

YLEISOHJEEN SISÄLTÖ



Kuva 1. Reunapalkin impregnointia.



Kuva 2. Eristysalustan tiivistystä.



Kuva 3. Pinnoitusta ruiskuttamalla.

1	YLEISTÄ	3
1.1	Ohjeen käyttöalue	
1.2	Suoja-aineiden käytön historia	
1.3	Suoja-aineita vaurioittavat tekijät	
1.4	Suoja-aineisiin liittyvät käsitteet	
1.4.1	Betonin suojaustyön vaiheet	
1.4.2	Termit ja määritelmät	
2	BETONIN SUOJA-AINEET	9
2.1	Vettähyökkivät impregnointiaineet	
2.2	Tiivistysaineet	
2.3	Pinnoitteet	
2.3.1	Pinnoitteiden yleisiä ominaisuuksia	
2.3.2	Pinnoitetyyppien ominaisuuksia	
2.3.3	Karbonatisoitumista estävät pinnoitteet	
2.3.4	Halkeamia silloittavat pinnoitteet	
2.3.5	Silotteet ja tasoitteet	
2.4	Töiherrystenestoaineet ja puhdistusmenetelmät	
2.4.1	Betonirakenteen puhdistettavuus	
2.4.2	Töiherrystenestoaineet	
2.4.3	Töiherrystenpoistoaineet	
2.4.4	Puhdistusmenetelmät	
3	SUOJAUSTYÖN SUUNNITTELU	18
3.1	Suojattavan rakenteen tarkastus	
3.2	Suojaustyön periaateratkaisun teko	
3.3	Suunnitelman laatiminen	
4	SUOJA-AINEIDEN LAATUVAATIMUKSET	24
4.1	Testattavat ominaisuudet	
4.2	Impregnointiaineet	
4.3	Tiivistysaineet	
4.4	Pinnoitteet	
4.5	Töiherrystenestoaineet	
4.6	Muut vaatimukset	
4.6.1	Suojaustyölle asetettavat vaatimukset	
4.6.2	Mallikorjaus (ennakkokoe)	
5	BETONIRAKENTEEN SUOJAUSTYÖ	30
5.1	Työtasot ja sääsuojat	
5.2	Pinnan esikäsittely	
5.2.1	Pintojen puhdistus	
5.2.2	Töiherrysten poisto	
5.2.3	Raudoitustankojen käsittely	
5.2.4	Betonipintojen paikkaus	
5.2.5	Sementtiliiman poisto	
5.2.6	Tartuntapinnan kosteustila	

5.3	Suoja-aineiden levitys	7	LAADUNVARMISTUS	40
5.3.1	Huokosten täyttö ja tasoitustyöt	7.1	Laadunvarmistuksen tavoitteet	
5.3.2	Levitys siveltimellä tai harjalla	7.2	Korjaajan pätevyys	
5.3.3	Ruiskulevitys	7.3	Korjaustyön valmistelu	
5.3.4	Pinnoitekalvon paksuus	7.4	Työnaikaiset kokeet ja valvonta	
5.3.5	Pinnoitteen menekin laskeminen	7.5	Kelpoisuuskokeet	
5.4	Jälkihoito	7.6	Kelpoisuusraportti	
6	TYÖ- JA YMPÄRISTÖNSUOJELU	8	RINNAKKAISET OHJEET	42
6.1	Työturvallisuus	8.1	Standardit	
6.2	Ympäristönsuojelu	8.2	Muut ohjeet	

Tiehallinto, siltayksikkö 1998

SILKO-projektin betonityöryhmä:

Diplomi-insinööri Jouko Lämsä	puh.joht.	Tiehallinto, siltayksikkö
Tutkimusinsinööri Aki Meuronen		IVO Teknologiakeskus
Toimitusjohtaja Esko Nikkola		Liimakon Oy
Diplomi-insinööri Ossi Räsänen		Tiehallinto, siltayksikkö
Erikoistutkija Erkki Vesikari		VTT Rakennustekniikka
Toimitusjohtaja Jorma Huura	sihteeri	Insinööritoimisto Jorma Huura Ky

Erikoisasiantuntijat:

Ryhmäpäällikkö Eva Häkkä-Rönholm	VTT Rakennustekniikka
Tutkija Liisa Salparanta	VTT Rakennustekniikka
Terminologi Katri Seppälä	Tekniikan Sanastokeskus
Työsuojeluinsinööri Seija Vilander	Tielaitos, tuotanto, pääkonttori
Toimitusjohtaja Raimo Vartiainen	Ceruleeni Oy

Konsultti: Insinööritoimisto Jorma Huura Ky

Piirroksat: Eva Häkkä-Rönholm, kuva 14
Konsultti, kuvat 9, 10 ja 20
Lähde mainittu kuvan yhteydessä, muut kuvat

Valokuvat: Hämeen tiepiirin työntutkimukset, kuvat 3 ja 27
Harri Lukkarinen, kuva 28
Petri Painilainen, kuva 31
Teknos Winter Oy, kuvat 29 ja 30
Pertti Virtanen, kuva 2
Värineuvosto r.y., kuva 5
Konsultin kuva-arkisto, muut kuvat

Julkaisua myy:

Tiehallinto

Siltayksikkö
Opastinsilta 12 A
PL 33, 00521 HELSINKI
Puhelin 0204 442 634
Telekopio 0204 442 395

1. YLEISTÄ

1.1 Ohjeen käyttöalue

Ohje on laadittu siltojen korjausohjejärjestelmän eli SILKO-ohjeiston osana. Ohjetta käytetään

- korjattaessa vanhoja siltoja ja uudisrakentamisessa sattuneita virheitä
- suojattaessa betonia ympäristörasituksia vastaan
- pinnoitettaessa siltoja ulkonäkösyistä.

Täydentäviä ohjeita ovat betonia ja polymeerejä sillankorjausmateriaalina käsittelevät ohjeet /1/ ja /2/. Ohje on yleisohje, jota yksityiskohtainen korjausohje /3/ täydentää.

Ohje täydentää sillanrakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia /4/ korjausrakentamisen osalta.

Betonin suojaamista koskevaa tietoa on saatavissa myös muista alan ohjeista /5/. Betonin suojaamiseen käytettäviä eristysmassoja (elastomeerejä) ja bitumisia kosteuden- ja vedeneristysaineita on käsitelty SILKO-yleisohjeessa 1.801 ja ohutkerrospäällysteitä SILKO-yleisohjeessa 1.802.

1.2 Suoja-aineiden käytön historia

Betonisiltojen näkyvien pintojen suojaustoiminnan alkuna voidaan pitää muutamien vanhimpien teräs-betonisiltojen ruiskubetonointia 1930-luvulla. Päälysrakenteiden pintoja oli tapana pinnoittaa (slammata) sementin ja veden seoksella 1950- ja 1960-luvuilla (kuva 4). Slammaus tehtiin usein vain sillan näkyviin pintoihin, joten sillä pyrittiin ehostamaan siltaa, mutta useissa tapauksissa sillä peitettiin myös valuvikoja. Tuolloin ei kuitenkaan vielä tiedetty, että ruiskubetoni ja slammaus vähentävät usein myös betonin karbonatisoitumista.



Kuva 4. Slammattuja betonipintoja (Nokianvirran silta, Nokia).

Värineuvosto ry. teki vuonna 1975 TVH:n sillanrakennustoimistolle aloitteen siltojen maalamisesta. Aloitetta perusteltiin liikenneturvallisuussyillä, rumien, väriltään epätasaisten betonipintojen peittämällä tai joissain tapauksissa sillan sopeuttamisella paremmin maisemaan. Aloite johti seitsemän Uudenmaan ja Turun piireissä sijaitsevan sillan maalaamiseen. Maaleja valittaessa ei otettu huomioon betonin suojaamista, joten ne eivät ole ehkäisseet karbonatisoitumista. Kolme silloista onkin jo peruskorjattu ja samalla maalaus on uusittu pinnoittamalla. Maalaukset olivat vuonna 1995 osittain

jäljellä neljässä sillassa (kuva 5). Lisäksi koululaiset ja joissain tapauksissa taiteilijat ovat maallanneet useita alikulkukäytäviä. Näissäkin tapauksissa tavoitteena on ollut betonipintojen elävöittäminen ilman suojausvaikutusta.



Kuva 5. Värityskokeilussa mukana ollut (Nummenkylän risteyssilta, Vihti).

Betonisiltoja alettiin suojata karbonatisoitumista ja kloridien tunkeutumista vastaan 1970-luvulla (kuva 6).

Reunapalkkien suojaaminen klorideja vastaan impregnoimalla on ollut sillanrakennustöiden yleisessä työselityksessä SYT:ssä vuodesta 1978 lähtien, jolloin TVH antoi myös väliaikaiset ohjeet impregnoinnista. Vuodesta 1988 lähtien impregnointi on esitetty siltakohtaisesti siltasuunnitelmassa. Impregnointi on jäänyt tekemättä joissakin tapauksissa, koska useimmat aineet voidaan levittää betonipintaan vasta puolen vuoden kuluttua valusta, jolloin työmaaorganisaatio on jo purettu.

Suolaroiskeille altistuvia väli- ja maatukia on impregnoitu siitä lähtien, kun 1990-luvulla sillantarastuksissa havaittiin erittäin suuria kloridipitoisuuksia melko uusissakin rakenteissa.

Pinnoitteisiin on suhtauduttu 1990-luvulle asti varauksin. Vertailevia tutkimuksia ja kokeiluja on tehty useita, jotta asia hallittaisiin riittävän hyvin ennen laajempaa käyttöä. Vanhimmat kokeilut epäonnistuivat yleensä betonipinnan liian suuren kloridipitoisuuden tai kosteusvuotojen vuoksi. Toisaalta pinnoitteiden ominaisuudetkaan eivät ole vastanneet silloilta vaadittavia ominaisuuksia, mm. halkeamia silloittavia pinnoitteita on tullut markkinoille vasta 1990-luvulla.



