

YLEISOHJEEN SISÄLTÖ



Kuva 1. Polymeeripitoiset massat on sekoitettava huolellisesti.



Kuva 2. Polymeeripinnoitteet levitetään yleensä ruiskutamalla.



Kuva 3. Polymeereillä voidaan muunnella aineiden ominaisuuksia (kuvan massa ei erotu haitallisesti veden allakaan)

1 YLEISTÄ	3
1.1 Ohjeen käyttöalue	3
1.2 Termit ja määritelmät	3
2 POLYMEERIEEN OMINAISUUDET JA VALMISTUS	4
2.1 Polymeerilajit	4
2.2 Polymeerimateriaalien ominaisuudet	4
2.3 Muovit	6
2.4 Elastomeerit	6
2.5 Polymeerituotteiden valmistus ja säilytys	7
3 POLYMEERIEEN KÄYTTÖ SILLOISSA	8
3.1 Betonin korjausaineet	8
3.1.1 Betonimuovi	8
3.1.2 Polymeeripitoiset betonit ja laastit	9
3.1.3 Kuitulaasti ja -betoni	10
3.1.4 Muut betonin polymeeriset lisäaineet	11
3.1.5 Injektoinnissa käytettävät aineet	11
3.1.6 Impregnointiaineet	11
3.2 Maalit ja joustopinnoitteet	12
3.2.1 Alkydimaalit	13
3.2.2 Kloorikautsumaalit	13
3.2.3 Vinyylimaalit	13
3.2.4 Epoksimaalit	14
3.2.5 Polyuretaanimaalit	14
3.2.6 Sinkkipölymaalit	14
3.2.7 Akrylaatit	14
3.2.8 Joustopinnoitteet	15
3.3 Vedeneristeet ja päällysteet	15
3.3.1 Esisivelyaineet	15
3.3.2 Eristyskermit	15
3.3.3 Eristysmastiksit	16
3.3.4 Eristysmassat	16
3.3.5 Asfaltit	16
3.3.6 Ohutkerrospäällysteet	17
3.4 Saumaussmassat	18
3.4.1 Polyuretaanimassat	18
3.4.2 Silikonimassat	19
3.4.3 Polysulfidimassat	19
3.4.4 Kumi- ja muovibitumit	19
3.5 Muut tarvikkeet	20
3.5.1 Liikuntasaumalaitteet ja laakerit	20
3.5.2 Muoviputket ja salaojat	20
3.5.3 Lämmöneristeet	21
3.5.4 Sidontaverkot ja -kankaat	21

4 TYÖSUOJELU	22	5. YMPÄRISTÖNSUOJELU	26
4.1 Terveydelle vaarallisten aineiden tunnistus- ja merkintäjärjestelmä (TVATM)	22	5.1 Aineiden ympäristövaikutukset	26
4.2 Terveysvaikutukset	22	5.1.1 Pöly	26
4.2.1 Kertamuovit	22	5.1.2 Maalisumu	26
4.2.2 Kestomuovit	23	5.1.3 Kiinteät aineet	26
4.2.3 Elastomeerit	23	5.2 Jätehuolto	27
4.2.4 Lisäaineet	23	5.3 Ongelmajätteet	27
4.3 Kuljetus ja varastointi	23	6. LAADUNVARMISTUS	28
4.4 Aineiden sekoitus	24	6.1 Tarvikkeiden hyväksyntä	28
4.5 Aineiden käsittely	24	6.1.1 Tiehallituksen hyväksymismenettely	28
4.5.1 Tela-, sivellin- tai lastalevitys	24	6.1.2 Lakisääteinen tyyppihyväksyntä	28
4.5.2 Ruiskutus	24	6.2 Ennakkokokeet	28
4.5.3 Valu ja puristus	24	6.3 Kelpoisuuskokeet	28
4.5.4 Työvälineiden puhdistus	24	7. RINNAKKAISET OHJEET	29
4.6 Henkilökohtaiset suojaimet	25	7.1 Standardit	29
4.6.1 Ihon suojaaminen	25	7.2 Muut ohjeet	29
4.6.2 Hengityselinten suojaaminen	25	8. SANAHAKEMISTO	31
4.6.3 Silmien suojaaminen	25	LIITE 1 Termit ja määritelmät	
4.6.4 Suojainten hoito	25	LIITE 2 Polymeereistä aiheutuvia terveyshaittoja	

Tiehallitus, tuotanto-osasto, tekniset palvelut 1990

SILKO-projektin betonityöryhmä:

Tieinsinööri	Kari Moijanen	puh.joht.	TIEH/Tt
Laboratoriopäällikkö, DI	Pertti Huovinen		Imatran Voima Oy
Apul.osastopäällikkö, ins.	Esko Nikkola		Lemminkäinen Oy
Tieinsinööri	Ossi Räsänen		TIEH/Tt
Erikoistutkija, DI	Erkki Vesikari		VTT/RAM
Toimitusjohtaja, ins.	Jorma Huura	sihteeri	Insinööritoimisto Jorma Huura Ky

Erikoisasiantuntijat:

Diplomi-insinööri	Pentti Eloniemi	VTT/RAM
Erikoistutkija, DI	Eva Häkkä-Rönholm	Tekniikan Sanastokeskus ry
Terminologi, FM	Lari Kauppinen	VTT/RAM
Vt. professori	Liisa Rautiainen	VTT/RAM
Tutkija, DI	Leena Sarvaranta	Tekniikan Sanastokeskus ry
Johtaja, DI	Heidi Suonuuti	TIEH/He
Työsuojeluinsinööri	Seija Vilander	

Konsultti: Insinööritoimisto Jorma Huura Ky

Piirrokset: Tekn.yo Kai Tattari
FM Lari Kauppinen

Valokuvat:	Heikki Alarautalahti	25
	Kurt Engblom	8 ja 18
	Jorma Huura	7, 9, 10, 13, 14, 20, 22, 23, 24, 26 ja 27
	Jorma Lampinen	11
	Esko Mäenpää	1, 3 ja 16
	Kyösti Piironen	17
	Jarmo Saarikko	2 ja 19
	Voitto Valtonen	29
	Raimo Vessonen	15
	Osmo Viljanen	12
	Esko Yrjölä	28

1 YLEISTÄ

1.1 Ohjeen käyttöalue

Ohje on laadittu osana siltojen korjausohjejärjestelmää, mutta sitä voidaan käyttää muussakin rakentamisessa, sillä ohjeeseen on kerätty uudis- ja korjausrakentamisessa käytettävien polymeerien perustiedot.

Ohje on sijoitettu betonirakenteita koskevaan osaan, koska pääosa asiasisällöstä liittyy betonirakenteisiin. Ohjeessa on esitetty kuitenkin myös muut SILKO-ohjeiston osat, kuten teräsrakenteiden pintakäsittely sekä vedeneristeet ja päällysteet.

Ohjeen tarkoituksena on

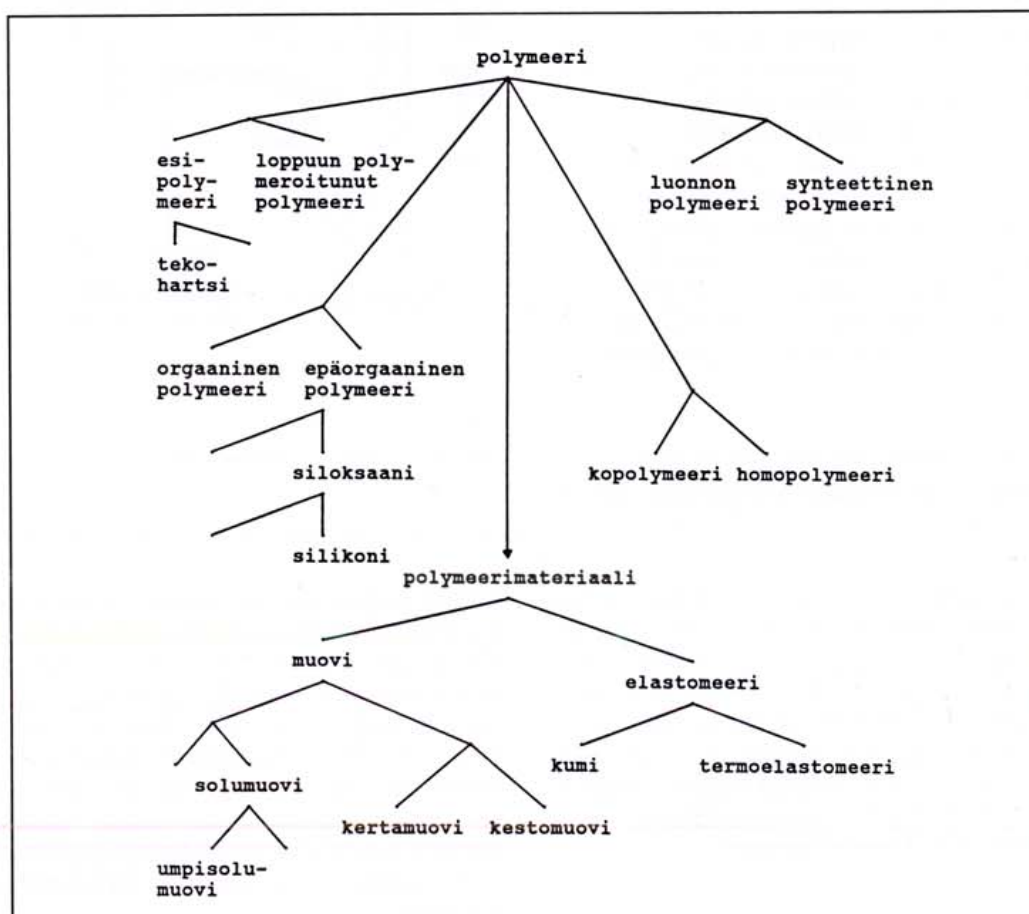
- kertoa, mitä polymeerit ovat
- esitellä sillankorjaustöissä käytettävät polymeerit
- toimia tiehallituksen hyväksymien tuotteiden taustatiedostona
- antaa keskitetysti työsuojelu- ja ympäristönsuojeluohjeet.

