. Seuraavassa on kuvattu prosessin vaiheet.

- Tarpeen toteaminen
- Tavoitteiden määritys
- Investointivaihtoehtojen tarkastelu
- Vaihtoehtojen edullisuuden ja riskien tarkastelu
- Vaihtoehtolaskelmien laatiminen ja vertaaminen
- Investoinnin pääomatarpeen ja rahoituksen suunnittelu
- Päätöksenteko
- Toteutus.

Investointeja laskettaessa käytössä on muutamia erilaisia laskumenetelmiä, joita ovat nykyarvomenetelmä, sisäisen koron menetelmä, annuiteettimenetelmä ja takaisinmak-

sumenetelmä. Tässä insinöörityössä laskettiin nykyarvomenetelmää sekä takaisinmaksumenetelmää käyttäen. Kun tarkastellaan investoinnin kannattavuutta, siihen vaikuttavat tekijät on otettava huomioon. Kannattavuuteen vaikuttavat hankintameno, juoksevat tuotot, juoksevat kustannukset, laskentakorkokanta, pitoaika sekä jäännösarvo. Investointi on yleensä kannattava, jos nettonykyarvo (NPV) on suurempi kuin 0, tällöin investointi tuottaa kassavirtaa ja se pystyy kattamaan toiminnasta aiheutuvat kulut sekä rahoituskulut ja samalla lisää yrityksen arvoa. [23; 24]

Nettonykyarvon kaava on seuraavanlainen:

$$NPV = \sum_{t}^{n} \frac{NCF}{(1+i)^t} - H$$

NPV on nettonykyarvo

NCF (net cash flows) on nettokassavirrat vuodessa

i on korkokanta eli tuottovaatimus

t on ajan symboli

n on investoinnin pitoaika vuosina

H on hankintameno

Takaisinmaksuajan menetelmän kaava on seuraavanlainen:

$$TMA = \frac{H}{NCF}$$

TMA on takaisinmaksuaika

H on hankintameno

NCF on nettokassavirrat vuodessa

6.2 Investoinnin kannattavuus

Tässä luvussa esitellään insinöörityössä lasketut investointilaskut nettonykyarvon ja takaisinmaksuajan menetelmää käyttäen. Laskuissa on käytetty liitteessä 2 lueteltujen laitteiden ja työkalujen hintoja. Epoksipalosuojapinnoitteen laitteiston investointilaskuissa käytetyt nettokassavirrat ovat arvioita, joissa ruiskutettavan pinnoitteen aineen vahvuus on 7 mm. Investoinnin kannattavuus vaihtelee paljon ruiskutettavien kohteiden ominaisuuksista riippuen, insinöörityössä on tarkasteltu investointeja kahdelta eri näkökulmalta. Ensimmäisissä laskuissa on laskettu pinnoitettavan pinta-alan olevan 100 m^2 ja toisissa laskuissa pinta-alaa on nostettu 300 m^2. Koska pinnoitettavat kohteet ovat pinta-alaltaan pieniä ja niitä on lukuisia, työ on paljon hitaampaa kuin esimerkiksi suurien ja pitkien palkkien pinnoittaminen maalaamossa. Laskuissa käytetyt tuntihinnat ovat vain esimerkkihintoja eivätkä suoraan minkään yrityksen hintoja.

Esimerkki 1: nettonykyarvon kaavalla laskettu:

Ainevahvuus 7 mm, suojattava ala = 100 m^2, työaika 1 kk

Materiaalin hankintahinta + kate = 10 500 € + 15 % = 12 075 €

Työnhinta 4 työntekijällä = 40 € * 672 h = 26 880 €

Työnjohdon hinta = 55 €*168 h = 9 240 €

Koska on ajateltu että investointi tuottaa saman kassavirran kuutena vuonna, voidaan nettonykyarvo laskea seuraavasti:

$$NPV = \sum_{t}^{n} \frac{NCF}{(1+i)^t} - H$$

NCF = 162 000 €

i = 10 %

t = vuosi

n = 6 vuotta

H = 72 925 €

$$NPV = \frac{162000}{1{,}10} + \frac{162000}{1{,}10^2} + \frac{162000}{1{,}10^3} + \frac{162000}{1{,}10^4} + \frac{162000}{1{,}10^5} + \frac{162000}{1{,}10^6} - 72\,925$$
$$= 632\,627{,}23$$

Kuten huomaamme nettonykyarvo on > 0, joten voimme pitää investointia kannattavana.