Kuva 6. Eräs vanhimmista pinnoitetuista silloista (Sattmarkin silta, Parainen).

Suomessa betonipintojen suojaaminen töherryksiä vastaan on tullut ajankohtaiseksi 1980-luvulla, kun alikulkukäytäviä ja muita siltoja on rakennettu enemmän taajama-alueille. Töherrysten poistoon liittyy myös ympäristönsuojeluongelmia, koska tehokkaat aineet ovat yleensä samalla haitallisia ympäristölle.

Suoja-aineita käytetään siltojen korjausrakentamisessa, kun

- estetään kloridien tunkeutumista betonirakenteisiin kuten reunapalkkeihin ja väli- ja maatikien suolaroiskeille altistuviin pintoihin
- estetään ilman hiilidioksidin tunkeutumista betoniin eli estetään betonin karbonatisoitumista
- estetään kosteuden tunkeutumista betoniin
- suojataan siltoja töherryksiltä tai helpotetaan töherrysten poistamista
- parannetaan siltarakenteiden havaittavuutta liikenneturvallisuuksista
- parannetaan sillan ulkonäköä ja sopeutumista ympäristöönsä.

1.3 Suoja-aineita vaurioittavat tekijät

Sillan betonipintoihin kohdistuu sekä ulkoisia että sisäisiä rasituksia, kuten

- auringonsäteily (UV ja IR), joka rikkoo orgaanisia sidoksia, ja aiheuttaa lujoukatoa ja värimuutoksia
- lämpötilanvaihtelu, joka aiheuttaa mm. pinnoitteen irtoamista ja halkeilua, kun aineilla on erilaiset pituuden lämpötilakertoimet
- vesi ja kosteus, jotka betonissa jäätyessään aiheuttavat pakkasvaurioita ja suoloja liuottaessaan pinnoitteen irtoamisen betonista
- kaasut ja epäpuhtaudet, jotka aiheuttavat pinnoitteen kovettumista, haurastumista ja värimuutoksia
- levät ja sienet, jotka pidättävät kosteutta pinnassa, ja aiheuttavat jäätymisvaurioita
- ilkeävalta
- auringon säteily, joka heittää suolapitoisen, hiekkaa ja jääkimpaleita sisältävän lumisohjon alusrakenteiden pinnoille kuluttaen niitä
- kunnossapitokaluston aiheuttamat iskut.

Rasitusta lisäävät huonosti tehdyt saumat ja tippunokat tai niiden puuttuminen.

Rasitukset ovat niin voimakkaita, että pinnoitteita joudutaan uusimaan 10 - 15 vuoden välein, ja 30 vuoden kestoikä on toistaiseksi erittäin harvainen.

Eri suoja-aineilla on seuraavanlaisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat aineiden vaurioitumiseen.

Impregnointiaineista silaanit ja siloksaanit eivät yleensä kestä betonin emäksisyyttä, joten ne voidaan levittää vain karbonatisoituneelle betonipinnalle. Riittävä aika betonoinnista on yleensä kuusi kuukautta, mutta aineiden välillä on tuotekohtaisia eroja. Ultravioletisäteily puolestaan tuhoaa aineita niin, että käsittely on uusittava 3 - 7 vuoden välein.

Jos betonin kloridipitoisuus on ylittänyt kriittisen rajan raudoituksen tasolla, impregnointikäsittely ei estä raudoituksen korroosiota.

Tiivistys- ja pinnoitusaineiden yleisin vaurio on irtoaminen. Irtoamisen yleisin syy on aineen huono vesihöyrynläpäisevyys, jolloin rakenteen taustasta suotautuva kosteus tiivistyy ko. aineella käsitellyn pinnan alle ja murtaa jäätyessään betonin (kuva 7). Muita irtoamisen syitä ovat

- polymeeripinnoitteen alustan liian suuri kosteuspitoisuus
- kosteuden ja suolojen pääsy pinnoitteen alle ulkopuolelta, jos betonipinnan huokosia ei ole täytetty ennen pinnoitusta
- työvirhe, kuten huolimaton alustan esikäsitteleminen, liian ohut pinnoitekalvo, väärä levitystapa, aineiden yhteensopimattomuus, sopimaton lämpötila kovettumisen aikana tai ohjeiden vastainen pinnoitustyö (kuva 8).

Jos pinnoiteyhdistelmän pintakerros hilseilee pois, pintakerros on levitetty liian kostealle pinnalle eli kyseessä on työvirhe.



Kuva 7. Liian tiiviin pinnoitteen aiheuttama pakkasvaurio.

Pinnoitteet kuluvat maa- ja välitukien alaosista, jos niihin kohdistuu aurauksen aiheuttama roiskerasitus. Tämä näkyy pintaan ilmestyvinä koloina. Huolimaton auraus saattaa myös aiheuttaa pinnoitteeseen naarmuja.



Kuva 8. Pinnoitekerrokset ovat irronneet toisistaan työvirheen vuoksi.

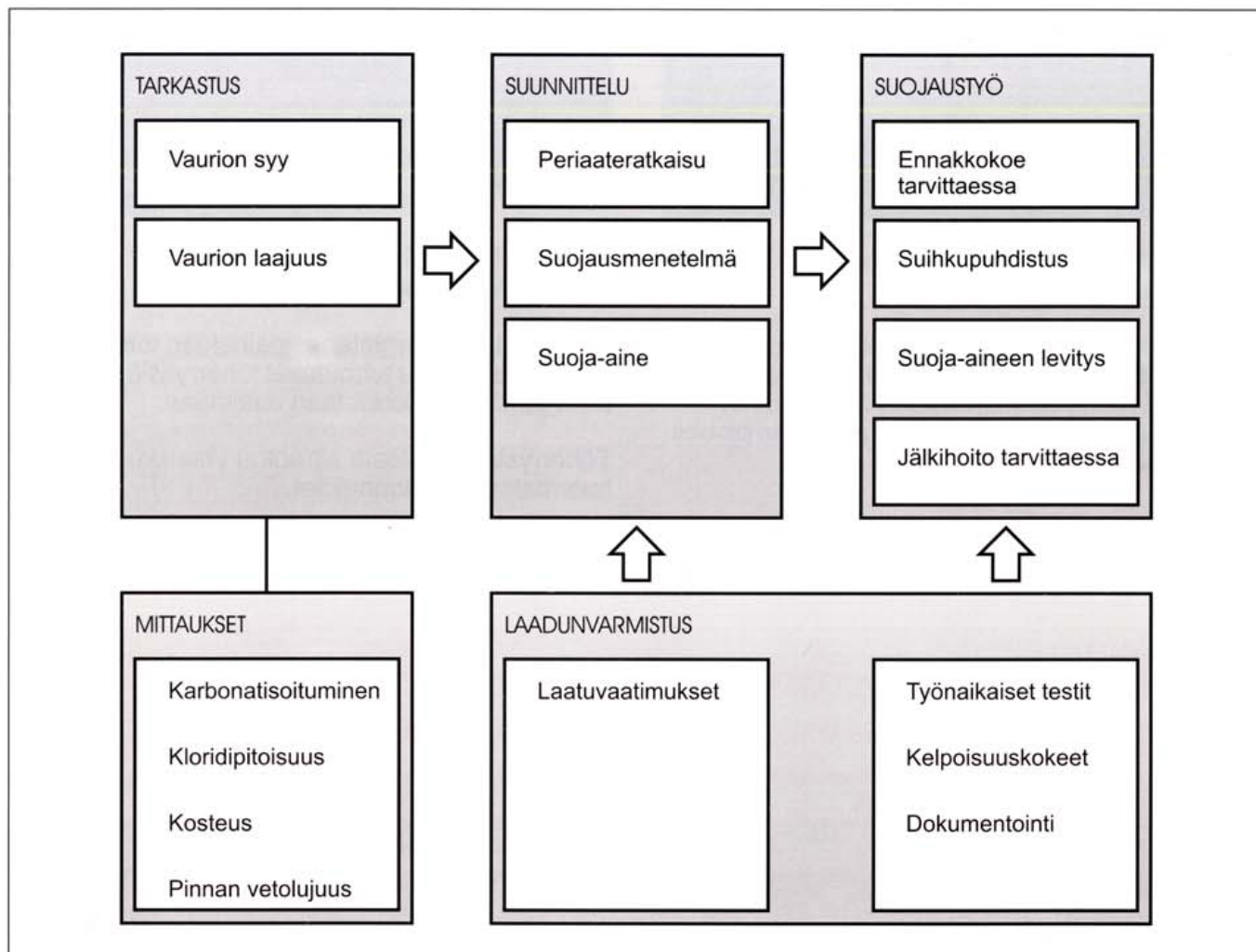
Uhrautuvien töherrystenestoaineiden toimintaperiaate on se, että ne tuhoutuvat töherryksiä poistettaessa ja käsittely joudutaan uusimaan.

Töherrysten poistosta aiheutuu yhteiskunnalle huomattavat kustannukset.

1.4 Suoja-aineisiin liittyvät käsitteet

1.4.1 Betonin suojaustyön vaiheet

Betonirakenteen suojaustyö etenee kuvan 9 esittämissä vaiheissa.

