

TEOLLISUUSLATTIOIDEN  
PINNOITUS

Eva Häkkä-Rönholm, Taru Haimala, Liisa Rautiainen

Raportti 8.11.1999

## **TEOLLISUUSLATTIOIDEN PINNOITUS (Tekes)**

### **Sisältö**

- 0 Alkusanat
- 1 Johdanto
- 2 Betonilattiat ja niiden pinnoittaminen
- 3 Pinnoitteet
  - epoksit
  - polyuretaanit
  - akryylit
  - vinyyliesterit
- 4 Lattiapinnoitteille asetettavat vaatimukset
- 5 Betonin kosteuden mittaaminen
- 6 Betonin pintakäsittely
  - pinnan puhdistus ja muu esikäsittely
  - pinnoitustyö
  - laadunvalvonta
- 7 Projektin kokeellinen osuus
  - betonilaatat
  - pinnoitteet
  - kokeet ja niiden tulokset
- 8 Yhteenveto
- 9 Ehdotus pinnoitteen toimivuusvaatimuksiksi

## 0 Alkusanat

Tutkimuksen lähtökohtana olivat lattioiden pinnoitteissa esiintyneet ongelmat. Tutkimus toteutettiin yhteistyössä eri teollisuuden alojen kanssa. Projektissa olivat mukana betoniteollisuuden, maalitehtaiden, urakoitsijoiden ja loppukäyttäjien edustajat.

Teollisuutta edustivat projektin eri vaiheissa Lohja Rudus OyAb, Tikkurila Coatings Oy, Teknos Winter Oy, Kausalan pinnoite Oy, Nor-Maali Oy, Oy Algol Ab, Valio Oy ja UPM Kymmene Oyj. Urakoitsijoita edustivat Maalausliike E.Voutilainen, Suomen Korroosiourakoitsijat ry./Maalarimestariliitto ja Betonilattiyhdistys. Nämä yritykset ja järjestöt osallistuivat myös projektin rahoitukseen

Projektin päärahoittajana oli Teknologian tutkimuskeskus TEKES (Tekesin rahoituspäätös Nro 4092/95)

Tutkimus tehtiin VTT Rakennustekniikkayksikössä ja VTT osallistui myös projektin rahoitukseen.

Projektin johtoryhmän puheenjohtajana toimi Matti Hyttinen Finnpak Oy:stä ja projektipäällikkönä Eva Häkkä-Rönholm VTT Rakennustekniikasta.

## 1 Johdanto

Teollisuuden betonilattioiden pintakäsittelyssä esiintyvät ongelmat ovat aiheuttaneet seisokki- ja korjauskustannuksia sekä uudis- että korjauskohteissa. Rajapintailmiöitä (pinnoite/ympäristö, pinnoite/alustabetoni) sekä niiden välisiä riippuvuuksia ja reaktioiden herkkyksiä kosteudelle, lämpötilalle, betonin koostumukselle ja pinnan rakenteelle ei tunneta riittävästi. Näiden asioiden hallinta on kuitenkin toimivien pintakäsittelyratkaisujen edellytys.

Pintakäsittely on prosessi, jonka kaikki vaiheet vaikuttavat lopputulokseen. Teollisuuslattioiden pintakäsittelyprosessin osia ovat:

- lattiabetonin valinta (kohteen rasitukset huomioon ottaen)
- pinnoitetyypin valinta (kohteen vaatimukset huomioon ottaen)
- betonilattian esikäsittelyn valinta (kohteen rasitukset ja pinnoite huomioon ottaen)
- pinnoitustyön ajoitus (pinnoitteen ominaisuudet ja betonin tyyppi ja ikä huomioon ottaminen)
- lattian betonivalun toteutus ja jälkihoito
- betonin esikäsittelyn toteutus
- pinnoitustyön toteutus (sisältäen pohjustuksen).

Käytännössä suunnittelija valitsee rakenteen ja lattiabetonin, pintakäsittelyn tyypin ja vielä esikäsittelynkin rakennuttajan asettamien reunaehtojen puitteissa. Urakoitsija toteuttaa oman osuutensa ja aikatauluttaa aliurakat, joista pintakäsittelyurakoitsija aliurakoitsijana toteuttaa pinnoituksen. Lopputuloksen laadun kannalta on jonkun otettava kokonaisvastuu esimerkiksi eri työvaiheiden ajoituksen suhteen.

## 2 Betonilattiat ja niiden pinnoittaminen

### 2.1 Lattiabetonin valinta

Lattiabetonit ovat erittäin lujia materiaaleja. Betonireseptejä on lukuisia, mutta kaikki betonit koostuvat vedestä, runkoaineista (sora), sementistä (tavallisesti portlandsementistä) ja lisäaineista, jotka antavat betonille erityisominaisuuksia joko valun aikana tai valun jälkeen. Betonissa käytetään tavallisesti yleissementtiä tai nopeasti kuivuvaa portlandsementtiä. Betonirakenteessa käytetään usein lujitteena raudoitusta tai muita lujitteita, jotka mm. lisäävät betonin vetolujuutta.

Teollisuuslattioissa betonin lujuuden tulee olla vähintään K30. Lattiabetoniksi valitaan yleisesti lujuusluokaltaan K30 - K50 olevia betoneja käyttökohteessa esiintyvien kuormitus/kulutusrasitusten perusteella. Tarpeettoman suuria lujuusluokkia tulee välttää plastiseen halkeiluun liittyvien ongelmien vuoksi. Betonin lujuus saadaan aikaan mm. sementtimäärän, käytetyn sementin hienouden, vesi-sementtisuhteen ja sen pienentämistä mahdollistavien notkistimien ja nesteyttimien avulla. Työmenetelmät huomioon ottaen notkeus tulisi valita mahdollisimman jäykäksi. Lisäaineen valinta on tehtävä niin, että itse lisäaineen aiheuttama betonin kutistuma on mahdollisimman pieni. Viileissä olosuhteissa valettaessa on muistettava lisäaineen sitoutumista hidastava vaikutus, minkä vuoksi hiertojen aloitus siirtyy myös myöhemmäksi. Tarvittaessa käytetään myös muita lisäaineita kuten kiihdyttämiä, hidastimia ja huokostimia.