Tuotekohtaisia tietoja on saatavissa SILKO-ohjeiston tarvike tiedostosta (kansio 3) ja SILKO-projektiin liittyvistä Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tutkimusraporteista.

1.2 Termit ja määritelmät

Sana polymeeri tulee kreikasta (poly' = paljon, meros = osa) ja se kuvaa hyvin sitä, että polymeerien osat muodostuvat sadoista tai tuhansista pienistä molekyyleistä, joita ei voi havaita edes mikroskoopilla. Kun näihin polymeereihin sekoitetaan erilaisia lisäaineita saadaan polymeerimateriaaleja, mm. kumeja ja muoveja. Polymeerejä käytetään myös side- ja lisäaineina betonissa sekä maaleissa.

Polymeerilajeja kuvaava käsitejärjestelmä on kuvassa 4. Kuvassa esiintyvät termit on määriteltä liitteessä 1; samassa liitteessä on määriteltä myös muita tässä ohjeessa käytettyjä keskeisiä termejä.



Kuva 4. Polymeerilajeja kuvaava käsitejärjestelmä.

2 POLYMEERIEIN OMINAISUUDET JA VALMISTUS

2.1 Polymeerilajit

Polymeerit jaetaan alkuperänsä mukaan luonnonpolymeereihin ja synteettisiin polymeereihin. Luonnonpolymeerejä on kasveissa ja eläimissä – näitä ovat mm. tärkkelys, ligniini, selluloosa, silkki, luonnonkumi sekä proteiinit eli valkuaisaineet. Synteettiset polymeerit puolestaan valmistetaan pääasiassa öljynjalostuksen tuotteista; synteettisiä ovat mm. polyeteenit, polyakrylaatit, epoksit, polyesterit ja polyuretaanit.

Kemiallisen koostumuksensa mukaan polymeerit jaetaan orgaanisiin ja epäorgaanisiin. Orgaaniset polymeerit koostuvat toisiinsa liittyvien hiiliatomien rungosta, johon on liittynyt orgaanisia ryhmiä. Niistä valmistetaan muoveja, kumeja, kuituja, liimoja ja maaleja.

Silikonipolymeerien runko on epäorgaaninen – piiä ja happea – mutta runkoon on liittynyt myös orgaanisia ryhmiä. Ero orgaanisiin polymeereihin on kuitenkin selvä: esimerkiksi silikonipolymeerien lämmönkestävyys on parempi (n. 250 – 300 °C) kuin orgaanisten (n. 80 – 150 °C). Silikonipolymeerejä käytetään mm. eristeinä, tiivisteinä ja laitteiden komponentteina /1/.

Polymeerien käyttö sellaisinaan on harvinaista. Pelkkää polymeeriä sisältäviin seoksiin sekoitetaan yleensä lisäaineita, jolloin seosta kutsutaan polymeerimateriaaliksi. Polymeerimateriaalit voidaan jakaa kahteen pääryhmään: muoveihin ja elastomeereihin. Muovit jaetaan edelleen kesto- ja kertamuoveihin, elastomeerit kumeihin ja termoelastomeereihin. Kuhunkin ryhmään kuuluu useita yksittäisiä materiaaleja, joilla on tarkat, orgaanisen kemian mukaiset systemaattiset nimet, mutta ne ovat pitkiä ja hankalia. Usein käytetäänkin lyhenteitä, tunnuksia ja kauppanimiä. Eräitä tavallisia polymeerimateriaaleissa käytettäviä orgaanisia polymeerejä tunnuksineen on lueteltu taulukossa 1.

Taulukko 1. Tavallisia polymeerityyppejä.

tunnus	kemiallinen nimi	kiteisyys max. %	lasittumis- lämpö* °C	sulamis- piste* °C
A KESTOMUOVIT				
ABS	akryliniiriili/ butadieeni/styreeni	0	+100	
HDPE	suuritiheyspolyeteeni	90	-110	135
LDPE	pienitiheyspolyeteeni	65	- 90	115
PA	polyamidi	65		265
PC	polykarbonaatti	0	+149	
PET	polyeteenitereftalaatti	65	+ 67	
PMMA	polymetyyli- metakrylaatti	0	+100	
POM	polyoksimeteeni- polyasetaali,			
	polyformaldehydi	85	- 75	175
PP	polypropeeni	75	- 27	176
PPSU	polyfenyleenisulfoni	0	+180 - 220	
PTFE	polytetrafluorieteeni	75	(+ 20)	327
PS	polystyreeni	0	+100	
PVC	polyvinyylikloridi	10	+ 80	
B KERTAMUOVIT				
PF	fenoliformaldehydi	0	hajoaa	
UF	ureaformaldehydi	0	—"	
MF	melamiiniformaldehydi	0	—"	
UP	tyydyttymätön polyesteri	0		
EP	epoksi	0	+120 - 190	
PUR	polyuretaani	0		
C SILLOITTUVAT KUMIT				
NR	cis-polyisopreeni, luonnonkumi	0	- 70	
SBR	styreenibutadieenikumi	0	- 55	
PB	polybuteeni-1	0	- 85	
CR	polykloropreeni, kloropreenikumi	0	- 50	
IIR	isobuteeni- isopreenikumi,			
	butyylikumi	0	- 79	
Q	silikonikumi	0	-110	

* lasittumislämpö ja sulamispiste ovat viittellisiä lukuja, niitä voidaan muunnella jonkin verran polymeerin formuloinnilla

2.2 Polymeerimateriaalien ominaisuudet

Polymeerimateriaalit ovat yleensä lujia painoonsa nähden ja niiden ominaisuuksia voi muunnella. Ominaisuudet vaihtelevat suuresti polymeerien kemiallisen koostumuksen ja mikrorakenteen mukaan, esimerkiksi kiinteiden polymeerien vetokimmokertoimet vaihtelevat välillä 1 – 50 000 MN/m². Myös erilaisilla lisäaineilla voidaan vaikuttaa polymeerimateriaalin ominaisuuksiin, esimerkiksi käyttöikään ja kestävyYTEEN.

Koska orgaaniset polymeerit ovat hiilivetyjä, niitä sisältävät polymeerimateriaalit eivät ole kovinkaan tiheitä (yleensä n. 1000 kg/m³). Ne johtavat lämpöä melko huonosti (0,1 W/m K) ja niiden pituuden lämpötilakertoimet ovat suuruusluokaltaan 50 – 200 · 10⁻⁶ K⁻¹. Sulaneen polymeerin suuri viskositeetti (usein yli 100 Ns/m²) johtuu ennen kaikkea pitkistä molekyyliketjuista. Taulukossa 2 on esitetty suuntaa antavia tietoja polymeerimateriaalien, teräksen ja betonin tärkeimmistä ominaisuuksista.

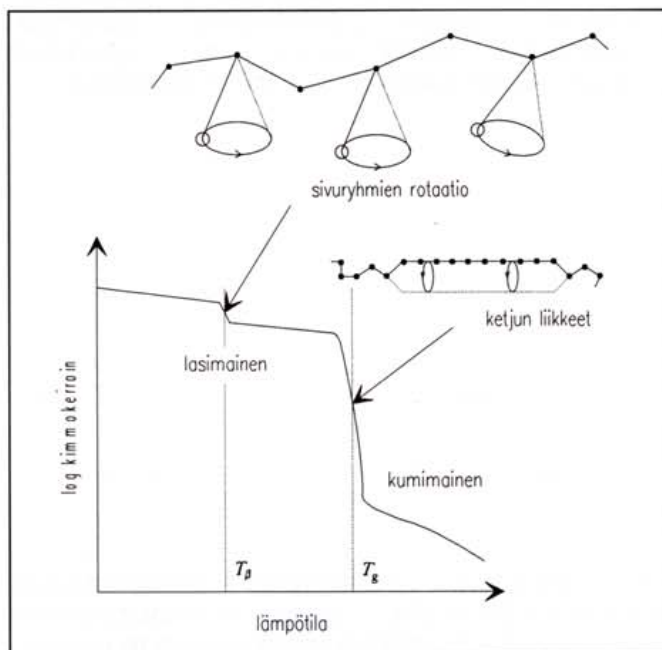
Taulukko 2. Eri materiaalien fysikaalisia ominaisuuksia /2, 3/.