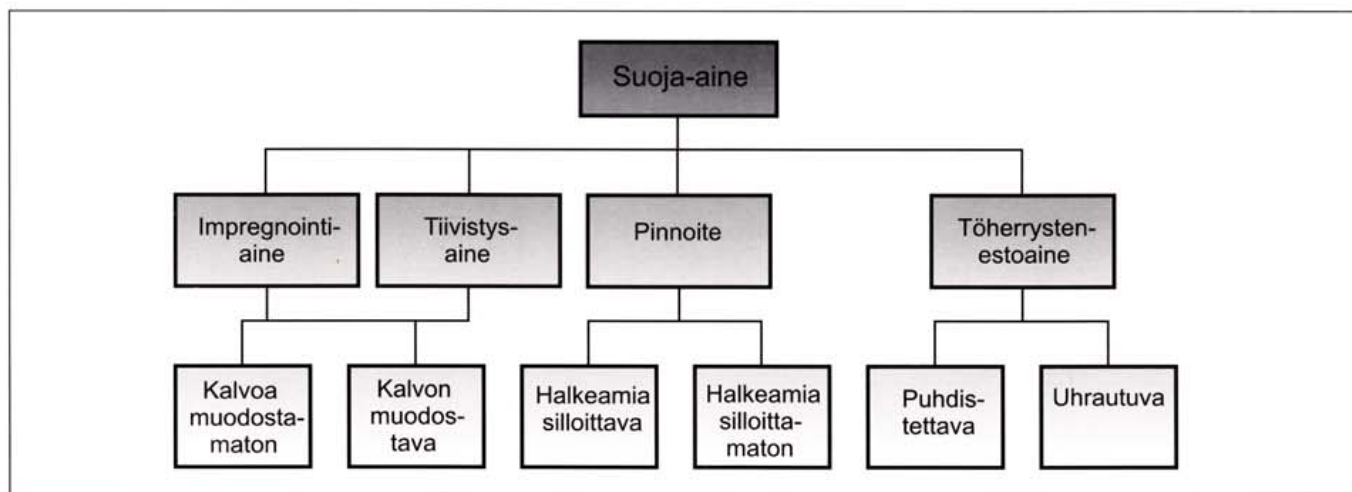


Kuva 9. Betonipinnan suojaustyön vaiheet.

1.4.2 Termit ja määritelmät

Betonin suoja-aineiden käsitejärjestelmä on esitetty kuvassa 10 ja tässä ohjeessa käytetyt termit ja

määritelmät kuvaa seuraavassa tekstissä. Suoja-aineiden toimintaperiaatteet on esitetty kuvassa 22.



Kuva 10. Suoja-aineiden käsitejärjestelmä.

impregnointi vettähyhkivällä aineella

nesteen imeyttäminen huokoiseen betonipintaan (kuva 11)

Tavoitteena on saada aikaan vettähyhkivä pinta, joka ei ole kuitenkaan neste-, höyry- tai kaasutiivis. Aine levitetään ruiskuttamalla tai sivelemällä. Impregnointiaine ei sisällä pigmenttejä tai täyteainetta.

tiivistys; ml. osittain huokosia täyttävä impregnointi

pinnan huokosten osittainen sulkeminen tai kosteussulun tekeminen ohuen kalvon muodostavalla aineella (kuva 12)

Tavoitteena on pinnan neste-, kaasu- ja höyrytiivis sekä pinnan lujittaminen. Epäjatkuvan kalvon muodostavalla tiivistysaineella pinnalle tulee 0-100 µm:n kalvo. Tiivistysaineessa voi olla pigmenttejä ja täyteainetta.

pinnoitus

pinnan suojaaminen peittävällä kalvolla, joka tarttuu kovettuessaan alustaan (kuva 13)

Tavoitteena on pinnan suojaaminen tarpeen mukaan jopa mekaanista kulutusta vastaan. Pinnoituksen paksuus on vähintään 80 µm. Pinnoitteessa on pigmenttejä ja täyteainetta.

pinnoite

betonin pinnalle levitettävä aine, joka parantaa rakenteen säilyvyyttä

silloittava pinnoite

betonirakenteen halkeamissa tapahtuvia liikkeitä kestävä pinnoite

polymeeripinnoite

pinnoite, jonka sideaineena on polymeeri

sementtipinnoite

pinnoite, jonka sideaineena on sementti

sementtipohjainen pinnoite

polymeerisementtipinnoite tai polymeerimodifioitu sementtipinnoite

polymeerisementtipinnoite

polymeeripitoinen sementtipinnoite, jossa polymeerin kuiva-ainepitoisuus on yli 5% sementin painosta

polymeerimodifioitu sementtipinnoite

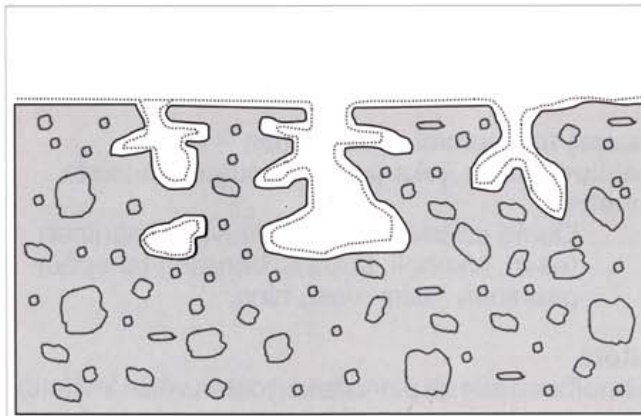
polymeeripitoinen sementtipinnoite, jossa polymeerin kuiva-ainepitoisuus on alle 5% sementin painosta

pinnoiteyhdistelmä

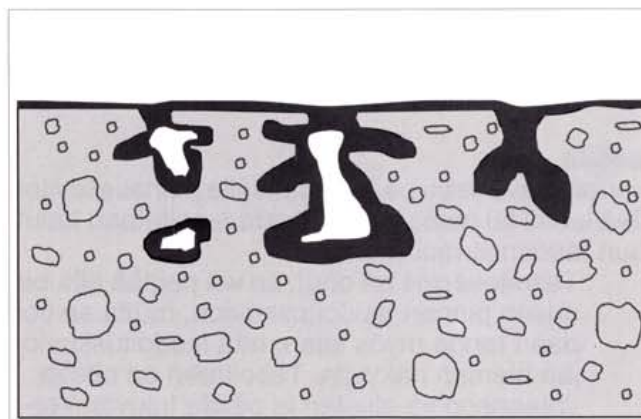
yhdestä tai useammasta määritellystä kerroksesta koostuva, tietyn paksuinen betonin suojakalvo

pigmentti

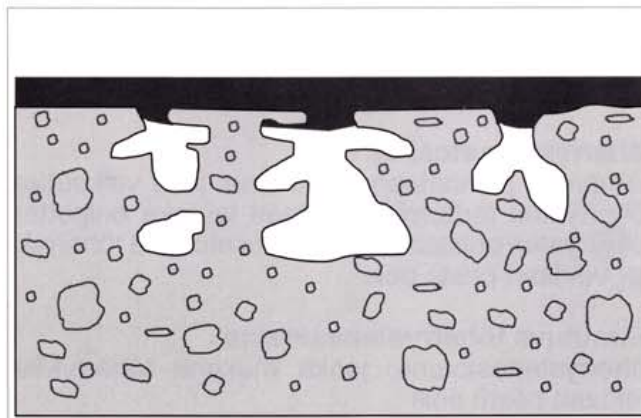
hienojakoinen, sideaineeseen liukenematon korroosionesto- tai väri jauhe



Kuva 11. Impregnointi vettähyhkivällä suoja-aineella.



Kuva 12. Tiivistys kalvonmuodostavalla suoja-aineella.



Kuva 13. Pinnoitus kalvonmuodostavalla pinnoitteella.

polymeeri

aine, jonka molekyylit pieniä epäsäännöllisyyksiä lukuun ottamatta koostuvat monesta yhteen liittyneestä pienimolekyylisestä rakenneyksiköstä, joiden lukumäärä on niin suuri, että muutaman yksikön lisäys tai vähennys ei enää vaikuta aineen ominaisuuksiin

Alkuperänsä mukaan polymeerit jaetaan toisaalta luonnonpolymeereihin ja keinotekoiisiin eli synteettisiin polymeereihin, toisaalta epäorgaanisiin (esim. silikonipolymeerit) ja orgaanisiin polymeereihin.

tartunta-aine; mielummin kuin: primer
pinnoitteen tartuntaa parantava nestemäinen aine
Tartunta-aineet vaihtelevat tuotekohtaisesti.

liuote; mielummin kuin: liuotin
haihtuva neste, joka pystyy liuottamaan toista ainetta

Liuote on tavallisesti haihtuva orgaaninen (esim. alkoholi, tärpätti, bensiini) tai epäorgaaninen (esim. vesi) aine.

silote
pinnoitteen alle tai pinnoitekerrosten väliin levitettävä tuotekohtainen laasti tai massa, jolla täytetään betonipinnan huokokset ja reiät

Silotekerros jättää betonipinnan laudoituskuvion näkyviin. Silotteen on oltava yhteensopiva alustan ja päälle tulevan kerroksen kanssa. Silote levitetään yleensä vain huokosia ja reikiä sisältävälle pinnalle.

tasoite
pinnoitettavalle tai päällystettävälle pinnalle levitettävä laasti tai massa, jolla alusta tasoitetaan haluttuun tasoon ja muotoon

Tasoitekerros on ohut, se voi peittää alkupeiräisen pinnan laudoituskuvion, mutta se voidaan tehdä myös siten, että laudoituskuvio jää hieman näkyviin. Tasoitteen on oltava yhteensopiva alustan ja päälle tulevan kerroksen kanssa.

korroosionestoaine
raudoitustangon pintaan levitettävä aine, joka suojaa raudoitustankoa ruostumiselta
Korroosionestoaine on paikkausainekohtainen.

töherrystenestoaine
pinnan tai pinnoitteen suoja-aine, joka vaikeuttaa töherrysten tarttumista pintaan tai joka helpottaa töherrysten poistamista tai jonka mukana töherrykset voidaan pestä pois

uhrautuva töherrystenestoaine
töherrystenestoaine, jonka mukana töherrykset voidaan pestä pois
Puhdistetun pinnan suojaus joudutaan pesun jälkeen tekemään uudestaan.