Valmistuoteteollisuus on kehittänyt lattioihin omat erikoistuotteensa. Lattiabetonin valinnassa on toimittajan kanssa käytävä läpi valuolosuhteet, työmenetelmät ja lattialta vaadittavat ominaisuudet ja valita betonimassa näiden vaatimusten perusteella. Lattiamassaa ei tule valita sementtimäärän perusteella.

Useimmiten ei betonin valinnasta mainita työselityksessä muuta kuin lujuusluokka, vaikka edellä mainittujen lujuuden säätötoimenpiteillä vaikutetaan lujuuden ohella myös muihin betonin pintakäsittelyn kannalta oleellisiin ominaisuuksiin. Näitä ovat kuivumisnopeus, liukoisten suolojen pitoisuus, lisäaineiden tyypit ja määrät sekä pintalujuudet.

Lattian toimivuus - erityisesti pintakäsittelyn osalta - riippuu pintakerroksesta, jonka paksuus on muutaman millimetrin. Hierron osuus pinnan muodostumisessa on ratkaiseva. Hierrolla tasoitetaan ja tiivistetään pinta lujaksi, kulutusta kestäväksi ja tiiviiksi sekä riittävän tasaiseksi. Hierrolla suljetaan tuoreeseen betoniin syntyneitä halkeamia. Hierron ajankohta vaihtelee varsin paljon olosuhteista ja betonin koostumuksesta riippuen. Liian aikaisesta hierrosta on seurauksena lattian pinnan lujuuden voimakas aleneminen sekä pintahalkeilu hierrossa pintaan nousevan veden takia.

Betonin jälkihoito on aloitetaan heti massan levityksen jälkeen varhaisjälkihoitona. Muovikalvon käyttö on tehokas tapa, mutta sen käyttäminen rikkomatta hierrettyä pintaa on vaikeaa. Yleensä käytetään jälkihoitoainetta, joka levitetään ruiskuttamalla hierron yhteydessä. Muovikalvo levitetään tarvittaessa vasta sitten, kun pinta on kovettunut riittävästi. Kun lattia pinnoitetaan, on käytettävä jälkihoitoainetta, joka haihtuu tietyn ajan kuluttua pinnasta tai se

poistetaan huolellisesti ennen pinnoitusta. Jälkihoitoon ei suositella kastelua, sillä se viivästyttää lattian kuivumista.

Valmistuksen jälkeen betonirakenteissa on rakennuskosteutta. Kosteuden määrä riippuu mm. betonimassasta ja mahdollisesta rakenteen jälkihoitoon käytetystä vedestä sekä rakennustyön aikaan rakenteisiin pääsevistä vedestä. Betonirakenteiden kuivumisaikaan voidaan vaikuttaa rakenteellisin ratkaisuin, materiaalivalinnoin ja työmenetelmin. Eri betonilaatujen kosteustekniset ominaisuudet vaihtelevat ja muuttuvat betonilaatujen materiaalitekniikan kehittämisen myötä. Tämä vaikeuttaa betonirakenteiden kuivumisen arviointia, sillä kosteudensiirtoa betonissa kuvaavia aineominaisuuksia ei yleensä määritetä uusista betonituotteista. Kun kuivumiseen vaikuttavien tekijöiden merkittävydestä ei ole riittävästi tietoa, on kuivumisen arviointi vaikeaa ilman rakenteen kosteuden mittaamista.

## 2.2 Betonin kestävyys teollisuuskohteissa

Lujuudestaan huolimatta betoni ei kestä kaikkia rasituksia, joita siihen teollisuusrasituksessa kohdistuu.

Betoni on huokoinen materiaali, joten vesi ja muut yhdisteet tunkeutuvat siihen helposti. Nämä vieraat yhdisteet voivat tuhota sideaineen tai runkoaineen tai molemmat. Jotkut betoniin tunkeutuneet aineet voivat reagoida ja laajentua ja aiheuttaa siten betoniin halkeamia.

Sementin alkalihydraatit ovat herkkiä monille prosessiteollisuuden kemikaaleille. Portlandsementin tärkein komponentti on kalsiumhydroksidi. Kalsiumhydroksidin syöpyessä betonin runkoaine paljastuu ja betoni menettää lujuutensa.

Betonin raudotteet syöpyvät, jos betonissa on läsnä happea, kosteutta ja aggressiivisiä ioneja kuten klorideja.

Betonin tuhoutuminen teollisuuskohteissa voidaan jaotella mekanismien perusteella kahteen pääluokkaan.

### Kemialliset tuhoutumismekanismit

Kemiallisten tuhoutumismekanismien alussa tapahtuu kemiallisia reaktioita ulkopuolisen yhdisteen ja betonin sideaineen kesken. Reaktiot muuttavat sideaineen koostumusta ja ominaisuuksia ja sideaine ei enää kykene pitämään betonia koossa. Betonia heikentäviä kemikaaleja ovat hapot, emäkset, kaasut, öljyt, rasvat ja sokerit.

Betoni kestää huonosti *happoja* sementtilajista riippumatta. Useimmat hapot muodostavat sementin kovettumistuotteiden kanssa helposti liukenevia suoloja ja kuluttavat siten sementtikiveä. Käytännöllisesti katsoen kaikki epäorgaaniset hapot syövyttävät betonia. Teollisuudessa tavallisia happoja ovat rikkihappo, suolahappo ja typpihappo. Rikkihappoa muodostuu myös esimerkiksi jätevesissä.

Betoni itsessään on varsin emäksinen aine, joten vain hyvin vahvat *emäkset* syövyttävät sitä.