Esimerkki 2.1: takaisinmaksun kaavalla laskettu:

$$TMA = \frac{H}{NCF}$$

Ainevahvuus 7 mm, suojattava ala = 100 m², työaika 1 kk

Materiaalin hankintahinta + kate = 10 500 € + 15 % = 12 075 €

Työnhinta 4 työntekijällä = 40 € * 672 h = 26 880 €

Työnjohdon hinta = 55 €*168 h = 9 240 €

NCF = 162 000 €

Takaisinmaksumenetelmän mukaan investoinnin kannattavuus lasketaan seuraavasti.

$$\frac{72\ 925}{162\ 000} = TMA$$

$$\frac{72\ 925}{162\ 000} = 0{,}45\ vuotta$$

Takaisinmaksumenetelmän mukaan laskettaessa takaisinmaksuajaksi saadaan 0,45 vuotta joka on erittäin lyhyt.

Esimerkki 2.2: takaisinmaksun kaavalla laskettu, jos palosuojattava pinta-ala olisi 300 m²:

$$TMA = \frac{H}{NCF}$$

Ainevahvuus 7 mm, suojattava ala = 300 m², työaika 1 kk

Materiaalin hankintahinta + kate = 10 500 € + 15 % = 36 225 €

Työnhinta 4 työntekijällä = 40 € * 672 h = 26 880 €

Työnjohdon hinta = 55 €*168 h = 9 240 €

NCF = 208 245 €

$$\frac{72\,925}{208\,245} = TMA$$

$$\frac{72\,925}{208\,245} = 0{,}35\ vuotta$$

7 Yhteenveto

Tässä insinöörityössä tutustuttiin palosuojauksien määräyksiin ja standardeihin, tutkittiin erilaisia palosuojausvaihtoehtoja ja tehtiin niille kustannusvertailua. Lisäksi työssä laskettiin laajenevan epoksipalosuojapinnoitteen laitteistolle investointi- ja kannattavuuslaskelmia. Standardien rajaaminen oli insinöörityössä haasteellista, sillä rakennusteollisuudessa käytettävät standardit eivät käy suoraan öljy- ja kaasuteollisuuteen, työssä haluttiin kuitenkin perehtyä ja tutkia molempia käypiä palosuojamenetelmiä. Palosuojavaihtoehtojen tutkiminen kävi vaivattomasti verkkodokumentteja hyödyntäen. Lisäksi muutamien asiantuntijoiden kanssa keskustelu antoi mukaan mielenkiintoista faktaa käytännön kokemuksista, joita ei aina kirjallisuudesta ja verkkodokumenteista löydy. Kustannusvertailu tehtiin hyvin karkeasti arvioiden, sillä hintaan vaikuttaa niin moni asia, sekä materiaalien hinnat saatavat poiketa listahinnoista jopa 40 %, mikäli ostettavat määrät ovat suuria.

Laajenevan epoksipalosuojapinnoitteen ja siihen tarvittavien laitteiden ja varsinkin näiden hinnan selvittäminen tuotti paljon työtä, sillä menetelmää on käytetty rajallisesti Suomessa. Hyvien KAEFER Groupin sisäisten kontaktien ansiosta asiat saatiin kuitenkin kiitettävästi selvitettyä. Insinöörityössä laskettujen investointilaskujen, pohdintojen ja keskustelujen jälkeen tultiin siihen tulokseen, että mikäli palosuojattavat pinta-alat jäävät vähälle(< 200 m^2 /kk), työ kannattaa tehdä käsityönä eikä laitteistoon kannata investoida.

Lähteet

1 Pelastuslaki 379/201.

2 Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999.

3 EN 1991-1-2 Eurokoodi 1, osat 1-2. . Suomen standardisoimisliitto SFS.

4 EN 1993-1-2 Eurokoodi 3, osat 1-2. . Suomen standardisoimisliitto SFS.

5 Rakennustuotteen CE-merkintä. 2013. Verkkodokumentti. VTT Expert Services Oy. http://www.vttexpertservices.fi/Pages/Rakennustuotteen-CE-merkint%C3%A4--.aspx. Luettu 18.9.2016.

6 ETAG 018, osat 1 – 4. 2013. European Organisation for Technical Approvals.

7 EN ISO 13702:2015. Öljy- ja maakaasuteollisuus. Öljynporauslautat. Toiminnalliset vaatimukset ja ohjeet tulipalojen ja räjähdysten hallintaan ja torjuntaan. Suomen standardisoimisliitto SFS.