Ominaisuus	Polymeerit	Teräs	Betoni
Tiheys	800 – 2000 kg/m ³	7800 kg /m ³	2300 – 2400 kg/m ³
Kimmokerroin	1 – 50000 MN/m ²	200000 MN/m ²	30000 – 40000 MN/m ²
Lämmönjohtavuus	0,1 – 0,9 W/mK	15 – 65 W/mK	0,6 – 2,3 W/mK
Pituuden lämpötilakerroin	50 – 200 · 10 ⁻⁶ K ⁻¹	12 – 17 · 10 ⁻⁶ K ⁻¹	7 – 10 · 10 ⁻⁶ K ⁻¹

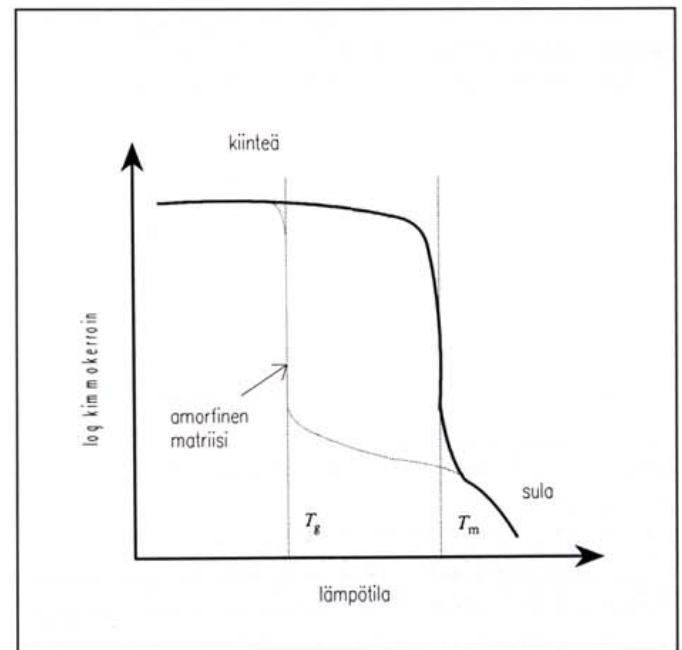
Polymerien kiteisyysaste vaihtelee suuresti, toiset ovat miltei täysin amorfisia (ei-kiteisiä), toisissa on runsaasti kiteisiä alueita. Kiteisyysasteella samoin kuin kiteiden rakenteella on suuri vaikutus polymeerimateriaalien mekaanisiin ominaisuuksiin: mitä kiteisempää polymeeri on, sitä korkeampia ovat mm. polymeerimateriaalin kimmokerroin ja sulamispiste.

Kullakin polymeerillä on sille ominainen ns. lasittumislämpötila, T_g (engl. glass transition temperature), jota voidaan pitää tärkeimpänä polymeerima-

terialien mekaanisten ominaisuuksien tunnusmerkinä. Kun lämpötila on T_g :n alapuolella, polymeerimateriaali on lasitilassa: se on kovaa, jäykkää ja lasimaista. Lähestyttäessä T_g :tä mekaaniset ominaisuudet muuttuvat nopeasti. Esimerkiksi kimmokerroin saattaa pienentyä tuhannesosaan lämpötilan ylittäessä lasittumislämpötilan. Myös pituuden lämpötilakerroin, lämpökapasiteetti ja sähköiset ominaisuudet muuttuvat tällöin nopeasti. Kun lämpötila on T_g :n yläpuolella, polymeerit ovat pehmeitä ja joustavia.



Kuva 5. Lämpötilan vaikutus amorfisen (ei-kiteisen) polymeerin molekyyliiliikkeeseen ja kimmokertoimeen. Kun lämpötila on tarpeeksi alhainen, mitkään polymeeriketjun osat eivät kykene liikkumaan eli polymeeri on jähmettynyt jäykkään lasimaiseen tilaan. Hitaasti lämmitettäessä saavutetaan ns. β -transitiolämpötila, T_β , jossa molekyyliketjujen sivuryhmät pystyvät liikkumaan saamansa termisen energian vaikutuksesta. Kimmokerroin laskee tällöin hieman. Edelleen lämmitettäessä saavutetaan ns. lasittumislämpötila, T_g , jossa molekyylin osat pääsevät liikkumaan suhteellisen vapaasti – tämä voidaan havaita kimmokertoimen selvänä pienentymisenä jopa tuhannesosaan. Samalla materiaali laajenee (pituuden lämpötilakerroin n. $60 - 80 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$).



Kuva 6. Lämpötilan vaikutus osittain kiteisen polymeerin kimmokertoimeen.

Kylmä, osittain kiteinen polymeeri on jäykkää ja lasimaista. Tultaessa β -transitiolämpötilaan, T_β , molekyylien liikkuvuus lisääntyy ainoastaan hieman amorfisiin polymeereihin verrattuna, koska kiteinen osa rajoittaa liikkuvuutta. Lasittumislämpötilassa, T_g , amorfinen komponentti muuttuu kumimaiseksi, mutta kiteinen komponentti pitää materiaalin jäykkyyttä yllä. Lämpötilan edelleen noustessa materiaali vähitellen pehmenee ja lopulta kiteet sulavat sulamispisteessä, T_m . Sulamispisteen yläpuolella materiaali muuttuu jäykkäliikkeiseksi ja viskositeetti vähenee lämpötilan noustessa. T_g :tä korkeammissa lämpötiloissa osittain kiteisten polymeerien lämpötilakerroin on $100 - 200 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, mikä merkitsee mm. sitä, että osittain kiteiset polymeerit kutistuvat amorfisia polymeerejä (vrt kuva 5) enemmän, kun ne jäähtyvät sulasta kiinteään tilaan /4/.

2.3 Muovit

Muovit ovat rajallisesti venyviä polymeeri-materiaaleja, joita voidaan muokata halutun muotoiseksi kappaleiksi paineen ja lämmön avulla. Muokattavuuden perusteella muovit jaetaan kesto- ja kertamuoveihin. Kestomuoveja voidaan muovata useita kertoja peräkkäin muoviaineen siitä kärsimättä ja niitä voidaan liittää toisiinsa hitsaamalla, sillä niiden molekyylit pystyvät liikkumaan toisiinsa nähden katkeamatta. Kertamuoveja voidaan sen sijaan muovata vain kerran, koska käsittelyn uusiminen johtaa aineen kemialliseen hajoamiseen.

Yli 80 % muoveista on kestmuoveja; tärkeimpiä ovat polyeteeni (PE), polypropeeni (PP), polyvinyylikloridi (PVC) sekä polystyreeni (PS), jotka kattavat yhteensä n. 90 % kestmuovimarkkinoista. Amorfisia kestmuoveja käytetään yleensä niiden ollessa lasitilassa (T_g :n alapuolella). Ne ovat melko hauraita. Osittain kiteisistä kestmuoveista joitakin käytetään T_g :tä korkeammissa lämpötiloissa, joitakin sitä alhaisemmissa lämpötiloissa. T_g :n yläpuolella materiaalin mekaaniset ominaisuudet saattavat olla erittäin hyvät, mutta ne riippuvat voimakkaasti ajasta ja lämpötilasta. T_g :n alapuolella ajan ja lämpötilan vaikutus mekaanisiin ominaisuuksiin

on vähäisempää, mutta mekaaniset ominaisuudet ovat myös huonommat.

Kertamuovien osuus muoveista on vajaat 20 %. Niiden polymeerit ovat tiheään verkkoutuneita eli silloittuneita ja molekyyliketjut yhdistyvät toisiinsa hiili- tai happisidosten avulla. Ne ovat usein kaksikomponenttisysteemejä, joiden komponentteja ja niiden välisiä suhteita vaihtelemalla voidaan saada hyvin erilaisia tuotteita, vaikka ne periaatteessa kuuluvatkin samaan ryhmään. Kertamuoveja ovat esimerkiksi tyydyttymättömät polyesterit, polyuretaanit ja epoksit. Ne ovat yleensä amorfisia, lasimaisia ja hauraita (vetokimmokerroin on samaa suuruusluokkaa kuin amorfisissa kestmuoveissa eli n. 1000 MN/m²). Muut ominaisuudet, kuten jäykkyys, lujuus, kovuus ja sitkeys, riippuvat molekyyliketjun rakenteesta, silloitteen luonteesta sekä siltojen määrästä. Esimerkiksi epoksit ja polyuretaanit voivat reagoida kemiallisesti erilaisten silloittavien aineiden (ns. kovetteiden) kanssa, jolloin saadaan toisistaan huomattavan paljon poikkeavia polymeerimateriaaleja, minkä vuoksi niiden tyyppillisten ominaisuuksien luetteleminen on mahdotonta.