*Sulfaatteja* on teollisuuden prosesseissa ja myös luonnon vesissä. Sulfaatit reagoivat betonin sideaineen tiettyjen komponenttien kanssa ja tunkeutuvat betoniin. Sen sijaan että ne liuottaisivat sideainetta, ne muodostavat yhdisteitä, joiden tilavuus on suurempi kuin alkuperäisten sulfaattien ja sideaineen. Tilavuuskasvu aiheuttaa voimia jotka ylittäessään betonin vetolujuuden aiheuttavat betoniin halkeamia ja rapautumista.

*Kloridien* tuhot ovat pääasiassa raudoitteiden ruostumista. Kloridit pystyvät tuhoamaan raudoitteita suojaavan passiivikalvon. Passiivikalvoa ylläpitää betonin korkea alkalisuus eli korkea pH-arvo, mutta kloridit pystyvät tuhoamaan sen, vaikka betonin pH-arvo olisi vielä korkea.

*Bakteerit ja muut mikro-organismit* voivat tuhota betonia. Räsitus on oleellinen esimerkiksi merivesiympäristössä ja vedenpuhdistuslaitoksissa, ei niinkään lattia-rakenteissa.

### Fysikaaliset mekanismit

Fysikaaliset mekanismit ovat erilaisia kulumisen tai pakkas-sulamissykliä aiheuttamia vaurioita. Teollisuuslattioille kuljetuskaluston aiheuttama kuluminen ja koneiden ja laitteiden aiheuttama värinä ja mahdolliset iskut ovat oleellinen osa lattioihin kohdistuvia räsituksia.

Jäätymis-sulamisvauriot voivat tulla kyseeseen esimerkiksi lastauslaitureilla, jolloin räsitukseen usein liittyy myös suolaus ja mekaaniset räsitukset.

Lämpöräsituksia voi teollisuusolosuhteissa esiintyä, jos esimerkiksi seisakkien aikana lämpötila laskee nopeasti esimerkiksi silloin, kun lattiaan kohdistetaan kylmä vesisuihku.

## 2.3

### Betonin pinnoittamisessa huomioon otettavaa

Suojapinnoitteiden avulla voidaan estää betonille haitallisten aineiden pääsy betonin pintaa ja siten pidentää lattian käyttöikä. Lattiapinnoitteilla saavutetaan myös helposti puhdistettavissa oleva pinta. Betonin pinnoittamiseen liittyy joitakin betonin ominaisuuksista johtuvia tekijöitä, jotka vaikuttavat pinnoitevalintaan ja pinnoituksen onnistumiseen.

Pinnoitteen ja alustan yhteensopivuuteen vaikuttavat betonialustan ominaisuudet ja pinnoitteen ominaisuudet. Betonin osalta nämä ominaisuudet ovat lujuus, profiili, huokoisuus, pH-arvo ja pintajännitys. (JPCL, Dec 1995). Pinnoitteelle taas nämä ominaisuudet ovat viskositeetti, pintajännitys, kuivumiskutistuma, ja pinnoitteen kyky kovettua alkalisissa ja mahdollisesti kosteissa olosuhteissa, jotka vaikuttavat betonin pinnalla. Pinnan epäpuhtaudet voivat vaikuttaa kaikkiin näihin tekijöihin, sen takia epäpuhtaudet vaikuttavat myös pinnoitteen tartuntaan.

*Vetolujuus:* Jos betonin vetolujuus on liian alhainen, voi betoniin syntyä halkeamia, jotka aiheuttavat pinnoitteen irtoamisen. Pinnoitteisiin verrattuna betonin vetolujuudet ovat alhaisia. Pinnoitteiden vetolujuudet ja myös lämpölaajenemiskertoimet ovat suuremmat kuin betoneilla. Tämän seurauksena pinnoitteet voivat aiheuttaa jännityksiä betonin ja pinnoitteen rajapintaan. Lämpölaajeneminen voi aiheuttaa vaurion, jos pinnoitteen paksuus on suurempi kuin materiaalintoimittaja on suositellut tai jos käyttölämpötilat ovat suuremmat kuin tuotteelle on annettu. Joillakin vinyyliestereillä todettu vauriot ovat johtuneet niiden kovettumisen aikaisesta kutistumisesta, mikä on aiheuttanut jännityksiä rajapinnassa.

*Alkalisuus:* Betoni on emäksinen eli alkalinen materiaali, joten pintakäsittelyaineiden on oltava alkalinkestäviä. Alkalit reagoivat joidenkin pinnoitteiden, esimerkiksi alkydien kanssa.

*Huokoisuus:* Betonin huokosiin kertyy helposti kosteutta ja kaasuja, huokokset voivat aiheuttaa pinnoitteisiin kuplia tai pistemäisiä huokosia (reikiä). Betonin kapillaarihuokosia ei voi nähdä paljaalla silmällä. Näiden pienten huokosten osuus voi olla jopa 40% betonin tilavuudesta. Kapillaarihuokokset poikkeavat ominaisuuksiltaan betonin näkyvästä huokoisuudesta, joka koostuu 0,5 - 5 mm huokoista ja joiden osuus betonin tilavuudesta on vain 0,5 - 1%. Kapillaarihuokokset täyttyvät vedellä ja kuivuvat sen mukaan, mikä on ympäristön suhteellinen kosteus.

*Kosteuspitoisuus:* Betonin kosteus voi estää pinnoitteen tarttumisen betoniin ja pinnoitteen kuivumisen tai se voi estää pinnoitetta muutoin toimimasta siltä edellytettävällä tavalla. Kosteus on yleisimpiä betonilattioiden pintakäsittelytöihin liittyvien ongelmien aiheuttajia. Veden höyrynpaine ei yksinään aiheuta ongelmia normaaleissa käyttölämpötiloissa. Kapillaaripaineet ja osmoottiset paineet, joita tietyissä kosteuksissa voi esiintyä, sekä myös kosteuden pintaa kohti kuljettamien suolojen kiteytymispaineet ovat suuruusluokaltaan usein sellaisia, että ne ylittävät pinnoitteen tartuntalujuudet.