8 Fireproofing Practices in Petroleum and Petrochemical Processing Plants API RP 2218 Recommended Practice 2218. 2013. American Petroleum Institute.

9 SFS-EN 1990 +A1 + AC. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Suomen standardisoimisliitto SFS.

10 Teräsrakenteiden palosuojamaalaus. 2007. Teräsrakenneyhdistys ry.

11 Varmennettu käyttöseloste TRY-116-2012.

12 Hiilivetypalo. Verkkodokumentti. European Association for Passive Fire Protection. http://www.eapfp.com/hydrocarbon.php. Luettu 23.10.2016.

13 Outinen, Jyri. 2009. Rakenteiden toiminnallinen palomitoitus. Palotutkimuksen päivät.

14 Fire Protection Technical Information. Verkkodokumentti. International Protective Coatings Ltd. http://www.international-pc.com/products/fire-protection/fire-protection-technical-information.aspx. Luettu 17.1.2017.

15 Passive Fire Protection of Steel Structures. KAEFER Corporate Technology & Research.

16 Tukkimies, Matti. 2016. Oy International Paint (Finland) Ab. Puhelinkeskustelu 28.12.2016.

17 Järveläinen, Sampsa. 2016. KAEFER OY. Sähköpostikeskustelu 9.12.2016.

18 Chartek 7 application manual.Ch7wp_uk. International Paint Ltd. 24.12.2014.

19 Tekniset eristeet tehtaan hinnasto. Paroc Oy. 1.4.2015.

20 Paroc FireSAFE- järjestelmä. Teräsrakenteiden palosuojaus. Paroc Oy.10/2013.

21 Promat F250 esite. Verkkodokumentti. Promat Ltd. http://elektro.tzb-info.cz/107402-protipozarni-nastrik-promaspray-f250. Luettu 4.1.2016.