puhdistettava töherrystenestoaine
töherrysten poistoa helpottava suoja-aine, joka vaikeuttaa töherrysten tarttumista tai helpottaa niiden poistamista
Suojakerros muodostaa joko itsenäisen kalvon tai on osa pinnoiteyhdistelmää. Pinta voidaan puhdistaa pinnoitteen valmistajan hyväksymällä liuotteella useita kertoja.

töherrystenpoistoaine
töherretyt betonipinnan tai pinnoitteen päälle levitettävä aine, joka irrottaa töherrykset alustastaan pintaa pestäessä
Töherrystenpoistoaineiden vaikutusajat ovat tuotekohtaisia.

dispersio
kaksi- tai monifaasinen seos, joka muodostuu hienojakoisesta aineesta sekoittuneena toiseen aineeseen

Dispersion hiukkaset voivat olla kiinteitä osasia, nestepisaroita tai kaasukuplia. Suoja-aineiden dispersiotyypit ovat suspensio ja emulsio.

akryyli-propionaattidispersio
akryylin ja jonkin propionaatin dispersio
Propionaatti on orgaanisen hapon suola. Termiin voidaan dispersion perään liittää vielä määrite kopolymeeri, jos halutaan korostaa, että kysymyksessä on kahden aineen muodostama dispersio.

suspensio
kiinteistä hiukkasista ja nesteessä koostuva dispersio

lateksi
polymeerihiukkasista ja nesteestä koostuva suspensio
Useimmiten veteen sekoittuneiden polymeerihiukkasten koko vaihtelee lateksissa välillä 0,1 - 10 µm. Lateksit ryhmitellään polymeerin kemiallisen koostumuksen mukaan.

emulsio
suoja-aine, jossa väliaineena on orgaanisen sideaineen ja veden dispersio

esikäsittely
suojattavan alueen työstäminen siten, että pinnan tartuntaominaisuudet ja puhtaus vastaavat asetettuja vaatimuksia
Betonipinnan esikäsittelymenetelmiä ovat hionta, puhdistus ja puhdistusjyrsintä. Puhdistusmenetelmiä ovat suihkupuhdistus, liekki-harjaus, suurpainepesu ja imurointi. Suihkupuhdistusmenetelmiä ovat hiekkapuhallus, vesihiiekkapuhallus ja sinkopuhdistus.

esikastelu; mielummin kuin: esikostutus
betonipinnan kosteustilan muuttaminen sementtipohjaiselle pinnoitteelle sopivaksi
Pinnan kosteustilan pitää olla pinnoitustyön alkaessa pinnoitteen tuotekohtaisen ohjeen mukainen.

hierto
pinnan tasoittaminen puu- tai teräslastalla

puhdistusjyrsintä, puhdistushionta
sementtiliiman ja epäpuhtauksien poisto kevyellä jyrsimellä tai hiomalaitteella 0 - 2 mm:n syvyydeltä

Muut esikäsittelyyn liittyvät termit on esitetty ao. SILKO-yleisohjeessa /6/, polymeerejä käsittelevät termit niitä käsittelevässä SILKO-yleisohjeessa /2/ ja kosteuskäsitteet vedeneristyskiä käsittelevässä SILKO-yleisohjeessa /7/.

2. BETONIN SUOJA-AINEET

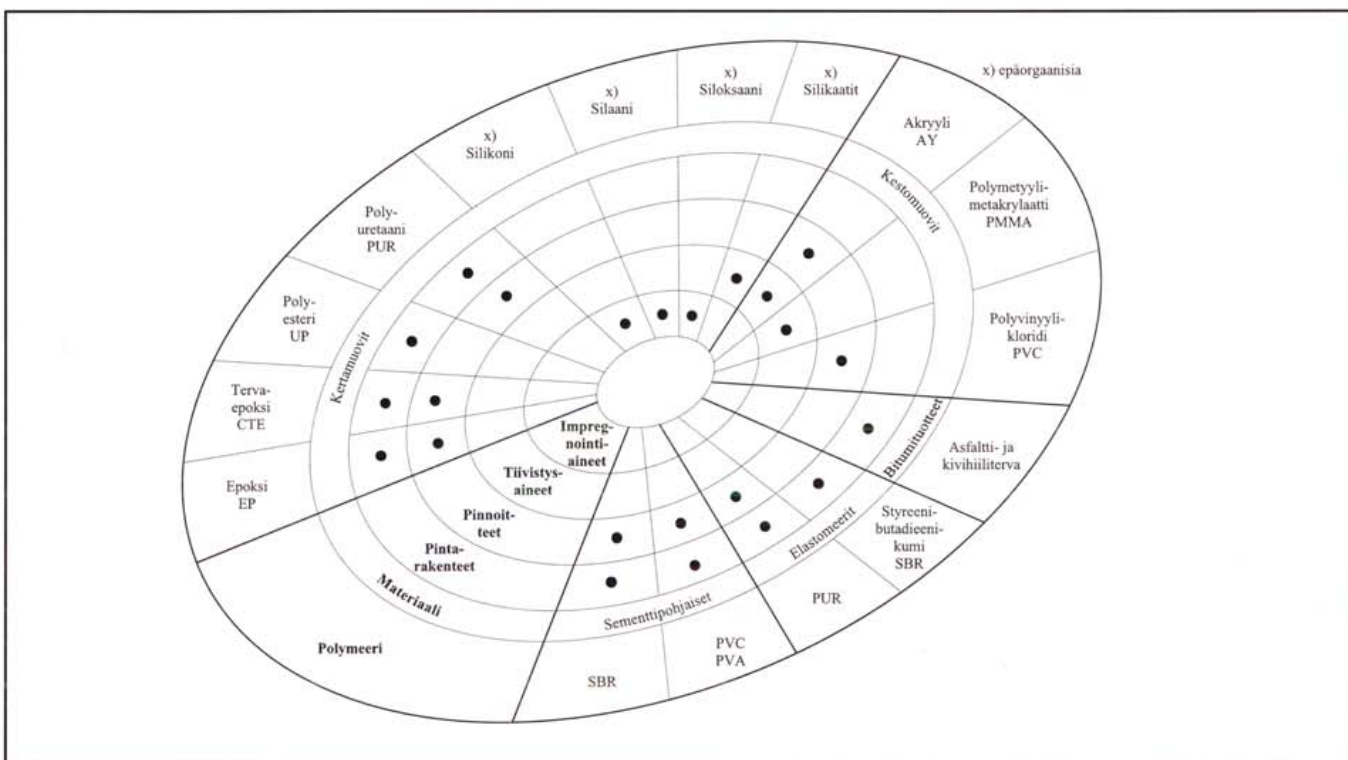
Betonin suoja-aineita käytetään ensisijaisesti betonin säilyvyyden parantamiseen, mutta niillä voidaan myös ehostaa sillan ulkonäköä. Suoja-aineiden ominaistiedot on esitetty taulukossa 1. Tielaitoksen siltayksikön hyväksymät suoja-aineet toimivat taulukossa esitetyllä tavalla.

Markkinoilla on erityyppisiä impregnointiaineita, tiivistysaineita ja pinnoitteita, jotka toimivat eri tavoin (kuva 14).

Tässä ohjeessa käsitellään tarkemmin sillankorjaustoissa käytettyjä betonin suoja-aineita. Suoja-ainetta valittaessa on ensin selvittettävä siltä vaadittavat ominaisuudet, koska mikään aine ei toimi kaikissa tilanteissa. Toiset eivät vaikuta juuri lainkaan betonin ulkonäköön, kun taas voimakkaasti pigmentoidut ja täyteaineiset peittävät pinnan täysin.

Taulukko 1. Suoja-aineiden vertailutietoja.

Pinta	Impregnointiaineet	Tiivistysaineet	Pinnoitteet
	eivät muodosta kalvoa	useimmat muodostavat epäjatkuvan kalvon	muodostavat kalvon
Kerrospaksuus	-	tyypillinen kalvo 0-100 µm	ohuet pinnoitteet 0,08 - 1,0 mm paksut pinnoitteet 1,0 - 5,0 mm
Vedenimu	vähentää	vähentää	vähentää
Vesihöyrynläpäisevyys	ei vaikutusta	vähentää	vähentää
Hiilidioksidinläpäisevyys	mahdollisesti lisää	vähentää	vähentää voimakkaasti
Pakkasen- ja pakkassuola-kestävyyden parantaminen	parantaa	parantaa	parantaa voimakkaasti
Vedessä olevien vahingollisten aineiden tunkeutumisen vähentäminen	vähentää mahdollisesti	vähentää mahdollisesti	vähentää
Vaikutus ulkonäköön	ei	mahdollinen	vaikuttaa
Betonin kosteus	kuiva	kuiva	kuiva tai korkeintaan kostea
Halkeamien silloitus	ei	ei	riippuu järjestelmästä



Kuva 14. Suoja-aineet.

2.1 Vettähylykivät impregnointiaineet

Vettähylykivät impregnointiaineet rajoittavat tai estävät vettä ja sen mukana kulkeutuvia suoloja kuten klorideja tunkeutumasta betoniin. Impregnointi saadaan aikaan peittämällä huokosten seinämät hyvin ohuella vettähylykivällä kerroksella. Näin huokokset eivät täyty ja rakenteesta suotautuvan vesihöyryn läpäisevyyttä ei rajoiteta. Vettähylykiviä impregnointiaineita ovat /8/

- silikonihartsit, siloksaanit ja silaanit
- stearaatit (ei käsitellä tässä ohjeessa).

Silikonihartseja valmistetaan synteettisesti piime-tallista ja orgaanisista kemikaaleista, ja ne ovat valmiita tuotteita.