*Sementtiliima:* Betonin pinnassa oleva heikko sementtiliimakerros aiheuttaa pinnoitteen irtoamisen.

*Pintavirheet:* Betonin pinnassa voi olla eri tyyppisiä virheitä (reikiä, nystyröitä..)

### Alustan epäpuhtaudet

Betonialustan epäpuhtaudet ja aikaisemmat pintakäsittelyt saattavat aiheuttaa ongelmia pinnoitteen ja alustan yhteensopivuudelle.

Epäpuhtaudet voivat aiheuttaa osmoottista painetta ja heikentää tartuntaa. Vaikka epäpuhtaudet poistetaan betonin pinnalta, jäännösepäpuhtaudet voivat vaelttaa betonista kohti pintaa ja rikastua uudelleen pinnoitteen ja betonin rajapinnalle.

Epäpuhtauksiksi voidaan katsoa kaikki betonin pinnalla olevat aineet, jotka heikentävät pinnoitteen tartuntaa. Epäpuhtaudet voivat olla peräisin ympäristöstä, tai ne voivat olla aineita, jotka on lisätty betoniin valmistuksen yhteydessä (lisäaineet, tiivistysaineet, jälkikäsittelyaineet, ylimääräinen kosteus) tai ne voivat olla aineita, jotka syntyvät betonissa (karbonatisoitumistuotteet, sementtiliima, kalkkisuotautumat). Esikäsittelystä voi pintaan jäädä pölyä. Betonin pintaan voi myös syntyä biologista kasvustoa.

Eräät epäpuhtaudet vaikuttavat häiritsevästi pinnoitteen kuivumiseen. Amiinit, hiilimusta ja rautaoksidit vaikuttavat vapaita radikaaleja sisältävien pinnoitteiden kuten vinyyliestert, tyydyttämättömiä polyesterit ja akryylit, kovettumisen. Kosteus vaikuttaa puolestaan erityisesti uretaanien kovettumiseen.

Epäpuhtaudet voidaan luokitella hydrofobisiin (eivät liukene veteen) ja hydrofiilisiin eli vesiliukoisiin. Hydrofobisia ovat esimerkiksi öljyt, rasvat, hydraulikkaneesteet, silikoni ja kasvisöljyt. Hydrofiilisiä epäpuhtauksia ovat natriumkloridi (ruokasuola), rikkihappo, natriumhydroksidi (lipeä) ja natriumsilikaatti.

Epäpuhtauksien tarkka tunnistaminen ei yleensä ole tarpeen. Sen sijaan olisi tunnistettava, minkä tyyppinen epäpuhtaus on kyseessä (vesiliukoinen vai ei, hapan vai emäksinen jne). Epäpuhtauksien tunnistamiseen käytetään seuraavia menetelmiä:

- silmämääräinen arviointi
- pintajännityksen tai pinnan kostumisen arviointi
- pH-arvon mittaus
- analyttiset menetelmät

Betoni on ennen pinnoitusta tarkastettava ja pinta on esikäsiteltävä.



## 3

**Pinnoitteet**

Betonin pinnoitteet suojaavat betonia eristämällä sen ympäristöstään. Pinnoite estää aggressiivisten liuosten ja kaasujen pääsyn betonin pintaan. Betonin suojaukseen käytettäviä eristäviä pinnoitteita ovat epoksit, vinyyliesterit, polyesterit, metyyliimetakrylaatit ja polyuretaanit. Pinnoitteiden nimet johtuvat niissä käytetystä hartsista eli sideaineista. Sideaine on tärkein pinnoitteen ominaisuuksia määrittävistä komponenteista.

Pinnoitteen kovettumistapa määräytyy sideaineen perusteella. Epoksien ja polyuretaanipinnoitteiden kovettuminen tapahtuu hartsin osien (eli muoviosan ja kovetteen) reagoidessa keskenään. Polyesterit ja akryylaatit (metyyliimetakrylaatti) kovettuvat hartsin ja katalysaattorien ja kiihdyttimien vaikutuksesta.

Eristeenä toimivan pinnoitteen oleellinen ominaisuus on sen tiiviys. Eristeen tiiviys riippuu sen vesihöyrynläpäisevyydestä. Vesimolekyylit pystyvät kulkemaan pinnoitteessa ja nopeus riippuu sideainemolekyylien välisestä etäisyydestä ja pinnoitteessa olevista pigmenteistä. Pinnoitteen eristyskykyä voidaan parantaa lisäämällä hartsiin täyteaineita. Levymäisten täyteaineiden lisääminen pinnoitteeseen lisää vesimolekyylien tarvitsemää matkaa pinnoitteen läpi, jolloin veden kulkeutumiseen tarvittava aika pitenee. Täyteaineiden raekokojakautuma pinnoitteessa vaikuttaa pinnoitteen kestävyys. Tavallisimmat täyteaineet ovat kvartsihiekkä, joko luonnonvärinenä tai värjättyinä. Muita täyteaineita ovat tyypillisesti lasi- tai rautakiillehiutaleet, kuidut tai lasikuitumatto.

**3.1.Epoksit**

Epoksinpinnoitteet valmistetaan sekoittamalla keskenään epoksihartsia ja kovetta. Epoksihartseja ja kovetteita on kemialliselta koostumukseltaan useita ja niinpä tuotteiden ominaisuuksia voidaan vaihdella laajasti. Levitystavaltaan ovat lattioiden epoksinpinnoitteet hierrettäviä, jäykkiä paksukalvomassoja tai itsestään tasoittuvia tuotteita tai ohuita maaleja.