22 Fire Protection for Critical Components. 3 Ltd. 1.10.2012.

23 Teollisuus- ja teknologiayrityksen toiminta. Investointien kannattavuus. Metropolia amk. 17.1.2017.

24 Knüpfer, Samuli & Puttonen, Vesa. 2014. Moderni rahoitus. Alma Talent. 2014

Verkon asennusohjeet

REV	CHANGE DESCRIPTION	DRAWN	CHECKED	DATE
2	TYPOS CORRECTED, NOTE 3 AMENDED	PH	RW	16/01/13

INSTALLATION GUIDELINES
HK-1™ CARBON FIBRE MESH REINFORCEMENT
CHARTEK®

GENERAL NOTES ON FITTING HK-1 MESH
REFER TO SHEETS 2 AND 3 FOR DETAILS

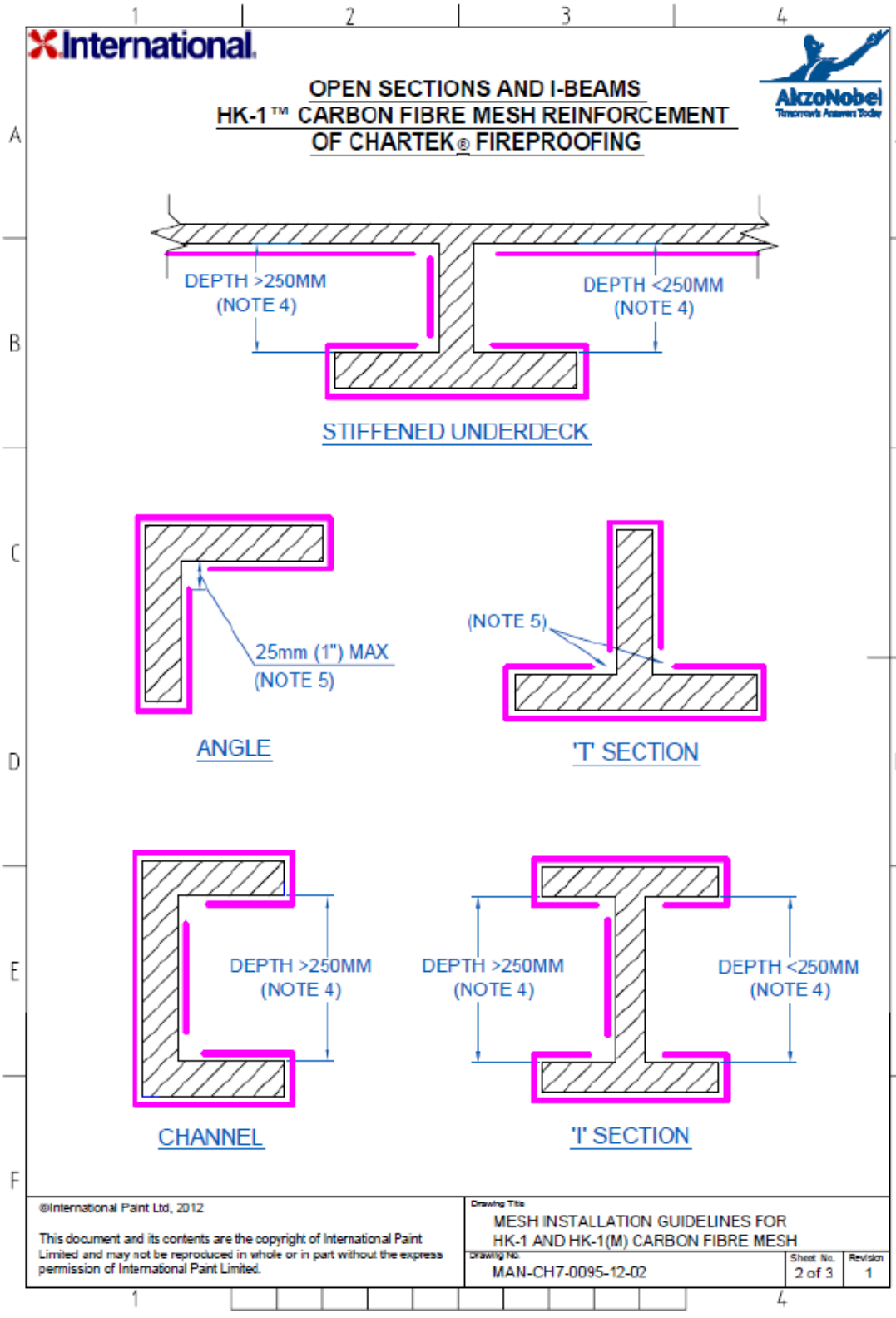
1. Chartek - HK-1 mesh required for all certified thicknesses.
2. Mesh should be installed at approximately half the final coating thickness of the Chartek.
3. Overlap adjacent pieces of mesh by a minimum of 50mm (2") for pool fires, or 150mm (6") for jet fires.
4. Webs shall be meshed if their depth exceeds 250mm (10").
5. Where edges of mesh meet at internal angles the maximum allowable gap is 25mm (1"), except where jet fire protection is required.
6. To minimise waste the straight carbon (black) fibres should be installed parallel to flange edges and the axis of hollow sections.