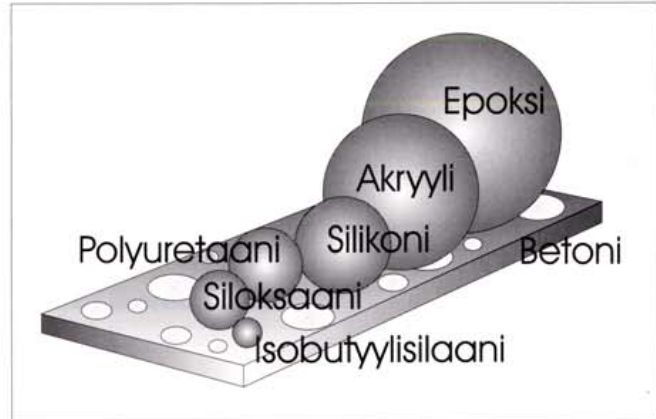
Siloksaanit ja silaanit valmistetaan samoista raaka-aineista, mutta erot niiden molekyylikoossa vaikuttavat merkittävästi niiden tunkeutumiseen (kuva 15).

Silaanit ovat siloksaaneja tehokkaampia, koska ne sitoutuvat kemiallisesti sementtipastaan eli tartunta alustaan on hyvä. Silaanien pieni molekyylikoko helpottaa tunkeutumista, mutta huonontaa alkalin-kestävyyttä.

Silikonihartseilla on suhteellisen suuri molekyyli-paino ja molekyylien koko rajoittaa hartsien tunkeutumista betonin sisään. Tunkeutumisvyvyys riippuu lisäksi betonin tiiviyydestä ja kuivuudesta. Silikonihartsit tunkeutuvat harvoin hyvälaatuiseen betoniin yli 100 µm:n syvyyteen.

Tässä syvyydessä auringonsäteily pääsee hajotta-

maan silikonihartseja, joten ne säilyttävät veden-hylkivyytensä harvoin yli kymmenen vuotta. Lisäksi ympäröivä kalsiumhydroksidi hajottaa silikonihartseja betonin huokosissa ja kapillaarikäytävissä.



Kuva 15. Suoja-aineiden molekyylien vertailukoot /8/. Kuvaa tarkasteltaessa on otettava huomioon, että se antaa vain karkean esimerkin, koska molekyylien ja huokosten koot vaihtelevat erittäin paljon.

Kun betonipinta tehdään vettähylykiväksi, hiilidioksidin pääsy rakenteeseen helpottuu, koska huokokset eivät ole vesitäytteisiä. Tällöin betonin karbonatisoituminen nopeutuu. Jos betonin pintaan tulee halkeamia impregnoinnin jälkeen, ne rikkovat vettähylykivän kerroksen.

2.2 Tiivistysaineet

Tiivistysaineet muodostavat ohuen epäjatkuvan kalvon tai reagoivat betonin kanssa.

Esimerkiksi impregnointiaineet, kuten epoksit, polyuretaanit ja pellavaöljy (vernissa) sekä betonin tiivistykseen käytettävät pigmentoimattomat akryylit muodostavat ohuen kalvon. Akryylit eivät muuta pinnan ulkonäköä merkittävästi ja kestävät hyvin auringonsäteilyä, mutta eivät estä karbonatisoitumista. Akryylejä voidaan käyttää, jos betonin pinta on pölyävä tai heikkolaatuisen pinnan kulutuksen-kestävyyttä on parannettava, sillä akryylit kovettavat tehokkaasti betonin pintaa. Ne estävät tehokkaasti veden tunkeutumista rakenteeseen, ellei vesi lammikoidu suojattavalle pinnalle. Jos vesilammikoita syntyy, kestävyttä voidaan parantaa yhdistelmällä, jossa on alla vettähylykiviä silikonihartsia ja päällä puhdas akryyli, joka suojaa silikonihartsia sääräsituksilta. Yhdistelmästä on saatu hyviä kokemuksia siltarakenteissa.

Silikaatit ja fluorosilikaatit tunkeutuvat 50 - 100 µm:n syvyyteen kuivaan betoniin ja reagoivat sementin kalsiumhydroksidin ja -karbonaatin kanssa muodostaen lujia, liukenemattomia yhdisteitä, jotka saostuvat betonin huokosiin ja siten lisäävät betonipinnan tiiviyyttä. Tämä hidastaa veden ja kloridien tunkeutumista betoniin. Koska toiminta betonissa perustuu reaktioon betonin osa-aineiden kanssa, niiden levittämisaikankohta on määritettävä tuote-kohtaisesti. Aineet eivät yleensä estä betonin karbonatisoitumista tai aiheuta uudelleenalkaloitumista, mutta parantavat rajallisesti pinnan kulutuksen-kestävyyttä.

2.3 Pinnoitteet

2.3.1 Pinnoitteiden yleisiä ominaisuuksia

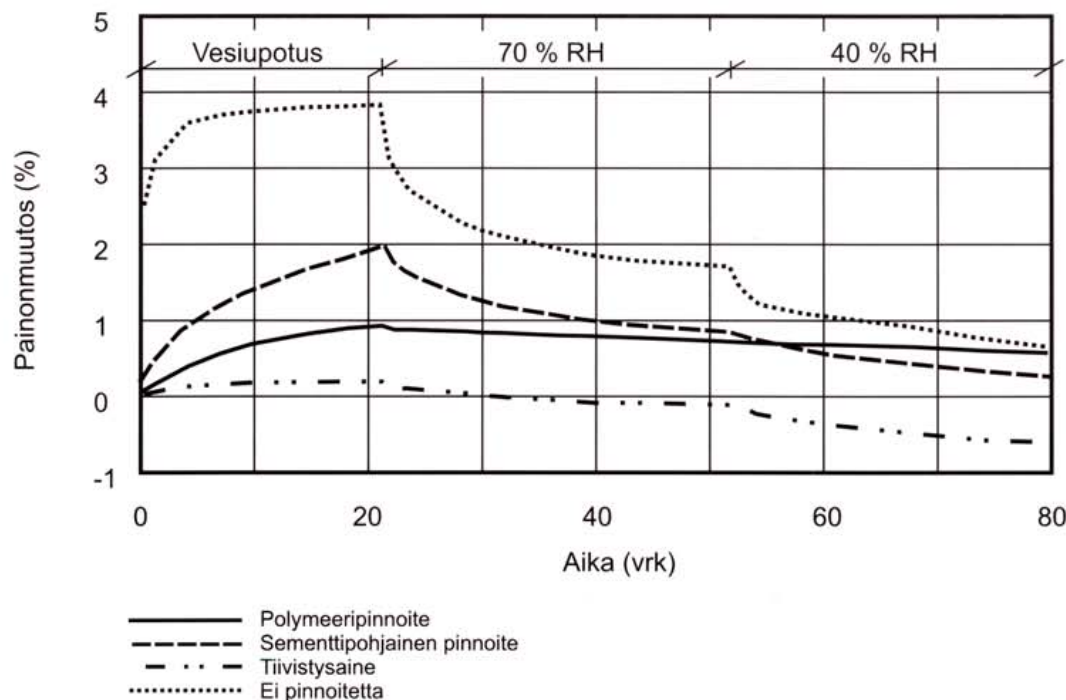
Pinnoitteilla voidaan estää karbonatisoitumista ja sade-, roiske- ja kondenssivesien imeytymistä betoniin ja näin hidastaa raudituksen korroosiota, betonin pakkasrapautumista ja muuta vaurioitumista. Huolellisesti tehty, joustava, korkealuokkainen pinnoite silloittaa ohuet halkeamat, estää hiilidioksin tunkeutumisen rakenteeseen ja antaa hyvän suojan vähintään kymmeneksi vuodeksi. Betonirakenteen säilyvyyden parantamisen lisäksi pinnoitteilla voidaan ehostaa sillan ulkonäköä.

Pinnoitteiden on päästettävä vesihöyryä riittävästi lävitseen, jottei kosteus pääse kertymään pinnoitteen alle. Liian tiivis kalvo saattaa johtaa pinnoitteen ennenaikaiseen irtoamiseen alustastaan. Toisaalta vesihöyryä liian hyvin läpäisevät pinnoitteet eivät suojaa alustaa riittävästi.

Pinnoitteen vesihöyrynläpäisevyyttä arvioidaan diffuusiovastuksen RH20 avulla /5, BY 41/. Se ilmoittaa pinnoitteen vesihöyryn diffuusiovastuksen verrattuna paikallaan olevan yhden metrin ilmapatsaan vastukseen.

Yleensä pinnoitteen vesihöyrynläpäisyä pidetään riittävänä, jos diffuusiovastus on pienempi kuin 4 m. Suomen olosuhteissa saattaa tiukempikin raja olla perusteltu ulkobetonirakenteissa. Pinnoitteen läpäisyominaisuudet määritetään laboratoriossa standardin ISO 7783 mukaan ns. kuppikokeella. Kuppikokeessa mitataan pinnoitteen läpi siirtyvän vesihöyryn määrää aikayksikössä. Kosteuden siirtymisen pinnoitteen läpi saa aikaan ilman suhteellisen kosteuspitoisuuden ja vesihöyryn osapaineiden erot pinnoitteen eri puolilla. Mitatusta kosteustavirrasta saadaan laskennallisesti määritettyä pinnoitteen vesihöyrynvastus.

SILKO-testeissä tutkitaan veden imeytymistä ja vesihöyrynläpäisevyyttä menetelmällä, jossa pinnoitetut koekappaleet upotetaan aluksi veteen ja kuivatetaan sen jälkeen 70 %:n ja 40 %:n suhteellisessa kosteudessa. Lisäksi SILKO-testeissä tutkitaan suojausmenetelmän pakkasenkestävyys ja kestävyys eri käyttötiloissa esiintyviä rasituksia vastaan. Kuvassa 16 on SILKO-tutkimuksen veden- ja vesihöyrynläpäisevyyksikokeen tulos.