Epoksihartseja valmistetaan eri tarkoituksiin ja hartsin olomuoto voi vaihdella nestemäisestä kiinteään. Molekyylipaino voi vaihdella arvosta 350 yli 4000:een. Suurimolekyyllisimmät epoksit ovat molekyylipainoltaan jopa 50 000. Hartsin viskositeetilla on oleellinen merkitys tuotteen pinnoitusominaisuuksille.

Epoksihartseista valtaosa valmistetaan bisfenoli A:n ja epikloorihydriinin reaktion avulla emäksisissä olosuhteissa. Betonin pinnoitteina käytettävät epoksit ovat perinteisesti nestemäisiä hartseja. Niiden kemikaalikestävyys ja mekaaninen kestävyys on hyvä. Viskositeettia voidaan alentaa ohenteilla ja liuotteilla. Suuntaus liuotteettomiin pinnoitteisiin rajoittaa liuotteiden ja ohenteiden käyttöä viskositeetin säätöön. Tämän välttämiseksi voidaan käyttää reaktiivisia ohenteita, jotka sitoutuvat pinnoitteeseen ja päästöt vähenevät tämän vuoksi. Reaktiivisilla ohenteilla voi kuitenkin olla joitain epäedullisia vaikutuksia, ne voivat heikentää

pinnoitteen kestävyttä. Nykyään on saatavissa bisfenoli A -pohjaisia epoksihartseja, joiden viskositeetti on alhaisempi kuin aikaisemmin vastaavilla hartseilla. Näitä käytettäessä pystytään täyteaineiden määrää lisäämään, ilman että joudutaan käyttämään liuotteita viskositeetin alentamiseen.

Muita betonin pinnoitteiden epoksihartseja ovat bisfenoli-F ja novolack-hartsit. Näillä on kaksi etua verrattuna bisfenoli A:han: Niiden viskositeetti on alhaisempi ja niillä saavutetaan erittäin hyvä haponkestävyys (erityisesti rikkihappoa vastaan) ja liuotteiden kestävyys.

Betonipinnoille soveltuvat useilla erilaisilla kovetteilla verkotetut epoksipinnoitteet. Betonin pinnoitteissa käytetään kovetteina tavallisimmin polyamideja, alifaattisia amiineja, amiiniaddukteja, sykloalifaattisia amiineja, amidoamineja ja polyoxypropyleeniamiineja.

Hartsin ja kovetteen lisäksi epoksipinnoitteissa voidaan käyttää lisäaineita, täyteaineita ja lujitteita kuten muissakin lattiapinnoitteissa.

### 3.2 Polyuretaanit

Lattioiden polyuretaanipinnoitteet ovat 1-komponenttisiä kosteuskovettuvia tuotteita tai 2-komponenttisiä tuotteita, joissa pinnoitteen kovettuminen tapahtuu isosyanaatin ja polyalkoholin tai polyamiinin kanssa. Polyisosyanaatti toimii kovetteena. Isosyanaatit ovat erittäin reaktiivisia, minkä takia niistä tehtävien maalien valmistus ja käyttö on tarkkaa, jotta reaktiotuloksena varmasti olisi uretaani.

Isosyanaatteja on eri tyyppisiä ja ne voivat olla alifaattisia tai aromaattisia. Aromaattisiin isosyanaatteihin perustuvat polyuretaanit kellastuvat ja liuuntuvat auringossa tai voimakkaassa keinotekoisessa valossa. Alifaattisten polyisosyanaattien sävyn- ja kiillonkestävyys on erittäin hyvä. Myös muoviosan (co-reactant) koostumus vaikuttaa pinnoitteen ominaisuuksiin.

Polyuretaanit pakataan tavallisesti niin, että toisessa astiassa on polyisosyanaattiliuos. Toisessa pakkauksessa ovat muoviosa, pigmentit, lisäaineet ja liuottimet. Koveteosa ja muoviosa on erikseen sekoitettava ennen yhdistämistä, sillä kovettumisreaktio alkaa välittömästi näiden kahden aineen yhdistämisen jälkeen.

### 3.3 Akryylit

Akryylihartsiin ryhmään kuuluu suuri joukko polymeerejä, joilla saadaan hyvin eri tyyppisiä pinnoitteita. Akryylipohjaisia pinnoitteita ovat niin sisäpintojen vesi-ohenteiset lateksit kuin termoplastiset lakat sekä teollisuuden vaativat suoja-pinnoitteet, jotka ovat kertamuoveja.

Kaikki akryylipinnoitteet ovat akryylihapon tai metakryylihapon johdannaisia. Nämä monomeerit polymerisoituvat additiomekanismilla. Lopullisen polymeerin ominaisuudet riippuvat lähtöaineena olleesta monomeerista.

Lattioiden akryylipinnoitteet ovat pääasiassa metyylimetakrylaattiperustaisia massoja. Niillä on joitakin termoplastisia ominaisuuksia, mutta niitä ei voida kuitenkaan sulattaa tai muovata uudelleen niinkuin varsinaisia termoplasteja eli kesto-  
muoveja. Lattiapinnoitteilta vaadittava kestävyys edellyttää ristisilloitettua polymeeriä. Ristisilloitusta varten käytetään kopolymeeriä, jossa akryylihapon tai metakryylihapon annetaan ensin polymeroitua jonkin konventionaalisen (toiminnallisen) esterin kanssa. Tällöin saadaan termoplastisia kopolymeereja, joissa on toiminnallisia hydroksyyli- ja/tai karboksyyli-ryhmiä molekyyliketjussa. Nämä kopolymeerit ristisilloittuvat reagoidessaan soveltuvan reagenssin kanssa. Karboksyyli-ryhmän kanssa reagoivat esimerkiksi epoksit, isosyanaatit, aminomuovit tai moniarvoiset metallisuolat.