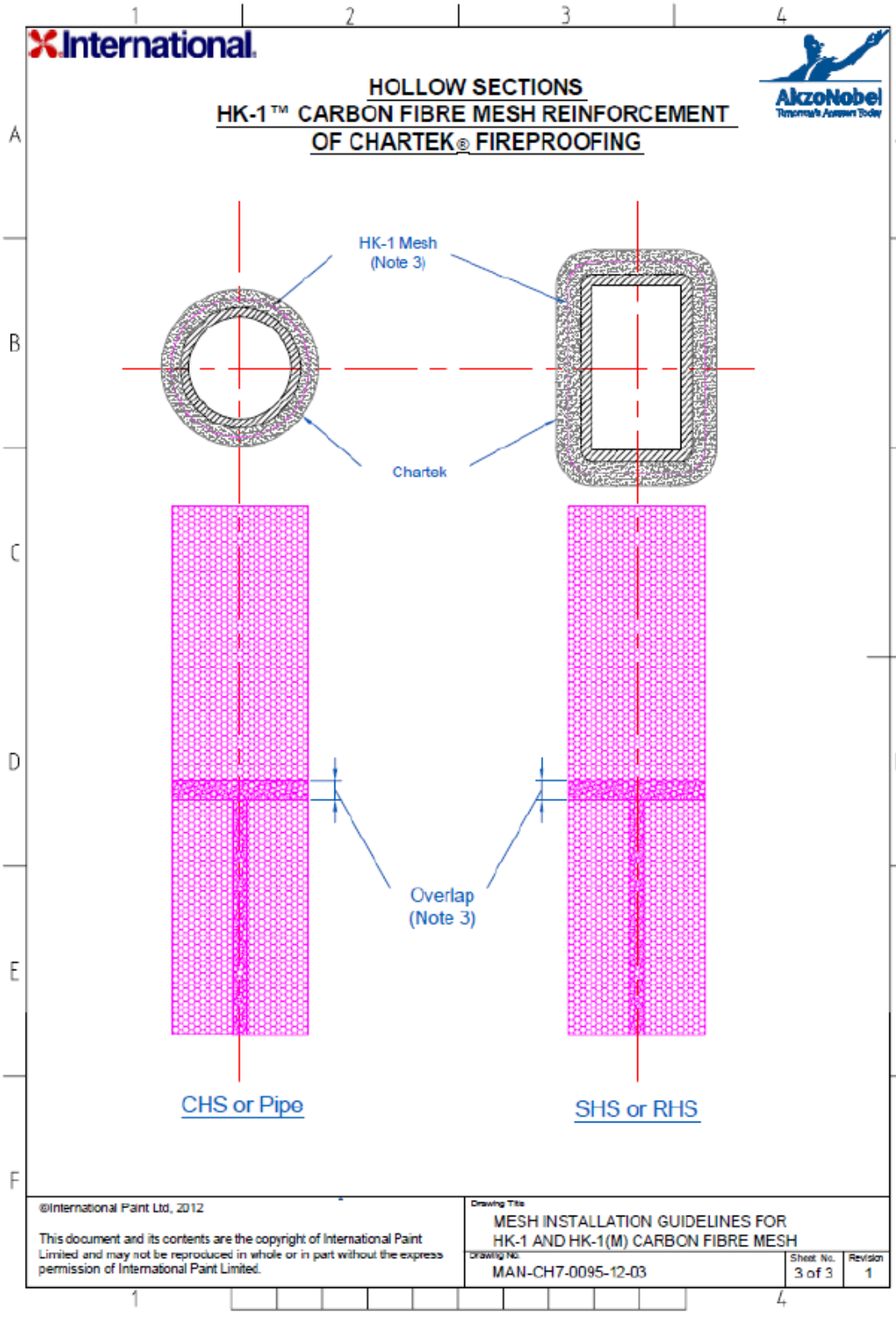
©International Paint Ltd, 2013

This document and its contents are the copyright of International Paint Limited and may not be reproduced in whole or in part without the express permission of International Paint Limited.

AkzoNobel
Fire Protection
Stoneygate Lane
Felling
Gateshead
United Kingdom
NE10 0JY
Tel: +44 (0) 191 401 2481

Owner/Operator	N/A
Engineering Co.	N/A
Applicator	N/A
Project Name	CHARTEK APPLICATION MANUAL
Drawn By: PH / Checked By: RW / Scale: NTS / Date: 16/01/2013	
Drawing Title	MESH INSTALLATION GUIDELINES FOR HK-1 AND HK-1(M) CARBON FIBRE MESH
Drawing No.: MAN-CH7-0095-13-01 / Sheet No.: 1 of 3 / Revision: 2 / Sheet Size: A4	


International
AkzoNobel
OPEN SECTIONS AND I-BEAMS
HK-1™ CARBON FIBRE MESH REINFORCEMENT
OF CHARTEK® FIREPROOFING
DEPTH >250MM
(NOTE 4)
DEPTH <250MM
(NOTE 4)
STIFFENED UNDERDECK
25mm (1") MAX
(NOTE 5)
ANGLE
(NOTE 5)
'T' SECTION
DEPTH >250MM
(NOTE 4)
CHANNEL
DEPTH >250MM
(NOTE 4)
DEPTH <250MM
(NOTE 4)
'I' SECTION
©International Paint Ltd, 2012
This document and its contents are the copyright of International Paint Limited and may not be reproduced in whole or in part without the express permission of International Paint Limited.
Drawing Title
MESH INSTALLATION GUIDELINES FOR
HK-1 AND HK-1(M) CARBON FIBRE MESH
Drawing No.
MAN-CH7-0095-12-02
Sheet No.
2 of 3
Revision
1


International
AkzoNobel
HOLLOW SECTIONS
HK-1™ CARBON FIBRE MESH REINFORCEMENT
OF CHARTEK® FIREPROOFING
HK-1 Mesh
(Note 3)
Chartek
Overlap
(Note 3)
CHS or Pipe
SHS or RHS
©International Paint Ltd, 2012
This document and its contents are the copyright of International Paint Limited and may not be reproduced in whole or in part without the express permission of International Paint Limited.
Drawing Title
MESH INSTALLATION GUIDELINES FOR
HK-1 AND HK-1(M) CARBON FIBRE MESH
Drawing No.
MAN-CH7-0095-12-03
Sheet No.
3 of 3
Revision
1