Kuva 16. Eri aineilla suojattujen betonikuutioiden vedenimu ja kuivuminen /9/.

Muiden ominaisuuksien perusteella pinnoitteet luokitellaan taulukossa 2 esitetyllä tavalla /10/ ottaen huomioon seuraavaa:

- Tunnus SP tulee sanoista Surface Protection System (pinnansuojausmenetelmä).
- Taulukosta on jätetty pois menetelmät, joita ei käytetä siltatöissä eli SP 6, SP 8 ja SP 11.

Menetelmät SP 3, SP 7, SP 10 ja SP 12 kuuluvat kannen pintarakenteisiin /7/, jossa niitä käytetään joko kulutuskerroksena (SP 3 ja SP 12), kosteussulkuna vedeneristyksen alla (SP 7) tai pienissä liikuntasauomoissa muiden pintakerrosten alla (SP 10).

Taulukko 2. Betonipinnan suojausmenetelmät /10/

Menetelmä	Menetelmälle ominaisen kerroksen suositeltava vähimmäispaksuus	Pääasialliset sideaineryhmät
SP 1 Impregnointi vettähylykivän pinnan aikaansaamiseksi	-	silaaani, siloksaani, silikoniharts
SP 2 Pinnan tiivistyskäsittely muille kuin ajoneuvojen rasittamille pinnoille	50 µm	akryyli (AY)
SP 3 Pinnan tiivistyskäsittely ajoneuvojen rasittamille pinnoille	50 µm	epoksi (EP), akryyli (AY), polyuretaani (PUR)
SP 4 Pinnoite muille kuin ajoneuvojen rasittamille pinnoille	80 µm	akryyli (AY), polyuretaani-akryyli (PUR-AY)
SP 5 Pinnoite muille kuin ajoneuvojen rasittamille pinnoille, kun vaaditaan ainakin vähäistä halkeamien silloituskkyä	a) 300 µm b) 2 mm	akryyli (AY) propionaatti-dispersio polymeerisementtipinnoite
SP 7 Bitumisten eristyskerrosten alle asennettava pinnoite (tiivistyskerros)	1 mm	epoksi (EP)
SP 9 Pinnoite muille kuin ajoneuvojen rasittamille pinnoille, kun vaaditaan ainakin kohtalaista halkeamien silloituskkyä	1 mm	polyuretaani (PUR)
SP 10 Pinnoite tiivistyskerroksena bitumisen tai muun suojaavan pintakerroksen alle, kun vaaditaan erittäin hyvää halkeamien silloituskkyä	2 mm	polyuretaani (PUR)
SP 12 Polymeerimassasta ajoneuvojen rasittamille ja mekaanisesti erittäin rasitetuille pinnoille tehtävä pinnoite (ohutkerrospäällyste)	5 mm	epoksi (EP), tervaepoksi

2.3.2 Pinnoitetyyppien ominaisuuksia

Liuotepitoisia polymeeripinnoitteita on käytetty rajoitetusti betonin suojaamiseen.

Yleisimmin on käytetty akryylihartseja, jotka ovat osoittautuneet muita kestävämmiksi auringonsäteilyn aiheuttamaa räsytystä vastaan. Niillä on myös hyvä hiilidioksidinvastustuskyky.

Erityyppisiä epoksinpinnoitteita on käytetty erityisesti aggressiivisia teollisuuden kemiallisia päästöjä vastaan ja kulutusta kestävinä pinnoitteina. Epoksinpinnoite liituu voimakkaalle auringonsäteilylle altistuvilla ulkopinnoilla. Liituumiseen vaikuttavat monet tekijät, mutta ennen muuta kaikille tavanomaisille epoksille luonteenomainen kemiallinen rakenne. Epoksinpinnoitteet ovat kaksikomponenttisiä eli koostuvat epoksihartsista ja kovettajasta. Ne on sekoitettava huolellisesti ja oikeassa seossuhteessa. Epoksinpinnoitteiden päätyypit ovat

1. liuotteettomat,
2. liuoteohenteiset,
3. jähmeiden epoksihartsien ja kovettajien liuokset,
4. vesiohenteiset.

Vesiohenteiset epoksit ovat jonkin verran hengittäviä ja ne soveltuvat yleensä myös kloridipitoisille betonipinnoille. Epoksit eivät yleensä silloita halkeamia. Useat epoksit ovat liian tiiviitä ulko- käyttöön.

Polyuretaanipinnoitteet ovat kaksikomponenttisiä alkoholi-isosyanaattiyhdistelmiä, joilla on yleensä hyvä kulutuksenkestävyys ja joustavuus. Lisäksi ne voivat estää hyvin hiilidioksidin, veden, vesihöyryn ja kemikaalien tunkeutumista betonialustaan ja ne kestävät hyvin auringonsäteilyä. Yksikomponenttiset polyuretaanipinnoitteet ovat huonompia laadultaan. Ne polymeroituvat kemiallisessa reaktiossa ilman kosteuden kanssa, ja muodostavat joustavan, kulutusta ja kemikaaleja kestävä pinnoitteen. Kumpikin polyuretaanipinnoite tarttuu huonosti kosteaan betonipintaan, ellei käytetä erityistä kosteutta sietävää tartunta-ainetta. Usein käytetään epoksia, jolloin yhdistelmää kutsutaan epoksi-polyuretaanipinnoitteeksi. Polyisosyanaatit ovat voimakkaita myrkkyjä, joten niitä sisältäviä aineita ei saa levittää ilman henkilönsuojaimia.

Polymeerisementtipinnoitteet ja polymeerimodifioidut sementtipinnoitteet levitetään vedellä kastellulle mutta pintakuivalle betonipinnalle. Vaaditun joustavuuden mukaan voidaan käyttää useita eri polymeeridispersioita. Eräissä tapauksissa sementtigelirakennetta on modifioitu mikrosilikaa käyttämällä, jotta saavutettaisiin tiivis ja vedenpitävä pinnoite.

Vesiohenteisia polymeeripinnoitteita kutsutaan myös emulsioiksi tai latekseiksi. Ne ovat tavallisesti maitomaisia ja sisältävät veteen hajautettuja (dispergoituja), hienoja polymeeripartikkeleita, jotka muodostavat pysyvän emulsion. Kun pinnoite on levitetty, vesi haihtuu ja polymeeripartikkelit liittyvät yhteen muodostaen yhtenäisen kalvon.

Ulkobetonipinnoilla käytettävä peruspolymeeri on tavallisesti vinyylisetaattikopolymeeri yhdessä joko etyleenin tai vinyylin, akryyliin tai modifioitujen akryyliin kanssa. Pinnoitteen suorituskykyyn vaikuttavat polymeerisideaineen kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien lisäksi

- pigmenttien määrä ja laatu
- sideainepitoisuus
- muut lisäaineet, kuten täyteaineet, saostusaineet, sienimyrkyt yms.

Jos pinnoiteyhdistelmässä on polymeeripinnoitteen alla sementtipohjainen tasoite, yhdistelmä sopii epätasaiselle pinnoitusalueelle.

Jos polymeeripinnoitteen alla on silaani ja pinnoite on suhteellisen hyvin hengittävä, se sopii käytettäväksi, kun halutaan estää kloridien ja veden tunkeutuminen betonin sisään.

Jos polymeeripinnoitteen alla on toinen polymeeri, pinnoiteyhdistelmä on yleensä liian tiivis vaikeisiin ulkoilmaoloihin. Sitä voidaan käyttää harkiten karbonatisoitumisen ja kloridien tunkeutumisen estämiseen ja kosteuden eristämiseen.

2.3.3 Karbonatisoitumista estävät pinnoitteet

Betoni karbonatisoituu, kun ilmassa oleva hiilidioksidi tunkeutuu betoniin ja reagoi alkaliyhdisteiden kanssa. Karbonatisoitumista voidaan hidastaa pinnoitteilla, joilla on riittävä hiilidioksidin diffuusiovastus (kuva 17).

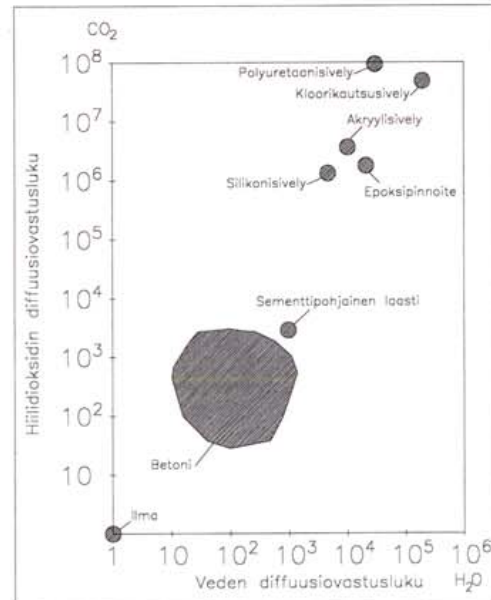
Pinnoitteen läpäisevyyttä voidaan arvioida hiilidioksidin diffuusiovastuksen R_{CO_2} avulla. Luku ilmoittaa pinnoitteen hiilidioksidin diffuusiovastuksen verrattuna paikallaan olevan yhden metrin paksuisen ilmapatsaan vastaavaan vastukseen. Pinnoitteen hiilidioksidin diffuusiovastus R_{CO_2} saadaan kertomalla diffuusiovastusluku μ_{CO_2} pinnoitteen paksuudella s_p :

$$R_{CO_2} = \mu_{CO_2} \times s_p$$

Diffuusiovastus R_{CO_2} on pinnoitteiden valmistajien yleisesti käyttämä vertailuarvo. Yleensä arvot ovat välillä 1 - 1000 m. Käytännössä riittävä karbonatisoitumista hidastava vaikutus saadaan, kun diffuusiovastus on vähintään 50 m. Pinnoitteen on siis suojattava alustaa hiilidioksidin tunkeutumiselta vähintään yhtä hyvin kuin 50 metrin paksuinen paikallaan oleva ilmakerros.