Akryylimuovin ominaisuudet riippuvat pitkälti ristisilloittumisasteesta. Ristisilloittumisasteeseen vaikuttavat kopolymeerin lähtöaineet ja kovetteen (co-reactant) määrä ja laatu. Akryylimuovien ryhmään kuuluvien tuotteiden ominaisuudet voivat siis vaihdella erittäin suuresti.

### 3.4 Vinyylesterit

Vinyylesterit ovat itse asiassa akryylejä: ne ovat epoksin (esimerkiksi bisfenoli A tai novolack) ja metakryylihapon (jolla oksiraaniryhmäpääte) metakryylestereitä. Näiden hartsien viskositeetti on korkea, ja niitä käytetäänkin tavallisesti styreeniliuoksina. Kovettuminen tapahtuu tyydyttämättömän ryhmän ja vapaiden radikaalien kesken. Vapaat radikaalit ovat peräisin peroksiedeista tai peroksiestereistä.

Vinyylestereiden hapon- ja emästenkestävyys on erinomainen, lukuunottamatta väkevää rikkihappoa. Vinyylesterit kestävät myös valkaisuaineita ja hapettimia hyvin. Vinyylestereiden kutistumisjännitykset ovat jonkin verran suuremmat kuin esimerkiksi epokseilla, pinnoitustyö tehdäänkin sen takia usein muodostamalla pinnoite useammasta kerroksesta.

Taulukossa 1 on esitetty eri pinnoitteiden etuja ja haittoja.

Taulukko 1. Betonilattian ja lattiapinnoitteiden ominaisuuksia (HUOM. Tämän taulukon yhteydessä keskustelimme 8.11.-99 kokouksessa BY35:n taulukoiden 2.1 ja 2.2 yhdistämisestä. Tätä en ole ehtinyt tekemään).

Materiaali	Edut	Haitat	Huomautuksia
Betoni, jossa kovetinaine on lisätty seokseen	Edullinen. Helppo korjata	Ei kemikaalinkestoa. Alhainen kulutus- ja halkeamankesto. Heikko lämpöshokin kestävyys. Liukas.	Voidaan käyttää vain kohteissa, joissa ei ole kemikaali- eikä kosteusrasitusta ja joissa ulkonäkö ei ole tärkeä.
Betoni, joka on tehty vesitiiviiksi tiivistysaineella	Edullinen. Helppo korjata. Pienempi kosteuden läpäisy ja vähäisempi pölynmuodostus kuin pelkällä betonilla.	Heikko kemikaalinkestävyys. Kulutuskestävyys ja halkeamankesto yhtä huono kuin betonilla. Vaikea pitää puhtaana.	Voidaan käyttää vain kohteissa joissa ei ole syövyttäviä kemikaaleja. Ei voida käyttää kohteissa, joita joudutaan jatkuvasti puhdistamaan.
Uretaanimaali (75 - 125 µm)	Melko edullinen. Parempi kemikaalinkestävyys verrattuna betoniin. Hyvä kulutuskestävyys. Kiiltävä pinta parantaa puhdistettavuutta.	Haju voi aiheuttaa tuotteisiin hajuhaittoja. Alhainen kalvonpaksuus johtaa tiheään huoltotarpeeseen.	Soveltuu esimerkiksi tavarataloihin, joissa liikenne on kevyttä.
Uretaanimassat	Iskunkestävyys. Halkeaman silloituskyky.	Työnaikainen herkkyys kosteudelle	
Epoksinpinnoite, 100% kiintoaine (250 - 500 µm)	Melko edullinen. Kestää useimpia pesuaineita. Hyvä kulutuksenkesto. Vain vähäinen haju. Helppo korjata. Erinomainen tartunta. Hyvä kosteudenkesto.	Ei kestä jatkuvaa raskasta liikennettä. Huono UV-kestävyys. Pitkä kovettumisaika erityisesti alhaisissa lämpötiloissa. Herkkä kuplanmuodostukselle levityksen aikana.	Soveltuu tiloihin, joissa ei ole raskasta trukkiliiikennettä. Soveltuu kosteisiin tiloihin.
Epoksi hirtomassa (6 mm)	Erittäin hyvä kemikaalinkesto. Vain vähäinen haju. Melko helppo korjata. Erinomainen tartunta alustaan. Voidaan levittää paksuinakin kerroksina kerrallaan.	Herkkä pinnan puhdistukselle. Jos täyteainepitoisuus on suuri, on herkkä ennenaikaiselle irtoamiselle veden vaikutuksesta	Soveltu lattioille, joissa vaaditaan hyvää kulutuksenkestävyyttä.
Metyylimetakrylaatti	Nopeasti kuivuva, jopa alle 0 °C:ssa. Hyvä tartunta alustaan.	Vahva haju voi aiheuttaa hajuhaittoja tuotteisiin. Alhainen leimahduspiste - varastointiongelmat.	Soveltuu kohteisiin, joissa hajuhaitta ei aiheuta ongelmaa.
Vinyyliesteri	Kestää erinomaisesti useimpia happoja ja emäksiä. Hyvä kulutuksenkestävyys, erityisesti lujitetuissa rakenteissa	Vahva haju voi aiheuttaa hajuhaittoja tuotteisiin. Huono märkätartunta. Voidaan levittää vain ohuita kerroksia kerrallaan (kutistuminen). Vaikea korjata. Alhainen kiilto, voi olla vaikea puhdistaa.	
Epoksi novolack	Erinomainen kemikaalinkestävyys. Vain heikko haju. Hyvä kosteudenkesto. Erinomainen lämmönkesto verrattuna muihin epokseihin.	Verrattain kallis verrattuna perinteisiin epokseihin. Vaikeampi levittää kuin perinteiset epoksit erityisesti lämpötila-alueella 15-18 °C	Hyvä syövyttävässä ympäristössä.
Lasikuitulujitteen polyesteri tai vinyyliesteri	Erinomainen halkeamankestokyky. Erittäin hyvä kulutuksen- ja kemiikaalinkestävyys	Kallis. Vahva haju - voi aiheuttaa hajuhaittoja. Vaikea korjata. Huono kosteudenkestävyys. Nesteen tunkeutuminen voi aiheuttaa pinnoitteen irtoamisen.	Suositellaan kohteisiin, joissa rakenteen jatkuvaa liikettä on odotettavissa.