INSTALLATION GUIDELINES
CHARTEK® 7 - METAL MESH REINFORCEMENT

GENERAL NOTES ON FITTING METAL MESH
REFER TO SHEETS 2 & 3 FOR DETAILS

1. Metal mesh shall be installed on all structural member edges.

2. Leg length on metal mesh edging should not exceed 100mm (4").

3. Other than structural edges, mesh may be mechanically attached to the substrate by the use of welded pins.

4. Metal mesh shall be 12.7mm x 12.7mm x 1mm (½" x ½" x 19 gauge) galvanized hardware cloth, or 12.7mm (½") hexagonal opening, 0.75-0.9mm diameter (20-22 gauge) wire mesh.

5. On flange faces, if the distance between legs of metal mesh edging strip exceeds 150mm (6"), then strips a minimum of 100mm (4") wide shall be fixed between the legs by welded pins as described above. The same applies to exterior flange faces when the distance between the edging strip and the web to flange intersection exceeds 150mm (6").

6. The allowable gap between any two pieces of mesh shall not exceed 50mm (2"). See notes for jet fire below.

7. If the depth of the web exceeds 250mm (10") then attach mesh to the web.

8. Where Chartek 7 thickness is greater than 12mm, metal mesh shall be stood off the surface by 3mm (1/8").

9. Weld pins shall be 25mm (1") to 38mm (1½") long and 3mm (1/8") in diameter. Where Chartek 7 thickness is less than 7mm (275mils) then 2mm (5/64") diameter pins may be used). Adhesively bonded studs must not be used.

10. For metal mesh on hollow sections, where pins are not utilised, then the mesh should be laced together at the join. Tie wire is an acceptable alternative to lacing, however the spacing between ties must not exceed 150mm (6"). Adjacent pieces of mesh should be rotated so that a continuos seams avoided.

SPECIAL NOTES ON JET FIRES

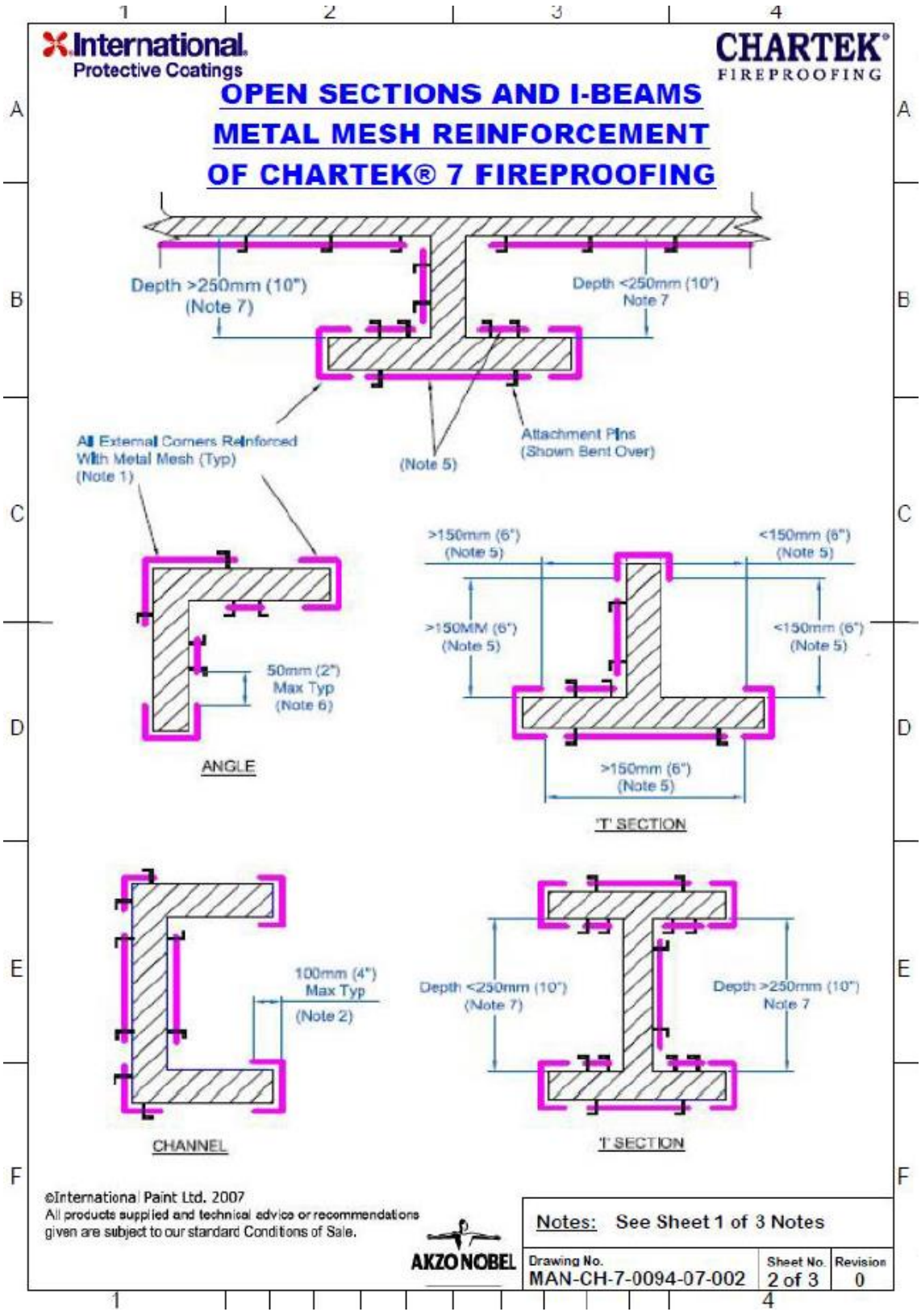
J1. Adjacent pieces of mesh shall be installed as close as reasonably possible to each other, and no gaps shall exceed 25mm (1").