2.4 Elastomeerit

Elastomeereilla tarkoitetaan joustavia polymeeri-materiaaleja, jotka normaaleissa käyttölämpötiloissa suhteellisen alhaisen rasituksen alaisena venyvät vähintään 100 % ja palautuvat nopeasti joko täysin tai ainakin lähes alkuperäiseen muotoonsa rasituksen loputtua. Elastomeerit ovat amorfisia ja niiden vetokimmokerroin on noin 1 MN/m². Hyvin kylmässä, lasittumislämpötilan alapuolella, molekyyliden liike kuitenkin estyy ja tuotteesta tulee jäykkä, hauras ja lasimainen; vetokimmokerroin on 2000 – 3000 MN/m².

Elastomeerit jaetaan kumeihin ja termoelastomeereihin. Kumi, jotka voivat olla luonnonkumia (sisältää kumipuusta saatavaa kautsua), synteettistä luonnonkumia (sisältää synteettisesti valmistettua kautsua) tai synteettistä kumia, ovat kemiallisesti pysyvästi silloittuneita eli niitä ei voida toistuvasti muokata lämmön ja paineen avulla. Veny-

vyys- ja palautuvuusominaisuudet saadaan aikaan vulkanointikäsitteillä, jossa vulkanointiaineet muodostavat ristisidoksia raaka-aineen molekyyliden välille. Perinteisesti luonnonkumi on vulkanoitu rikillä kuumennuskäsittelyssä. Synteettisten kumien vulkanointimis- ja silloittumisreaktiot vaihtelevat eri kumilaaduilla.

Termoelastomeerit eli termoplastiset elastomeerit sijoittuvat ominaisuuksiltaan muovien ja kumien väliin. Ne ovat lämpömuovautuvia kuten kestmuovit, mutta kimmoisia kuten kumi. Molekyyliden välinen kevyt silloittuminen saadaan aikaan lähtöaineiden valinnalla, joten niitä ei tarvitse vulkanoida. Termoelastomeerejä on neljä pääryhmää: styreenibutadieenistyreeniblokkipolymeerit, eräät polyolefiinit, termoplastiset polyuretaanit sekä termoplastiset polyesterit.

2.5 Polymeerituotteiden valmistus ja säilytys

Vain pieni osa polymeeriseoksista on nestemäisiä huoneenlämmössä ja normaalipaineessa. Näitä ovat mm. kumilateksit, tyydyttymättömät polyestereit, eräät polyuretaanisysteemit sekä eräät valettavat hartsit kuten epoksit. Näitä on helppo muovata normaalipaineessa ja tuotteiden energiantarve on siten kohtuullinen. Useimmat polymeerit ovat kuitenkin normaalioloissa joko kiinteitä tai erittäin jäykkäliikkeisiä nesteitä. Siksi suurin osa polymeerituotteista valmistetaan lämmittämällä polymeeriä, kunnes se on jäykkäliikkeistä sulaa, ja muotoilemalla sitä halutun mukaisesti.

Etenkin polymeeriä sisältävien rakennusaineiden ja -tarvikkeiden säilytys- ja käyttöoloihin on kiinnitettävä huomiota, sillä rakennustöiden aikana ne joutuvat alttiiksi sään vaikutukselle, erityisesti lämpötilan vaihtelulle (kuva 7) ja vedelle (ilman kosteutena, sateena ja lumena) /5/. Yleensä rakennusmateriaaleja voidaan käyttää ja varastoida, jos lämpötila on vähintään $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mutta eräät materiaalit on hyvä siirtää huoneenlämpöön ennen asennusta (ns. tasapainottuminen). Kylmässä työskenneltäessä polymeerit kovettuvat hitaasti tai eivät kovetu lainkaan. Lisäksi koska polymeerien pituuden lämpötilakertoimet ovat melko suuria ($50 - 200 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$), kylmässä asennetut materiaalit saattavat pullistella ja irtoilla lämpimämmällä säällä. Esimerkiksi muovituote, jonka pituuden lämpötilakerroin on $70 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$, laajenee $2,1\text{ mm/m}$, jos lämpötila nousee $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$:sta (kuviteltu asennuslämpötila) $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen (kuviteltu käyttölämpötila).

Toisaalta auringon säteily nostaa materiaalien pinnan lämpötilan auringonpaisteessa ilman lämpötilaa korkeammaksi ($+40 - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ väristä riippuen). Korkeissa lämpötiloissa työskenneltäessä polymeerit saattavat kovettua liian nopeasti tai puutteellisesti esimerkiksi liuotteen nopean haihtumisen vuoksi. Seurauksena voi olla huonosti kovettunut tuote, jonka lujuus ja kestävyys ovat suunniteltua heikommät.

Polymeerituotteiden työstettävyyssika (ns. pot life) saattaa vaihdella muutamasta sekunnista (nopeasti kovettuvat liimat) useisiin tunteihin (polymeerilateksit). Siksi onkin erittäin tärkeää noudattaa tuotteen valmistajan antamia ohjeita. (Kuvat 8a ja 8b.)



Kuva 7. PVC-putket voivat haurastua pakkasella.



Kuva 8. Epoksimassan kovettuminen astiassa (kuva 8a) on huomattavasti nopeampaa kuin ohuessa liimasaumassa (kuva 8b).

3 POLYMEERIEN KÄYTTÖ SILLOISSA

3.1 Betonin korjausaineet

Betonin korjausaineina käytetään orgaanisia polymeerituotteita (esimerkiksi epoksihartseja injektoinnissa) sekä polymeerin ja laastin seoksia. Korjausaineissa polymeeri voi toimia joko varsinaisena sideaineena tai sitä voidaan käyttää lisäaineena haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Taulukossa 3 on vertailtu betonin korjausaineina käytettävien materiaalien fysikaalisia ominaisuuksia.

3.1.1 Betonimuovi

Betonin korjausaineena käytettävä polymeereillä sidottu kiviaines eli betonimuovi ei sisällä sementtiä, vaan kiviaines sidotaan orgaanisella polymeerillä, useimmiten epoksilla, polyuretaanilla tai polymetyylimetakrylaatilla. Esipolymeeri toimitetaan nesteinä, joka kiviaineksen ja kovetteen lisäämisen jälkeen reagoi valmiiksi tuotteeksi.

Tuotteesta on käytetty nimityksiä polymeeribetoni ja muovibetoni (PC, engl. polymer concrete), jotka ovat kuitenkin harhaan johtavia, sillä se ei sisällä lainkaan sementtiä. Tilalle pyritäänkin vakiinnuttamaan nimitys betonimuovi, josta käy selville paremmin, että kyseessä on betoninkaltainen muovi.

Kiviaineksen raekoko ja polymeerin määrä seoksessa riippuvat käyttötarkoituksesta. Karkeimpia kiviaineksia sisältäviä tuotteita käytetään yleensä kulutuksenkestävyyttä vaativissa kohteissa. Raekoko vaihtelee 4 mm:stä yli 20 mm:iin käyttötarkoituksen mukaan. Tarpeen vaatiessa voidaan käyttää lisänä hienompiakin kiviaineksia. Polymeerin määrä on 100 – 300 kg/m³.

Sementtilaastin asemesta käytettävissä betonimuovisissa paikkausmassoissa hiekan raekoko on alle 4 mm ja polymeeripitoisuus 250 – 600 kg/m³.

Yleisimmin paikkausmassoissa käytetään sideaineena epoksihartsia tai akrylaattia, joka sekoitetaan kovetteen ja runkoaineen kanssa työmaalla juuri ennen käyttöä. Juotosmassoina ja ohutkerospäälysteinä käytettävissä materiaaleissa kiviaineksen raekoko on alle 4 mm ja polymeeripitoisuus 600 – 900 kg/m³.

Betonimuovia tehtäessä on kiviaineksen samoin kuin alustankin oltava kuiva. Vähäinenkin kosteus saattaa häiritä polymeroitumisreaktiota, jolloin materiaali ei kovetu kunnolla tai siihen ilmestyy kuplia. Kuivattu kiviaines, polymeeri ja kovete sekoitetaan koneellisesti. Ympäristön lämpötilan on oltava lähellä huoneenlämpöä, mieluiten vähintään +15 °C, ehdottomasti yli +5 °C. Massan työstettävyyssäika saattaa olla vain muutamia minutteja, kovettumisvaihe voi puolestaan kestää puolesta tunnista vuorokauteen – tähän vaikuttaa erityisesti rakenteen paksuus. Kovettumisen aikana materiaalin lämpötila nousee jonkin verran ja samalla se myös kutistuu. Jälkikovettuminen kestää muutamasta tunnista pariin viikkoon.