#### 4 Lattiapinnoitteille asetettavat vaatimukset

Lattiapinnoitteille voidaan asettaa vaatimuksia seuraavien ominaisuuksien suhteen:

- lujuusominaisuudet
- hyvä tunkeutumiskyky ja tartunta alustaan
- kulutuskestävyys
- kemikaalinkestävyys
- lämmönkestävyys
- alkalinkestävyys
- tiiviys
- joustavuus
- vesihöyrynläpäisevyys

#### Lujuusominaisuudet ja lämpölaajeneminen

Lattiapinnoitteiden tärkeitä ominaisuuksia ovat puristuslujuus, vetolujuus ja taivutuslujuus. Lisäksi pinnoitteen lämpölaajenemiskerroin ja kutistuvuus kuivumisen aikana vaikuttavat pinnoitteen kestävyteen betonin pinnalla. Taulukossa 2 on vertailtu betonin ja lattiapinnoitteiden tyypillisiä fysikaalisia ominaisuuksia. Pinnoitteen koostumuksen mukaan voivat lujuusominaisuudet vaihdella huomattavasti taulukossa esitettyä enemmänkin.

Taulukko 2. Kirjallisuudessa esiintyviä arvoja eri materiaalien lujuuksille.

Ominaisuus	Betoni	Pinnoite
Puristuslujuus [MPa eli N/mm <sup>2</sup> ]	30 - 60	50 - 100
Taivutuslujuus [MPa eli N/mm <sup>2</sup> ]	3 - 6	30 - 60
Vetolujuus [MPa eli N/mm <sup>2</sup> ]	2	10 - 30
Lämpölaajenemis- kerroin [cm/cm/°C]	10 x 10 <sup>-6</sup>	(10 – 60) x 10 <sup>-6</sup>

Pinnoitteen puristuslujuuden on oltava riittävä, jotta pinnoite kestää siihen kohdistuvat kuormat. Toisaalta saattaa liian suuri puristuslujuus johtaa haurauteen, josta aiheutuu ongelmia tilanteissa, joissa pinnoitteeseen kohdistuu erittäin nopeita lämpötilan muutoksia tai iskuja. Pinnoitteen ihanteellinen puristuslujuus on lujuus, joka on hieman suurempi kuin betonin puristuslujuus.

Norjassa on betonilattioiden lattiat luokiteltu ja lattiapinnoitteille asetettu minimivaatimukset eri luokkiin. Nämä on esitetty taulukoissa 3 ja 4.

Taulukko 3. Lattioiden luokitus norjalaisen mallin mukaan /NBI Byggetaljblad A541.314/

Lattian rasisluokka	Esimerkkejä kohteista
1	Märkätilat, keittiöt, eteiset, porrastilat
2	Suurkeittiöt, aulat
3	Elintarviketeollisuus, varastot, kirjapainot, kylmätilat
4	Kemian- ja puunjalostusteollisuus, konepajat

Taulukko 4 Norjalaiset minimivaatimukset pinnoitteille eri rasisluokissa /NBI Byggetaljblad A541.314/

Ominaisuus	Vaatus lattan rasisluokassa			
	1	2	3	4
Puristuslujuus, N/mm <sup>2</sup>	30	50	60	80
Taivutuslujuus, N/mm <sup>2</sup>	10	20	25	30
Paksuus, mm	≤ 1	1 - 4	> 4	> 4
Tartunta, N/mm <sup>2</sup>	> 2	> 2	> 2	> 2
Tartunta teollisuuspyöräkokeen jälkeen, N/mm <sup>2</sup>	> 2	> 2	> 2	> 2

#### Tartunta alustaan

Pinnoite voi suojata alustaa vain jos sen tartunta alustaan on riittävä.

Teollisuuslattioiden pinnoitteiden tartunnalle on julkaisussa BLY 6/by 35 annettu vaatimukseksi 2,5 N/mm<sup>2</sup>. Murtuman tulee tapahtua betonissa, ei rajapinnoissa.

Pinnoitteen tartunta alustaan määritetään kohtisuorana vetolujuutena. Määritys tehdään käytännössä kiinnittämällä pintaan vetolaikat ja liiman kuivuttua pinnoite porataan irti ympäröivästä pinnasta. Vetolaikka vedetään irti vakionopeudella ja laikan irrottamiseen tarvittava voima rekisteröidään. Tulos ilmoitetaan yksikössä N/mm<sup>2</sup> eli MPa. Myös murtumiskohta raportoidaan. Määrittäksessä noudatetaan standardia SFS-EN ISO 24624.

### Kulutuskestävyys

Kulutuskestävyyttä arvioidaan tavallisimmin teollisuuspyöräkokeella. Menetelmässä pinnoitettua koekappaletta kuormitetaan teräspyörällä, joka kohdistuu pintaan tietyllä voimalla. Teollisuuspyörän vaikutusta voidaan arvioida pinnoitteen kulumisella tai mieluummin määrittämällä pinnoitteen tartunta kuormituksen jälkeen. Ruotsalaisessa standardissa SS 92 35 51 (*tietääkö joku, onko olemassa eurooppalasia standardiehdotusta?*) annetaan pinnoitteen tartunnan perusteella teollisuuslattioiden pinnoitteille taulukossa 5 esitetyt luokat:

Taulukko 5. Pinnoitteen tartunta-arvo vaatimus (heikoin keskiarvo) standardin SS 92 35 51 mukaan 10 000 kulutuskierron jälkeen teollisuuspyörällä.