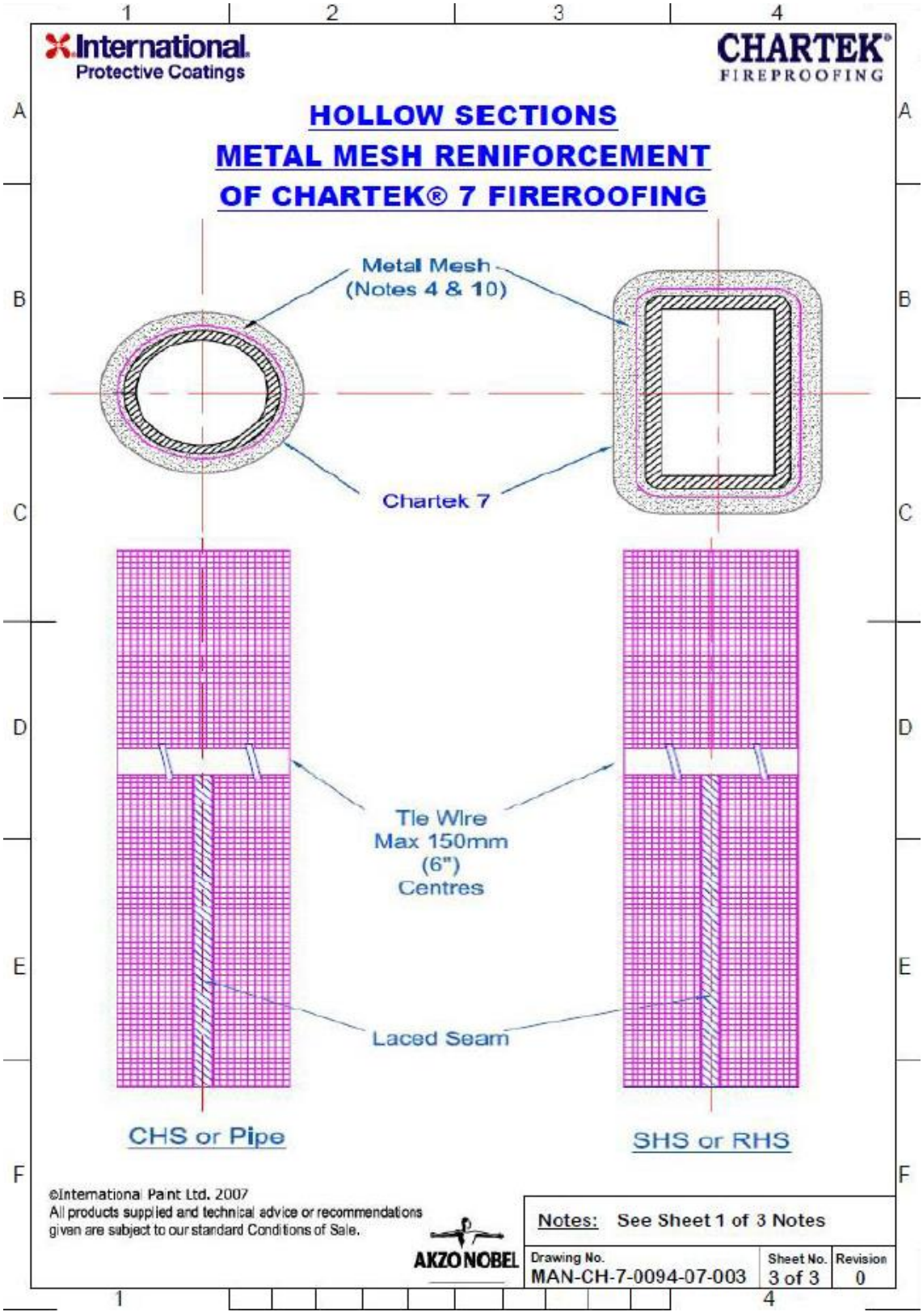
J2. For jet fire applications stainless steel grade 316 metal mesh (hardware cloth) 12.7mm x 12.7mm x 1mm (½" x ½" x 19 gauge) may be used.