Betonimuovin hyviä ominaisuuksia ovat mm. seuraavat:

- kovettuu nopeasti
- tarttuu hyvin kiviainekseen, tavalliseen betoniin ja metalleihin
- hyvät lujuus-, iskulujuus- ja kulutuksenkestävyysominaisuudet
- pölyämätöntä
- hylkii vettä
- kestää hyvin suolaliuosten, öljyjen ja happojen vaikutusta
- tiivistä
- ulkonäköä voidaan muunnella pigmenteillä ja koristerakeilla.

Taulukko 3. Tyypillisten betonin korjausaineiden fysikaalisia ominaisuuksia /6/.

	Betonimuovit sekä juotos- ja paikkausmassat	Betonit ja laastit	Polymeeripitoiset betonit ja laastit
Puristuslujuus N/mm ²	55 – 110	20 – 70	10 – 80
Puristuskimmokerroin kN/mm ²	0,5 – 20	20 – 30	1 – 30
Taivutuslujuus N/mm ²	25 – 50	2 – 5	6 – 15
Vetolujuus N/mm ²	9 – 20	1,5 – 3,5	2 – 8
Murtovenymä %	0 – 15	0	0 – 5
Pituuden lämpötilakerroin 1/K	25 – 30 · 10 ⁻⁶	7 – 12 · 10 ⁻⁶	8 – 20 · 10 ⁻⁶
Veden imeytyminen (7 vrk, 25 °C) %	0 – 1	5 – 15	0,1 – 0,5
Korkein käyttölämpötila rasituksessa °C	40 – 80	n. 300 (riippuu betonin koostumuksesta)	100 – 300
Lujuuden kehittyminen 20 °C:ssa	6 – 48 h	1 – 4 vko	1 – 7 vrk

Seuraaviin seikkoihin on kiinnitettävä erityistä huomiota:

- lämpötila vaikuttaa mekaanisiin ominaisuuksiin (käytännön yläraja saavutetaan usein jo +50 – 70 °C:ssa)
- vaikka polymeerikomposiitit syttyvät vaikeasti ki-
viainespitoisuutensa ansiosta, ne palavat suhteellisen alhaisissa lämpötiloissa ja tuottavat haitallisia palokaasuja
- pituuden lämpötilakerroin on moninkertainen betoniin verrattuna, minkä vuoksi rakenteen halkeiluvara lämpötilan vaihdellessa on suuri
- polymeerit ovat sementtiä kalliimpia
- polymeerit vaativat erityisiä työsuojelutoimia ja työvälineiden puhdistus on vaikeampaa.

Betonimuovin käyttökohteita silloissa ovat

- liikuntasaumojen tukikaistat (kuva 9)
- ohutkerospäällysteet
- laakerien alustavalut
- paikkausmassat (kuva 10).



Kuva 9. Liikuntasaumalaitteen tukikaistan yläosa on valettu betonimuovista.



Kuva 10. Kolon paikkausta polymeerimassalla.

3.1.2 Polymeeripitoiset betonit ja laastit

Polymeeripitoiset betonit ja laastit sisältävät aina polymeerin lisäksi myös sementtiä. Materiaalien polymeeripitoisuudet vaihtelevat paljon: polymeerin määrä voi olla 1 – 25 % sementin painosta eli polymeeri-sementtisuhde (p/c) vaihtelee välillä 0,01 – 0,25 /7/. Jos polymeeriä on yli 5 % sementin painosta, polymeeri vaikuttaa materiaalin ominaisuuksiin, jolloin tuotetta kutsutaan polymeeri-sementtibetoniksi (PCC). Jos polymeeriä on vähemmän kuin 5 %, polymeeri toimii lähinnä lisäaineen tavoin. Tällöin siitä käytetään nimitystä polymeerimuunnosbetoni (PMC).

Periaatteessa mitä tahansa polymeeriä, joka on sekoitettavissa veteen lateksiksi, voidaan käyttää seoksessa. Polymeerin pitää kuitenkin olla stabiili siinä ympäristössä, johon materiaali asennetaan (kosteus, lämpötila, emäksisyys, ultraviolettisäteily). Polymeerilatekseja valmistetaan sekoittamalla veteen kiinteää, hienojakoista (1 – 5 µm) polymeeriä. Pinta-aktiiviset aineet estävät näiden polymeeripartikkeleiden tarttumista toisiinsa ja pitävät siten lateksin homogeenisenä. Lateksit sisältävät yleensä noin 50 % polymeeriä.

Latekseja on kahta päätyyppiä, elastomeerilatekseja ja kestonuovilatekseja. Elastomeerilatekseissa polymeerinä voi olla luonnonkumi tai synteettinen elastomeeri kuten styreenibutadieeni. Kestonuovilatekseissa polymeerinä on yleisimmin polyvinyylisetaatti tai sen kopolymeeri; lisäksi on käytetty erilaisia akrylaatteja ja niiden kopolymeerejä. Valittu polymeeri vaikuttaa luonnollisesti lopputuotteen ominaisuuksiin. Yleensä kestonuovit antavat paremman puristuslujuuden ja jäykkyuden, kun taas kumien avulla saavutetaan parempia taivutusvetolujuuksia. Kestonuovilateksit yleensä lisäävät komposiitin kutistumaa tavalliseen betoniin verrattuna, kun taas elastomeerilateksit saattavat jopa pienentää kutistumaa.

Polymeeripitoiset paikkauslaastit voivat olla valmislaasteja tai kaksikomponenttilaasteja. Valmislaastien kuiva-aines sisältää myös polymeerin, joten työmaalla tarvitsee lisätä vain vettä. Kaksikomponenttilaasteissa sekoitetaan kuiva-aines (sementti ja runkoaine) työmaalla polymeerin vesiliuokseen eli lateksiin. Lisäksi on tuotteita, joissa nestemäinen polymeeri tai kaksi polymeerikomponenttia sekoitetaan valmiiseen kuivalaastiin ja veteen. Useita komponentteja yhdistettäessä sekoitusvirheen mahdollisuus kasvaa, mutta tiettyjä ominaisuuksia vaativiin kohteisiin on syytä joskus valita tämä vaihtoehto. Runkoaineen, vesi-sementtisuhteen ja polymeerien määrät vaihtelevat eri tuotteissa. Yleisimmin paikkauslaasteissa käytetään styreenibutadieenikumia (SBR), akrylaatteja ja epokseja.

Polymeeripitoista betonia valmistettaessa käytetään tavanmukaisia betonin ja laastin sekoitusmenetelmiä. Betoniin tarvittava vesi saadaan lateksista. Monet lateksit notkistavat massaa ja parantavat siten työstettävyyttä, eikä vettä tarvitse lisätä niin paljon. Latekseissa käytetyt pinta-aktiiviset aineet muodostavat vaahtoa seosta sekoitettaessa. Siksi lateksiin on lisätty usein ilmaa poistavia aineita, jottei seokseen jää kuplia, jotka vähentäisivät lopputuotteen lujuutta. Jälkihoito tehdään tarkasti tuotekohtaisia ohjeita noudattaen.

Polymeeripitoiset betonit kestävät hyvin kulutusta ja kestävät myös pakkasta tavallista betonia paremmin, koska ne imevät vain vähän vettä itseensä. Toisaalta polymeerit saattavat olla erityisen herkkiä joissain olosuhteissa. Esimerkiksi elastomeerit paisuvat helposti happojen ja polyvinyylikloridi kalkkipitoisten liuosten vaikutuksesta. Poly-

vinyyliasetaatti reagoi kemiallisesti alkaliin kanssa veden läsnä ollessa ja akrylaatit menettävät lujuutensa kosteudessa, vaikkakin saavuttavat alkupeiraisen lujuutensa ympäristön kuivuttua. Polymeeripitoinen betoni on myös herkkä lämpötilan vaihteluille: sen kimmokerroin ja taivutusvetolujuus saattavat pienentyä jopa puoleen, kun lämpötila nousee noin 60 °C:seen. Polymeeripitoista betonia valittaessa tuleekin tarkasti selvittää kohteen olosuhteet, jotta voidaan valita oikeantyyppinen materiaali.

Polymeeripitoisten laastien ja betonien käyttökohteita silloissa ovat

- liikuntasauvojen tukikaistat
- korjausvalut ja muotoilut (kuva 11)
- vedenalaiset valut
- paikkaukset ja juotosvalut (kuva 12).

3.1.3 Kuitulaasti ja -betoni

Sementtipohjaisten materiaalien sitkeyttä voidaan lisätä polypropeeni- tai muilla muovikuiduilla (kuva 13). Kuitujen täytyy olla hyvin sekoittuneita, jotta ne voivat kunnolla pysäyttää sisäisten halkeamien etenemisen ja saada aikaan stabiileja mikrohalkeamia. Kuitujen sekoittaminen laastiin ja betoniin vaatii taitoa, sillä seos ei saa paakkuuntua. Myös komponenttien sekoitusjärjestyksellä, kuitujen koolla sekä itse laastin tai betonin koostumuksella on suuri merkitys. Betonin paikkauksia varten on kehitetty myös valmiita kuitulaasteja.



Kuva 11. Paikkauslaastista muotoiltu pulloholkka.