Edellä selostettu menettely sopii valmistajien tuotekehittelyyn, jossa tutkitaan esimerkiksi yksittäisiä kalvoja. Pinnoitekalvojen reiät ja paksuusvaihtelut tekevät johtopäätösten teon kuitenkin epävarmaksi, siksi SILKO-testit tehdään paremmin käyttötilaa vastaavalla menetelmällä (Nord Test 357).

Käytännössä pinnoitteiden hiilidioksidin diffuusiovastukset vaihtelevat huomattavasti pinnoitteiden ja pinnoitetyyppien välillä (kuva 17). Pigmenttien ja täyteaineen määrän kasvaessa vastus pienenee.



Kuva 17. Pinnoitteiden veden ja hiilidioksidin diffuusiovastuslukujen vertailu /11/.

Huokosrakenteeltaan tiiviit akryylidispersiot ja -hartsit ovat pääsääntöisesti vastukseltaan parempia kuin epäorgaaniset silikaatti- tai sementtimaalit. Vastukseltaan parhaita pinnoitteita ovat kemiallisesti sitoutuvat epoksi- ja polyuretaanipinnoitteet. Karkean kuvan pinnoitteiden eroista tässä suhteessa saa taulukosta 3.

Pinnoitteen käyttöikää arvioitaessa on otettava huomioon, että pinnoitteiden paksuus ohenee ajan myötä auringon ultraviolettisäteilyn aiheuttaman liituuntumisen seurauksena. Pinnoitteen paksuus ja hiilidioksidinvastus on valittava siten, että asetettu 50 metrin diffuusiovastus säilyy pinnoitteen suunnitellun käyttöajan ajan.

Taulukko 3. Engelfriedin tekniikkaan perustuvia pinnoitteiden hiilidioksidin diffuusiovastuksia /12/.

Materiaali	Paksuus s_p cm	Vastusluku μ CO ₂	Diffuusiovastus R_{CO_2} cm
Metyylimetakrylaatti	0.014	2 200 000	30 800
Akryyli	0.014	4 020 000	56 280
Etyleenikopolymeeri	0.016	6 800 000	110 000
Kloorisulfanoitu polyetyleni	0.025	6 500 000	162 500
Kloorattu kumi	0.0075	69 700 000	522 000
Epoksi	0.041	247 000	10 130
Liutotteeton epoksi	0.018	996 000	17 930
Betoni	1.00	358	358
Silikonilla impregnoitu betoni	1.00	267	267
Silikaattimaali	0.040	20 - 30 000	800 - 1 200
Akryylilateksi	0.046	4 500	207

2.3.4 Halkeamia silloittavat pinnoitteet

Jotta pinnoite säilyttäisi suojavaikutuksensa, sen on säilyttävä rikkoutumattomana lämpötilamuutosten ja kuormitusten aiheuttamista halkeamaan kohdistuvista liikkeistä huolimatta. Tätä ominaisuutta kutsutaan halkeamien silloituskyykyksi.

Halkeamien silloituskyyky on parempi, jos pinnoite voi irrota alustastaan halkeaman reunalla. Tällöin halkeaman liike kohdistuu laajemmalle alueelle pinnoitetta. Halkeamien silloituskyyky riippuu käytetävän pinnoitteen paksuudesta ja pinnoitteen viskoelastisista muodonmuutosominaisuuksista eri lämpötiloissa. Betonin lämpöliikkeiden vaikutuksesta halkeamat ovat yleensä suurimmillaan alhaisissa lämpötiloissa. Tästä syystä halkeamia silloittavalla pinnoitteella on oltava riittävä silloituskyyky myös alhaisissa lämpötiloissa (-30°C). Halkeamia silloittava pinnoite voi käyttäytyä halkeaman laajentuessa kahdella tavalla (kuva 18): tartunta ei vaurioidu (ylempi kuva) tai pinnoite irtaantuu (alempi kuva). Pinnoitteen maksimimuodonmuutos on esitetty kuvassa 19.

Pinnoitteen silloittavaan toimintaan vaikuttavat

- halkeaman leveys ja liikkeet
- pinnoitteen ominaisuudet
- pinnoitteen paksuus.

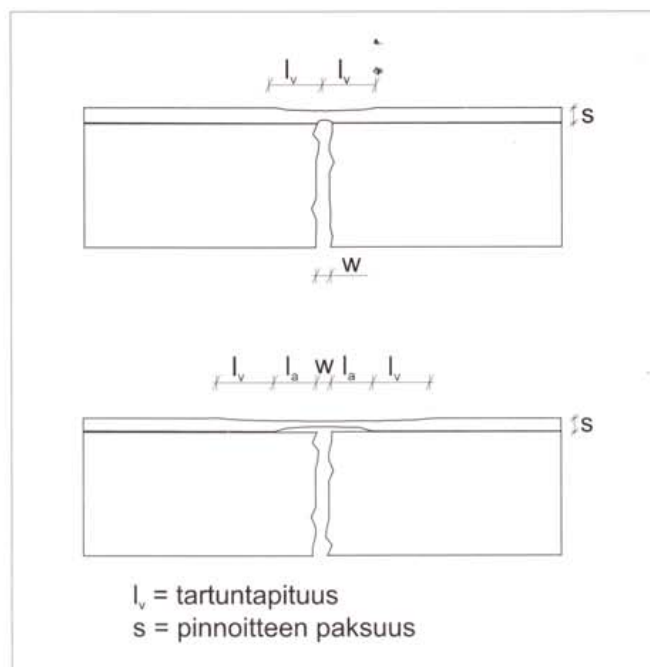
Halkeamia silloittavalla elastomeeripinnoitteella pitää olla tapauskohtaisesti

- pysyvä elastisuus sillan halkeamien takia ja rakenteen normaaliin liikkeiden kompensoimiseksi
- hyvä hiili- ja rikkidioksidinvastustuskyky, koska kalvo toimii suojana hidastaakseen tai estääkseen karbonatisoitumisen tai sulfaattien pääsyn betoniin
- säänkestävyys, jotta pinnoite estäisi juoksevan veden pääsyn betoniin
- sellainen vesihöyrynläpäisykyky, että se sallii vesihöyryn vapaasti siirtyä rakenteesta pois
- kestävyys ultraviolettisäteilyä vastaan
- kulutuksenkestävyys
- helppo korjattavuus
- miellyttävä ulkonäkö ja helppo puhdistettavuus
- hyvä ulkopuolisten kloridi-ionien diffuusion vastustuskyky.

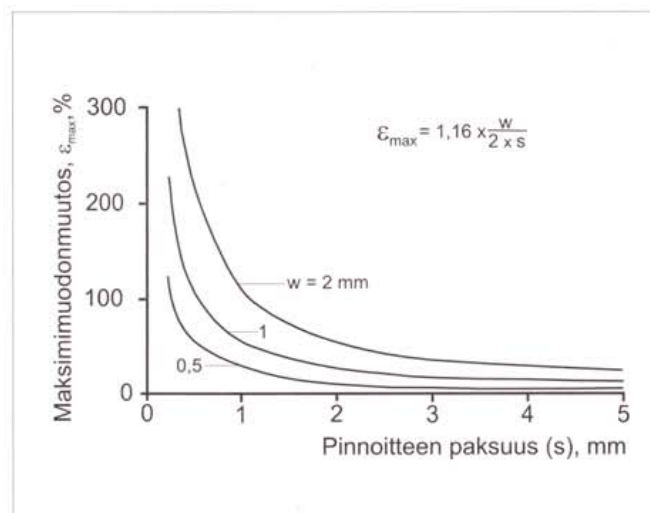
Pinnoitteet, joilla on em. ominaisuuksia, suojaavat betonia vaurioilta, joita veden sisäänkäyminen, happokaasut ja kloridit aiheuttavat. Tarvittaessa niillä voidaan parantaa rakenteen ulkonäköä.

2.3.5 Silotteet ja tasoitteet

Silotteella suljetaan betonipinnan huokokset ja reiät. Silotteet ovat yleensä sementtipohjaisia polymeeripitoisia laasteja, joiden maksimirakekoko on 0,2 - 0,6 mm ja polymeeripitoisuus 5 - 15%. Silotteella voi olla myös karbonatisoitumista ja kosteuden tunkeutumista hidastava vaikutus, mutta sen



Kuva 18. Halkeamia silloittavan pinnoitteen käyttäytyminen /13/.



Kuva 19. Pinnoitteen maksimimuodonmuutos ($\epsilon_{\max}$) välittömästi halkeaman yläpuolella pinnoitteen paksuuden (s) ja eri halkeamaleveyksien (w) suhteen /13/.

avulla aikaansaatuja teknisiä ominaisuuksia on vaikea arvioida käytännössä.

Jos suojattava pinta tai pinnoite vaatii paksumpaa kerrosta, se tehdään tasoitteella.

Käytettävän silotteen tai tasoitteen on oltava suoja-aineen valmistajan hyväksymä ja yhteensopiva. Tavoite on, että ne tutkitaan suoja-aineen SILKO-testin yhteydessä. Väärin valittu tai levitetty silote tai tasoite on melko varmasti suojauksen heikoin osa. Myös betonialustan paikkaukset on tehtävä suoja-aineen valmistajan asettamien vaatimusten mukaan.