©International Paint Ltd. 2013
All products supplied and technical advice or recommendations given are subject to our standard Conditions of Sale.

AKZO NOBEL
CHARTEK® FIREPROOFING
International Protective Coatings

Project Name: CHARTEK 7 APPLICATION MANUAL			
Drawn By: PH	Checked By: RW	Scale: NTS	Date: 06/03/2013
Drawing Title: INSTALLATION GUIDELINES - CHARTEK 7 METAL MESH REINFORCEMENT			
Drawing No.: MAN-CH7-0094-13-01	Sheet No.: 1 of 3	Revision: 1	Sheet Size: A4


International
Protective Coatings
CHARTEK®
FIREPROOFING
OPEN SECTIONS AND I-BEAMS
METAL MESH REINFORCEMENT
OF CHARTEK® 7 FIREPROOFING
Depth >250mm (10")
(Note 7)
Depth <250mm (10")
Note 7
All External Corners Reinforced
With Metal Mesh (Typ)
(Note 1)
(Note 5)
Attachment Pins
(Shown Bent Over)
50mm (2")
Max Typ
(Note 6)
ANGLE
>150mm (6")
(Note 5)
<150mm (6")
(Note 5)
>150MM (6")
(Note 5)
<150mm (6")
(Note 5)
>150mm (6")
(Note 5)
'T' SECTION
100mm (4")
Max Typ
(Note 2)
CHANNEL
Depth <250mm (10")
(Note 7)
Depth >250mm (10")
Note 7
'I' SECTION
©International Paint Ltd. 2007
All products supplied and technical advice or recommendations
given are subject to our standard Conditions of Sale.
AKZONOBEL
Notes: See Sheet 1 of 3 Notes
Drawing No.
MAN-CH-7-0094-07-002
Sheet No.
2 of 3
Revision
0


International
Protective Coatings
CHARTEK
FIREPROOFING
HOLLOW SECTIONS
METAL MESH RENIFORCEMENT
OF CHARTEK® 7 FIREROOFING
Metal Mesh
(Notes 4 & 10)
Chartek 7
Tie Wire
Max 150mm
(6")
Centres
Laced Seam
CHS or Pipe
SHS or RHS
©International Paint Ltd. 2007
All products supplied and technical advice or recommendations given are subject to our standard Conditions of Sale.
AKZONOBEL
Notes: See Sheet 1 of 3 Notes
Drawing No. MAN-CH-7-0094-07-003
Sheet No. 3 of 3
Revision 0

Investoinnin sisältävät laitteet hintoineen:

• **PFP pumppu**	**56 500 €**
• **Painepesuri**	**2 500 €**
• **Työkalusarja**	**500 €**
• **Hitsauslaite(piikeille)**	**1 600 €**
• **Työmaakeskus 2*400V, 4*230V**	**70 €**
• **Varaosat**	**7 500 €**
• **Hiekkapuhalluslaite 60l**	**1 290 €**
• **Ilmasäiliökärryt paineilmamaskeille**	**1 000 €**
• **Paineilmahuppu (2kpl)**	**320 €**
• **Paineilmaletku maskeille 20m (4kpl)**	**120 €**
• **Paineilmaletku 3/4" 20m (3kpl)**	**75 €**
• **Kompressori 200L**	**1 250 €**
• **Rakennuslämmitin 5kW (3kpl)**	**200 €**
Yht.	**72 925 €**