Kuva 12. Kaidepylvään kiinnitysvalu on tehty juotoslaastilla.



Kuva 13. Ohuiden muotoiluvalujen halkeilu voidaan estää kuiduilla.

3.1.4 Muut betonin polymeeriset lisäaineet

Betonin lisäaineita käytetään vaikuttamaan fyysikaalisesti ja kemiallisesti betonimassan tai kovettuneen betonin ominaisuuksiin /8/ (kuva 14). Useat lisäaineet ovat vesiliukoisia polymeerejä, esimerkiksi notkisteina ja nesteyttinä käytettävät melamiini- ja naftaleenihartsit sekä huokosteena käytettävä polyglykolieetterisulfonaatti. Polymeeristen lisäaineiden määrä on yleensä alle 1 % sementin määrästä.

Betonin lisäaineita on varastoitava oikein, ja nestemäisiä lisäaineita on sekoitettava tarvittavin väliajoin sakkautumisen estämiseksi. Yli vuoden vanhojen nestemäisten lisäaineiden käyttö ei ole suositeltavaa. Betonin lisäaineita käsitellään SILKO-ohjeessa 1.201.

3.1.5 Injektoinnissa käytettävät aineet

Halkeamien injektoinnissa käytetään epoksia ja polyuretaania, jotka sekoitetaan kovetteen kanssa työmaalla juuri ennen käyttöä (kuva 15). Polyesterihartseja ei siltatyömaalla saa käyttää, sillä kovettumattoman polyesterihartsin kosteudenkestävyys on huono.

3.1.6 Impregnointiaineet

Siltojen reunapalkkeja ja muita betonipintoja suojataan impregnoimalla (kuva 16). Impregnointiaineet tunkeutuvat betonin huokosiin ja muodostavat näkymättömän, suojaavan kerroksen rakenteen pintaan. Tavallisesti impregnointiaineet ovat silaani-, siloksaani- tai silikonihartsiyhdisteitä, jotka luokitellaan epäorgaanisiin polymeereihin.

Impregnointiaineiden tehokkuus perustuu lähinnä niiden vedenhylkimisominaisuuteen. Koska ne estävät pintavesiä pääsemästä betoniin, pakkasvauriot vähenevät ja kloridien tunkeutuminen rakenteeseen hidastuu.



Kuva 14. Tehonotkistettua betonimassaa on helppo työstää.



Kuva 15. Injektoituja maatuen kutistumishalkeamia.



Kuva 16. Reunapalkin impregnointia ruiskulla.

3.2 Maalit ja joustopinnoitteet

Orgaanisia maaleja käytetään silloissa erityisesti teräsosien, mutta myös betonipintojen suojaukseen (kuva 17). Osa soveltuu käytettäväksi sekä betonin että teräksen kanssa, vaikka niiden pinnat ovatkin maalauslustoina täysin erilaisia.

Betonipinta on epähomogeeninen, huokoinen ja hauras sekä kemiallisesti aktiivinen. Sen huokosis- sa on kosteutta ja suoloja, minkä takia se halkeilee helposti. Betonipintojen maaleilta vaaditaan alkalinkestävyyttä, tunkeutuvuutta, hyvää tarttuvuutta ja joustavuutta.

Teräs ei ole maalauslustana yhtä herkkä. Teräspinnan maalauksen kestävyys edellyttää puhdasta ja kuivaa pintaa sekä sopivaa pinnan karheutta. Korroosion estämiseksi pohjamaalissa on oltava korroosionestoaineita tai maalikerroksen on oltava niin paksu, että sen eristyskyky on riittävä.

Orgaanisten maalien ohella käytetään betonin suojaukseen sementtipohjaisia maaleja, joissa on polymeerisiä ainesosia. Teräsrakenteiden suojaamiseen käytetään etyyilisinkkisilikaattimaaleja, jotka ovat luonteeltaan lähellä epäorgaanisia sinkki- maaleja.

Siltojen suojaukseen käytettävät maalit ovat lähes yksinomaan nestemäisiä tuotteita, joiden nimitys muodostuu tavallisesti sideaineen mukaan. Tehdashalleissa voidaan joskus maalata myös jauhemaaleilla (esimerkiksi betoniteräksiä suoja-

taan epoksijauhemaalilla). Maalien ryhmittely kuivumistavan mukaan esitetään taulukossa 4.

Teräspintojen suojaukseen käytetään yleensä maaliyhdistelmiä, jotka yhdessä pinnan esikäsittelyn kanssa muodostavat maalausjärjestelmän. Terässilloissa käytettävät maalausjärjestelmät on koottu sillanrakennustöiden teräsrakenteita koskevassa yleisessä työselityksessä (SYT) taulukkoon, jossa esitetään maalausjärjestelmät rasisluokittain ja käyttökohteittain /9/.

Betonipintojen suojaus polymeerisillä maaleilla (yleensä epoksilla) voidaan tehdä joko ilman esisivelyä tai esisively tehdään silaani-, polymeeri- tai sementtipohjaisella tuotteella.



Kuva 17. Maali levitetään yleensä ruiskuttamalla.

Taulukko 4. Maalien jaottelu kuivumistavan mukaan.

Kuivuminen	Liuteohenteiset	Vesiohenteiset	Liuteettomat
1. Fysikaalinen (liuteettomille uunikuivatus) Liute ja vesi haihtuvat	kloorikautsu (KK) vinyyli (V) vinyyli-terva (VT)	akryylilateksi (AY)	PVC-plastisolit kestämuovijauheet - polyamidi - polyuretaani - PVC
2. Kemiallinen 2.1. 1-komponenttiset – hapettamalla kuivuvat (reagoivat ilman kanssa) – lämmössä kovettuvat (poltto- maalit) 2.2. 2-komponenttiset – muoviosa + kovete – maali + katalyytti – jauhe tai pasta + neste	alkydi (A) epoksi-esteri uretaaniöljy alkydi-amino (AP) akryyli-amino (AYP) polyesteri (SP) epoksi (E) epoksi-terva (ET) polyuretaani (PUR) wash primer (PVB) etyyilisilikaatti (sinkki SS-)	alkydidispersio alkydilateksi akryyli-amino (AYP) alkydi-amino (AP) polyesteri (SP) epoksi (vesi- ohenteinen) (E) akryyli (AY) / katalyytti alkalisisilikaatti (sinkki-)	epoksi (EP)-, akryyli (AYP)- ja polyuretaani (PUR)- polyesteri (SP)- jauhemaalit epoksi (E)- ja polyuretaani (PUR)- pinnoitteet akryyli/peroksidi polyesteri/peroksidi polysulfidi polyesterikitit

3.2.1 Alkydimaalit

Alkydimaalit ovat hapettumalla kovettuvia. Niiden sideaine koostuu kovasta alkydihartsista ja pehmeästä kuivuvasta öljystä, jotka muodostavat keskenään nk. estereitä. Alkydihartsia ei ole varsinaisen polymeeri, mutta koska alkydimaalit ovat yleisimmin käytettyjä maaleja ja ne ovat luonteeltaan orgaanisia, mainitaan ne myös tässä. Alkydimaalien ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa hartsiosan ja öljyn laadulla sekä pitoisuudella.

Jos alkydimaali sisältää kuivuvia öljyjä yli 50 %, se liukenee tavalliseen lakkabensiiniin. Nämä alkydimaalit ovat nk. hitaita eli pitkäöljyisiä alkydejä, ja ne soveltuvat hyvin kenttämaalaukseen. Teollisuuden tuotantomaalauksessa käytettävät nopeat alkydit ovat lyhytöljyisiä alkydimaaleja, jotka vaativat aromaattisen liuotteen, tavallisesti käytetään ksyleeniä. Korroosionestoon käytettävissä alkydipohjamaaleissa käytetään aina aktiivisia korroosionestoaineita (bariummetaboraattia, fosfaatteja ja lyijymönjää).

Alkydimaalit

- kuivuvat nopeasti
- tarttuvat alustaan
- kestävät säätä hyvin
- kestävät alifaattisia liuotteita
- ovat helppoja maalata.

Toisaalta ne

- eivät kestä upotusrasitusta
- liituuntuvat hieman vanhetessaan
- haurastuvat vanhetessaan (hapettumisreaktio jatkuu)
- kestävät kemikaaleja ja mekaanista kulumista rajallisesti
- ovat herkkiä alustan kosteudelle
- voivat aiheuttaa ongelmia vanhan kalvon päällemaalauksessa.

Sideaineen muuntelulla voidaan edellä mainittuja ominaisuuksia muuttaa jonkin verran. Modifioitaessa epoksihartsia rasvahapoilla saadaan epoksiesterimaaleja, jotka nimestään huolimatta ovat alkydimaalien kaltaisia, mutta niillä on tavallisiin alkydimaaleihin verrattuna parempi kemikaalinkestävyys. Epoksimaalien tavoin ovat myös epoksiesterit herkkiä liituuntumaan.