2.4 Töherrystenestoaineet ja puhdistusmenetelmät

2.4.1 Betonirakenteen puhdistettavuus

Puhdistettavuus on usein otettava huomioon varsinkin kaupunkialueella sijaitevan sillan suunnittelussa. Mitä vähemmän puhdistettavassa betonissa, pinnoitteessa tai verhouksessa on huokosia ja epätasaisuutta, sitä helpommin töherrykset voidaan poistaa. Hyvään puhdistettavuuteen pyritessä on valupintojen huokokset ja epätasaisuudet täytettävä ylitasoituksella, jonka pinta ei saa olla liian karhea tai urainen.

Lasitetut klinkkeripinnat, lasipinnat ja metallipinnat joko alumiinista tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuina tai liuotteita kestäväällä maalilla maalattuna ovat suositeltavia, koska töherrysten poisto niiltä on huokoisia pintoja helpompaa. Usein spriipitoinen puhdistusaine on riittävän tehokas töherrysten poistossa. Mahdolliset muut menetelmät on syytä selvittää pintatarvikkeen valmistajalta. Pintamateriaalia valittaessa on toisaalta otettava huomioon, että hyvin puhdistuva pinta on kova ja siten halkeamia silloittamaton. Tällöin halkeamien silloituskyky saattaa olla tärkeämpi valintaperuste.

Pintamateriaalin valinnan yhteydessä on laadittava hoito-ohje töherrysten poistosta tai peittämisestä. Hoito-ohje luovutetaan sillan hoidosta vastaavalle yksikölle.

Töherrystenestoaineilla estetään töherrysvärin tunkeutuminen alustaansa, jolloin voidaan käyttää luontoa säästäviä puhdistusmenetelmiä tai kemikaaleja.

Töherrystenpoistoaineet eivät vaikutustapansa vuoksi kuulu töherrystenestoaineisiin. Niitä käsitellään tässä kohdassa yleisesti, kuten erilaisten pintojen puhdistettavuuttakin.

2.4.2 Töherrystenestoaineet

Töherrystenestoaineita ovat puhdistettavat ja uhrautuvat suoja-aineet. Puhdistettava aine on yleensä jonkin pinnoiteyhdistelmän osa tai puhdistustoimenpiteitä kestävä erillinen suojakerros. Uhrautuvia aineita käytetään sekä pinnoitetun että suojaamattoman pinnan töherrystenestoon. Töherrystenestoaineita käytetään valmistajan antamien ohjeiden mukaan. Vesiohenteisia töherrystenestoaineita ei saa levittää, jos lämpötila on alle +5 °C.

Hyvät töherrystenestoaineet eivät muuta pinnoitteen ulkonäköä oleellisesti. Töherrykset poistetaan kovalta, puhdistusaineita kestävältä pinnoitteelta valmistajan hyväksymällä tavalla, esimerkiksi sopivaan liuotteeseen kastetulla kankaalla. Uhrautuvan suoja-aineen mukana töherrykset poistetaan painevesipesulla. Suojakäsittely on aina uusittava puhdistettuun kohtaan; siitä johtuu nimitys uhrautuva suoja-aine.

Töherrystenestoainetyypit ovat seuraavat:

1. Puhdistettavat aineet, jotka estävät töherrystä tunkeutumasta alustaan. Aineet ovat
a) betonin tai pinnoitteen päälle levitettäviä, kirkkaita, matta- tai kiiltäväpintaisia ja lakkamaisia (akryyli-, polyuretaani- ja epoksipohjaisia),
b) tiiviitä ja läpinäkymättömiä pinnoiteyhdistelmiä, joiden pintakerrokset kestävät merkkaukynien, maalien ja töherrystenpoistajien liuotteita; useita värejä on saatavana matta- ja kiiltäväpintaisina. Tarkoitusta varten on kehitetty mm. epoksipohjaisia ja teflonpitoisia polyuretaanipohjaisia aineita.
2. Uhrautuvat aineet, jotka peseytyvät pois töherrysten mukana. Aineet ovat
a) polymeeripohjaisia, jolloin niiden osa-aineena on käytetty vahaa irrotusominaisuuksien parantamiseksi; aineet poistetaan tarvittaessa edullisimmin painevesipesulla, siten niiden ympäristöhaitat ovat minimaaliset,
b) vahapohjaisia, töherrysten kuivumista hidastavia; aineet poistetaan vedellä tai sopivalla liuotteella liuottamalla,
c) glukoosipohjaisia,
d) tärkkelyspohjaisia ja muita uhrautuvia aineita.
3. Uhrautuvat peittoaineet, joilla ylimaalaus voidaan tehdä myös uhrautuvan suoja-aineen päälle. Töherrykset voidaan hävittää nopeasti näkyvistä peittämällä ne värikköksi pigmentoidulla töherrystenpeittoaineella. Peittoaineetkin poistetaan tarvittaessa vesipesulla. Suoja-aineen pienen vesihöyrynvastuksen ansiosta on mahdollista peittää samasta paikasta töherrykset jopa yli kymmenen kertaa päällekkäin ja poistaa lopulta kaikki kerrokset yhdellä kertaa painevesulla.

2.4.3 Töherrystenpoistoaineet

Töherrystenpoistoainetta valittaessa on selvitettävä, että aine ei vahingoita alla olevaa pinnoitetta. Aine ei saa oleellisesti muuttaa puhdistettavan pinnan tai suojakerroksen ominaisuuksia ja ulkonäköä eikä turmella luontoa.

Töherrykset poistetaan mahdollisimman pian, koska näin meneteltäessä töherrys irtoaa helpommin ja on todettu, että ilkivalta vähenee sitä nopeammin mitä nopeammin toimitaan.

Töherrystenpoistoaineita käytetään valmistajan antamien ohjeiden mukaan. Työ- ja ympäristönsuojelutoimiin on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska monet töherrystenpoistoaineet ovat haitallisia, syövyttäviä tai jopa myrkyllisiä. Suojaus- ja puhdistustyö onkin yleensä syytä antaa alaan erikoistuneen urakoitsijan tehtäväksi.

Töherrysten poistoa voidaan helpottaa etukäteen erilaisilla suoja-aineilla. Ne estävät töherrysvärin

tunkeutumisen suojattuun pintaan ja helpottavat näin puhdistusta. Myös ns. varjokuvien poisto helpottuu, koska värit voidaan poistaa myös betonipinnan huokosista, jossa ne muuten aiheuttavat etäältä havaittavan varjokuvan.

2.4.4 Puhdistusmenetelmät

Erilaisten pintojen puhdistusmenetelmät jaetaan seuraaviin ryhmiin:

1. Kemiallisessa puhdistusmenetelmässä töherrysväri liuotetaan tai pehmitetään ennen painepesua töherrystenpoistoaineella. Monikeroksiset töherrykset vaativat tehokkaan ja maalikerrosten läpi tunkeutuvan poistoaineen, jollaiset ovat usein dikloorietaanipohjaisia. Tehokkaimmat aineet ovat lievästi happamia. Vaikeasti poistettavat töherrykset vaativat useamman käsittelyn. Pehmennyt ja alustastaan irronnut töherrysväri poistetaan painepesurilla. Betonin huokosiin jääneet töherrysväriin rippeet muodostavat kaukaa katsottuna ns. varjokuvia. Ne poistetaan tavallisesti voimakkaasti emäksisellä ns. varjonpoistoaineella, johon sisältyy usein liuote ja pintajännitettä alentava komponentti. Loppupesu tehdään painepesurilla. Työsuojeluun on kiinnitettävä erityistä huomiota emäksisten aineiden käytössä. Jotkut varjonpoistoaineet vaativat pinnan kostuttamisen vedellä ennen käsitteilyä, koska niiden suuri pintajännitys muuten estää aineen imeytymistä pintaan.
 - 1.1 Alkalisten töherrystenpoistoaineiden koostumukset vaihtelevat käyttökohteiden mukaan, niitä on sekä vesiliukoisia että veteen liukenevina. Muovipintojen töherrystenpoistoaineita on kehitetty erikseen. Aineita on saatavana spraypulloissa pieniä töitä varten ja geelimäisenä, jolloin aine pysyy paremmin pystysuoralla pinnalla ja sen vaikutusaika on pitempi.
 - 1.2 Happopohjaisilla aineilla voidaan puhdistaa lasittamatonta tiiltä ja muita savituotteita, useimpia graniitteja ja kvartseja, hiekkakiveä, liuskakiveä ja muita ei-kalkkipitoisia kiviä. Happopohjaisia aineita ei saa käyttää sellaisten materiaalien puhdistamiseen, joita ko. happo syövyttää tai kuluttaa. Suojaamattoon, huokoiseen saumausaineeseen imeytyneen töherrysväriin poisto voi olla hankalaa. Mikäli saumausaineen valmistaja sallii, voidaan töherrystenpoistoon tarvittaessa käyttää happoa.
2. Töherrystenpoisto mekaanisesti suihkupuhdistamalla sopii karkeille alustoille kuten betonipinnalle. Työ on syytä antaa erikoistuneen urakoitsijan tehtäväksi. Suihkupuhdistus on taloudellinen vain laajoja pintoja puhdistettaessa. Sitä voidaan käyttää, jos muut menetelmät ovat epäonnistuneet. Käsittelyä ei pidä toistaa useita kertoja. Tyypillisiä puhdistusmenetelmiä ovat
 - matala- tai suurpaineinen vesipesu pesuaineella tai ilman
 - hiekka- tai vesihiiekkapuhallus.
 Hiekkaa parempia raemateriaaleja ovat mm. kalkki- tai alumiinioksidijauheet, koska ne eivät avaa pinnan huokosia samassa määrin kuin hiekka.
3. Töherrysten peittäminen uhrautuvalla peittoaineella sopii pienten töherrysten tilapäiseen peittämiseen. Ylimaalausta ei voi käyttää toistuvasti, jos pinnasta tulee ulkokäytössä liian tiivis.