Alkydimaalien käyttökohteita silloissa ovat

- terässillat suolaamattomilla tai vähän suolatuilla tieosuuksilla
- siltojen kaiteet
- vanhat ristikkosillat, joissa on niitti- tai pulttiliitoksia (lyijymönjähajamaali).

3.2.2 Kloorikautsumaalit

Kloorikautsumaalit kuivuvat fysikaalisesti. Ne voivat olla joko puhtaita kloorikautsumaaleja tai niiden sideaine voi olla kloorikautsun ja muiden sideaineiden seos. Maalin ominaisuudet määräytyvät sideaineseoksen mukaan. Mekaanisen kestävyys ja säänkestävyyden parantamiseksi lisätään kloorikautsumaaleihin pigmenttejä, esimerkiksi kloorikautsupohjamaaleissa käytetään korroosionestopigmenttejä.

Kloorikautsumaaleissa käytetään aromaattisia liuotteita. Maalattavuuden parantamiseksi voidaan apuna käyttää myös joitain hitaammin haihtuvia liuotteita.

Kloorikautsumaalit

- soveltuvat hyvin kenttämaalaukseen
- ovat päällemaalattavissa pitkänkin ajan kuluttua
- ovat yksikomponenttisia
- läpäisevät vesihöyryä vain vähän.

Toisaalta

- maalattujen kappaleiden kuljetus on hankalaa (pinnat tarttuvat kiinni toisiinsa)
- ne eivät kestä liuotteita
- ne halkeilevat ja liituuntuvat helposti.

Kloorikautsumaalien yleisimmät käyttökohteet silloissa ovat terässillat rasitusluokissa M2 ja M3. Niitä käytetään yleensä maaliyhdistelmissä, joissa pohjamaalina on sinkkipölymaali. Kloorikautsumaalit soveltuvat myös betonin suojaukseen.

3.2.3 Vinyylimaalit

Myös vinyylimaalit kuivuvat fysikaalisesti. Niiden sideaineena käytetään vinyylikloridin kemikaalin-kestäviä kopolymeerejä, joissa pääkomponentteina voi vinyylikloridin lisäksi olla esimerkiksi vinyylasetaattia, vinyylialkoholia tai akrylaattiesteriä. Jos osa sideaineesta korvataan kivihiilitervapiellä, saadaan vinyylitervamaaleja. Liuotteina käytetään ketoneita ja kloorattuja hiilivetyjä.

Vinyylimaalit muistuttavat ominaisuuksiltaan kloorikautsumaaleja. Tärkein ominaisuus on niiden hyvä vedenkestävyys. Vinyyliakryylimaalien säänkestävyys on parempi kuin puhtaiden vinyylimaalien. Vinyylitervamaaleja tielaitos käyttää ruiskusinkityillä pinnoilla veden alla. Vinyylimaalit soveltuvat myös betonin pinnoitukseen.

3.2.4 Epoksimaalit

Yleisimmin käytettävät epoksimaalit ovat kaksikomponenttimaaleja. Epoksihartsia sisältävä muoviosa ja koveteosa yhdistetään ennen käyttöä. Epoksihartsia muuntamalla saadaan hartsimodifioituja epoksimaaleja. Epoksiakryylimaalit esimerkiksi ovat vesiohenteisia epoksimaaleja, joilla on hyvä säänkestävyys. Epoksitervamaalien sideaine on epoksin ja kivihiilitervapien seos.

Kaksikomponenttisten epoksimaalien muoviosa sisältää epoksihartsin lisäksi maalin muita komponentteja (lisä- ja apuaineita, pigmenttejä jne.). Liuotteen määrän mukaan puhutaan niukkaliuotteista epokseista, liuote-epokseista sekä liuotteetomista epokseista. Betonin maaleina käytetään myös vesiohenteisia, kaksikomponenttisiä epoksimaaleja. Kovetteina käytetään eniten polyamidia ja amiiniadduktia.

Epoksimaalien ominaisuuksiin vaikuttavat hartsin koostumus ja kovetteen laatu. Niiden yleisiä ominaisuuksia ovat

- hyvä korroosionestokyky
- hyvä kemikaalien kestävyys
- voimakas liituuntuminen ilmastollisessa rasituksessa.

Epoksimaaleja käytetään teräsiltojen korroosionestomaaliyhdistelmissä väli- ja pintamaaleina. Tällöin on pohjamaalina yleensä sinkkipölymaali. Epoksimaaleja voidaan käyttää myös betonipintojen suojaukseen; vesiohenteiset epoksimaalit soveltuvat yleensä myös kloridipitoisille betonipinnoille. Betoniteräksiä pinnoitetaan epoksijauhe- maaleilla sähköstaattisen ruiskutusmenetelmän avulla.

3.2.5 Polyuretaanimaalit

Polyuretaanimaalit ovat kaksikomponenttisiä maaleja tai yksikomponenttisiä kosteuskovettuvia maaleja. Teräsrakenteiden korroosionsuojaukseen silloissa Suomessa käytetyt polyuretaanimaalit ovat toistaiseksi olleet kaksikomponenttisiä.

Kaksikomponenttisten ulkona käytettävien polyuretaanimaalien kovete on alifaattinen isosyanaatti. Kaupallisesti saatavilla olevat alifaattiset polyuretaanimaalit ovat liuotemaaleja. Yksikomponenttiset polyuretaanimaalit ovat yleensä kosteuskovettuvia maaleja, joissa kalvonmuodostus tapahtuu, kun esipolymeeri reagoi ilman kosteuden kanssa.

Polyuretaanimaalien käyttö perustuu niiden hyvään mekaaniseen, ilmastolliseen ja kemialliseen kestävyYTEEN. Niitä käytetään silloissa pintamaaleina teräsiltojen maaliyhdistelmissä silloin kun pinnan ulkonäöllä on erityistä merkitystä.

3.2.6 Sinkkipölymaalit

Sinkkipölymaalit ovat maaleja, jotka sisältävät runsaasti metallista sinkkiä. Sideaine on tavallisesti epoksi tai etyyliisilikaatti. Sinkkipölymaalien käyttö perustuu sinkin hyvään korroosionestokykyyn. Katodisen suojauksen antamiseksi on kuivassa maalikalvossa oltava sinkkiä yli 90 %.

Sinkkiepoksimaalit ovat tavallisesti kaksikomponenttimaaleja, joiden koveteosa ja muoviosa sekoitetaan ennen käyttöä. Kovetteena on yleensä polyamidi. Epoksi- eli muoviosa sisältää sinkkijauhetta tavallisesti yli 50 %, mutta sinkki voi olla myös erillisessä pakkauksessa. Liuotteena on esimerkiksi ksyleeni. Yksikomponenttisten sinkkiepoksimaalien hartsi on epoksiesteri.

Sinkkisilikaattimaalit ovat meillä Suomessa tavallisesti kaksikomponenttisiä etyyliisilikaattimaaleja, joiden sinkkiosa ja silikaattiosa yhdistetään ennen maalausta. Myös yksikomponenttisiä etyyli-sinkkisilikaattimaaleja voidaan valmistaa. Etyyliisilikaattimaalit ovat liuoteohenteisia.

Sinkkisilikaattimaalien edut sinkkiepoksimaaleihin verrattuina ovat

- parempi kulutuksenkestävyys
- parempi liuotteiden ja meriveden kestävyys
- parempi korroosionkestävyys käytettäessä ilman pintamaalia
- sietävät sadetta noin puolen tunnin kuluttua maalauksesta
- kuivuvat alhaisemmassa lämpötilassa.

Sinkkisilikaattimaalien haitat sinkkiepoksimaaleihin verrattuina ovat

- herkkyyys pinnan orgaanisille epäpuhtauksille (öljyille, rasvoille)
- kosteuskovettuvuus; ne edellyttävät kovettuakseen vähintään 50 %:n suhteellisen kosteuden (suhteellinen kosteus ei kuitenkaan saa olla yli 90 %)
- kalvonpaksuuden ylitykset kriittisempiä (yli 100 µm:n kalvot halkeilevat).

Sinkkipölymaaleja käytetään Suomessa teräsiltojen pohjamaaleina kloorikautsu-, epoksi- ja polyuretaaniyhdistelmissä kaikissa rasitusluokissa.

3.2.7 Akrylaatit

Ilmakuivuvat akrylaatit ovat vesiohenteisia maaleja, joissa akrylaatti on sekoittunut veteen ja kalvo muodostuu fysikaalisesti veden haihtuessa. Tuotantomalauksessa käytetään myös akrylaattipoltomaaleja. Akrylaattimaaleilla voidaan saada hyvä säänkestävyys, mutta siltamaalauksissa niiden käyttö on vähäistä. Suomessa niillä on maalattu sateelta suojattuja betonirakenteita.

3.2.8 Joustopinnoitteet

Joustopinnoitteet ovat nimensä mukaisesti joustavia pinnoitteita, joita voidaan käyttää sekä teräsettä betonipintojen suojauksessa. Niiden joustavuus voidaan saavuttaa käyttämällä sideaineena termoelastomeeria tai lisäämällä tuotteeseen esimerkiksi kumirouhetta niin runsaasti, että joustopinnoitteelle saadaan elastisuutta (vertaa kappale 2.4).

Joustopinnoitteina käytettävien termoelastomeerien sideaine voi olla kloorattu polyetyleni (PEC),

kloorattu polypropeeni (PP), kloorisulfonoitu polyeteeni (CSM), polykloropreeni (CR, klooributadieeni) tai polyuretaani (PUR). Käytännön merkitystä on lähinnä vain termoplastisella polyuretaanilla, polykloropreenillä ja kloorisulfonoidulla polyetyleenillä.

Näiden tuotteiden ilmaston-, veden- ja kemikaalienkestävyys on hyvä. Lisäksi ne soveltuvat kohteisiin, joissa vaaditaan hyvää mekaanista kestävyttä.

3.3 Vedeneristeet ja päällysteet

Vedeneristeen tehtävänä on estää sade- ja valumavesien pääsy sillan rakenteisiin. Eristyksen tulee siten olla vesitiivis. Vesitiiviydellä tarkoitetaan sitä, että eristyskerros kestää vuotamatta sään vaihtelut, vedenpaineen, liikenteen aiheuttaman rasituksen sekä lämpötilasta ja kutistumasta aiheutuvat rakenteiden muodonmuutokset. Päällysteen tehtävänä on suojata siltarakennetta ulkoisilta rasituksilta. Osa päällysteistä toimii myös vedeneristeinä. Vedeneristyksessä ja päällystyksessä käytettävät tuotteet voidaan ryhmitellä taulukon 5 mukaisesti. Vedeneristeistä ja päällysteistä on annettu ohjeita SILKO-yleisohjeissa /10, 11/

Taulukko 5. Siltojen vedeneristyksessä ja päällystyksessä käytettäviä tuotteita.

Tuotteen tyyppi	Tuotteen tehtävä
esisivelyaineet	siltakannen esikäsittely esim. tartunnan parantamiseksi
bitumit ja kumibitumit	vedeneristeiden liimaus
eristyskermit	vedeneriste
eristysmastiksi	vedeneriste
eristysmassat	vedeneriste
asfaltit	päällyste
ohutkerrospäällysteet	päällyste ja vedeneriste

3.3.1 Esisivelyaineet

Esisivelyaineita käytetään osassa vedeneristyksiä lähinnä tartunnan parantamiseen (kemiallinen tartunta, pölynsidonta) tai väliaineena emäksisen betonin ja vedeneristeen välissä. Polymeerejä sisältäviä esisivelyaineita ovat kumibitumiemulsiot ja -liuokset, ohennetut polymeeriliuokset (epoksit, polyuretaanit jne.) tai muut kyseiseen vedeneristetarvikeyhdistelmään kuuluvat esisivelyaineet.

3.3.2 Eristyskermit

Polymeerejä sisältäviä eristyskermejä ovat kumibitumi- ja muovibitumikermit (kuva 18). Ne ovat vettä läpäisemättömiä tuotteita, joiden eristysaineena on muovibitumi tai kumibitumi ja tukikerroksena yleensä polyesterikuituhuopa. Lasihuopaa ei siltaeristyksissä saa käyttää.



Kuva 18. Esisivelyaineen avulla kiinnitettävän vedeneristyskermin levitystä.

Kumibitumi on massa, joka saadaan lisäämällä bitumiin elastomeeriä (SBS-kumia) niin paljon, että bitumin venyvyys ja taivutettavuus alhaisissa lämpötiloissa paranevat oleellisesti. Muovibitumi on massa, joka saadaan lisäämällä bitumiin muovia (APP-muovia) niin paljon, että bitumin venyvyys ja taivutettavuus alhaisissa lämpötiloissa ja lämmönkestävyys korkeissa lämpötiloissa paranevat. Kumibitumikermien etuna on niiden joustavuus myös alhaisissa lämpötiloissa. Murtovenymä -20 °C :n lämpötilassa on polyesteritukikerroksisella kumibitumikermillä yleensä yli 30 %, ja muovikermillä tuotteesta riippuen 5 – 20 %.

Polyesteritukikerros on polyesterimuovikuiduista valmistettu joustava huopa, verkko tai matto, joka säilyttää joustavuutensa myös matalissa lämpötiloissa. Polyesterikuitukerros ei kestä korkeaa lämpötilaa kauan, mikä on otettava huomioon kuumabitumiliimauksissa.

Vedeneristys suojataan yleensä ns. suojakermillä, yleisimmin bitumikermillä PX, jossa tukikerroksena on vahvistettu lasi- tai polyesterihuopa.

3.3.3 Eristysmastiksit

Eristysmastiksi valmistetaan hiekasta, täyteaineesta (kalkkikivijauheesta) sekä sideaineesta. Sideaine on styreenibutadieenistyreeneikumia sisältävää kumibitumia ja sitä on oltava vähintään 15 paino-%. Mastiksieristyksessä on kolme kerrosta: kumibitumi KB 100, eristysmastiksi ja tartuntasirote.

3.3.4 Eristysmassat

Siveltävät tai ruiskutettavat eristysmassat ovat yleensä polyuretaaneja (kuva 19), epokseja, tervaepokseja tai kumibitumeja. Eristysmassan paksuus on vähintään 2,5 mm. Käyttökohteina ovat sekä betoni- että terässillat. Eristysmassojen etuja ovat

- yleensä hyvä tartunta alustaan
- hyvä leikkauslujuus
- kevyt rakenne
- hyvä vesitiiviys (tuote saumaton)
- osalla tuotteita hyvä joustavuus matalissa lämpötiloissa.

Eristysmassojen haittoja osassa tuotteita ovat

- kalleus
- vaativat hyvät työolosuhteet (lämpötila, kosteus)
- herkkyyt työvirheille.

Tuotteiden ominaisuudet vaihtelevat. Laboratoriokokeissa polyuretaanit ja epoksit ovat osoittautuneet tervaepokseja ja kumibitumeja selvästi paremmiksi. Eristysmassat vaativat yleensä tuotekohtaisen tartuntasivelyn parantamaan tuotteiden tartuntaa alustaansa. Eristysmassoja ei saa levittää liian märälle alustalle. Myös liian kostea ja viileä

ilma häiritsevät eristysmassojen kovettumisreaktioita. Päälyste voidaan levittää suoraan useimpien eristysmassojen päälle.

3.3.5 Asfaltit

Siltakansien vedeneristyksen päälle levitetään yksi tai useampia päälystekerroksia, jotka suojaavat eristystä ulkoisilta rasituksilta. Yleensä siltapäälysteen kulutuskerros tehdään kumia sisältävästä asfaltista.

Polymeeriä sisältävissä asfalteissa käytetään sideaineena kumibitumia tavanomaisen bitumin asemesta. Silloilla käytettäviä kumiasfaltteja ovat kumiasfalttibetoni (KBAB), kumivaluasfaltti (KBVA) sekä splittmastix-asfalttibetoni (KBSMA). Viimeksi mainittu on epäjatkuvan rakeista kumiasfalttibetonia, joka sisältää myös kuituja.

Kumiasfalttien on todettu kestävän deformaatiota huomattavasti paremmin ja kulutusta jonkin verran paremmin kuin tavalliset asfaltit. Kumiasfaltin hyvät ominaisuudet perustuvat sideaineena käytetyn SBS-polymeerillä (styreenibutadieenistyreeneipolymeerillä) modifioitun bitumin hyvään tarttuvuuteen ja kylmäominaisuuksiin.

Kumiasfaltti valitaan siltapäälysteeksi taloudellisista syistä. Käyttöiän pitenemisestä koituvan korjauskustannusten säästön on oltava suurempi kuin ne lisäkustannukset, jotka aiheutuvat siitä, että kumiasfaltti on kalliimpaa kuin tavallinen asfaltti.



Kuva 19. Polyuretaanin ruiskutusta.

3.3.6 Ohutkerrospäällysteet

Ohutkerrospäällysteet ovat 5 – 15 mm paksuja polyuretaani-, epoksi- tai tervaepoksinnoitteita tai betonimuoveja (kuva 20). Ohutkerrospäällyste koostuu yleensä kahdesta nestemäisestä komponentista ja kiviaineksesta. Nestemäiset komponentit ovat yleensä hartsi ja kovete. Ohutkerrospäällysteen tarttumista alustaan parannetaan usein tartuntasivelyn avulla.

Ohutkerrospäällysteiden etuja ovat

- toimii päällysteenä ja eristeenä
- pieni oma paino
- hyvä tartunta alustaan
- hyvä suolankestävyys
- hyvä kulutuksenkestävyys.

Haittoja ovat

- kallis hinta
- kestävyys kylmissä olosuhteissa vaihtelee materiaaleittain
- vaurioituvat helposti talvikunnossapidon yhteydessä.



Kuva 20. Epoksipohjaisen ohutkerrospäällysteen levitystä.