Luokka	Tartunta, MPa (N/mm <sup>2</sup> )
3	0 - (0,2)
4	0,2 - (0,5)
5	0,5 - (1,2)
6	1,2 - (3,0)
7	Vähintään 3,0

### Kemikaalikestävyys

Kemikaalikestävyys määritetään pinnoitteille peruskemikaaleilla (erilaiset hapot, liuottimet, emäkset). Tarvittaessa määritetään myös kestävyys erilaisilla kemikaaliaineilla joita teollisuuden prosesseissa esiintyy. Kemikaalikestävyyden määrittämismenetelmiä on esitetty standardissa SFS-EN ISO 2812-1.

### Lämmönkestävyys

Lämmönkestävyydellä voidaan tarkoittaa lyhyt- tai pitkäaikaista lämmön-kestävyyttä. Orgaanisten pinnoitteet kestävät jatkuvaa kuivaa lämpöä yleensä 80 °C, joissakin tapauksissa kuitenkin jopa 120 °C. Jos lämpö on kostea lämpö, on kestävyys alhaisempi.

Lämpöshokkeja aiheutuu esimerkiksi seisakkien tai pesujen yhteydessä. Pesu kuumalla vedellä tai vesihöyryllä voi nostaa pinnan lämpötilan nopeasti huoneen lämpötilasta tai kylmemmästäkin lähelle + 100 °C. Nopea lämpötilan muutos voi aiheuttaa halkeilua tai pinnoitteen irtoamista. Pinnoitteiden on oltava jonkin verran joustavia tai voimakkaasti täytettyjä, jotta ne eivät vaurioituisi lämpöshokkien vaikutuksesta.

### Alkalikestävyys

Betonin pinnoitteiden alkalikestävyys on tärkeä ominaisuus, sillä betonipinta on itsessään alkalinen. Alkalisissa olosuhteissa orgaaniset yhdisteet saattavat hajota. Kovettuneiden pinnoitteiden kestävyys alkaleja vastaan määritetään samalla tavalla kuin muidenkin kemikaalien.

Öljyjä sisältävät maalit reagoivat alkaliin kanssa. Tässä reaktioissa maalin öljyä sisältävä osa, joka on esteri, hydrolysoituu ja reaktiossa syntyy alkoholia ja suolaa. Syntyvät suolat ovat rasvahapon metallisuoloja, joita kutsutaan saippuiksi. Tämä saippuoitumisreaktion takia eivät alkydimaalit toimi betonipinnoilla, vaan pinnoitteet irtoavat. Betonin pinnoitteiden kovettumisreaktioita tutkitaan pinnoittamalla tuoreita betonipintoja.

### Tiiviys ja vesihöyrynläpäisevyys

Pinnoitteen tiiviys ja huokosettomuus ovat betonilattioiden suojapinnoitteiden edellytyksiä. Pinnoitteen tiiviys tarkoittaa sen kykyä estää vesihöyryn ja nesteiden läpäisyä. Orgaaninen pinnoite läpäisee aina jonkin verran vesihöyryä, mikä johtuu sen molekyyliarakenteen luontaisista ominaisuuksista. Pinnoitteen läpäisevyyden tulisi olla tiedossa.

Pinnoitteen huokoisuudella tarkoitetaan pinnoitteessa yleensä paljain silmin näkyviä huokosia, jotka voivat johtua alustasta, pinnoitteen sekoittamisen aikaisista virheistä, väärästä työtekniikasta tai pinnoitusolosuhteista.

Tiiviyteen voidaan vaikuttaa täyteaineiden valinnalla. Täyteaineet tiivistävät pinnoitetta, mutta jos täyteainepitoisuus on liian suuri, ei hartsi pysty kostuttamaan täyteaineiden muodostamia rakoja, ja pinnoitteesta tulee huokoinen ja heikko. Pinnoitetta voidaan jälkepäin tiivistää käyttämällä tiivistysaineena (sealer) esimerkiksi lakkaa. Lakkapinnan kulumisen paljastaa myöhemmin jälleen huokoisen pinnan, joten kestävämpään lopputulokseen päästään käyttämällä alunperin riittävän hartsipitoista pinnoitetta.

Pinnoitteen vesihöyrynläpäisy määritetään nk. kuppikokeella. Vesihöyrynläpäisy voidaan tehdä pinnoitekalvolle ilman alustaa. Tavallisempi tapa on levittää pinnoite huokoiselle alustalle, jonka vesihöyrynläpäisy on suurempi kuin pinnoitteen. Vesihöyrynläpäisy nopeus ilmoitetaan tavallisesti yksikössä  $\text{g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$ . Taulukossa 6 on muuntokertoimia eri vesihöyrynläpäisevyyttä kuvaaville mittayksiköille.



Taulukko 6. Vesihöyrynläpäisyn mittayksiköiden muuntokertoimia /EN ISO 9346/. Taulukossa  $B = C \times A$  ja  $A = B/C$ .

Mittayksikkö EN ISO 9346 (A)	Muuntokerroin (C)	Muu mittayksikkö (B)
Vesihöyrynläpäisy, g [kg/m <sup>2</sup> s]	3,60 x 10 <sup>9</sup>	[mg·m <sup>2</sup> ·h <sup>-1</sup> ]
Vesihöyrynläpäisy, W [kg/ m <sup>2</sup> s·Pa]	3,60 x 10 <sup>9</sup>	[mg m <sup>-2</sup> · h <sup>-1</sup> ·Pa <sup>-1</sup> ]
Vesihöyrynvastus, Z [m <sup>2</sup> ·s·Pa/kg]	2,778 x 10 <sup>-10</sup>	[m <sup>2</sup> ·h·Pa·mg <sup>-1</sup> ]
Vesihöyryn läpäisevyys eli läpäisykyky (diffuusiokerroin), δ [kg/m·s·Pa]	3,60 x 10 <sup>9</sup>	[mg m <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> ·Pa <sup>-1</sup> ]
Vesihöyrynvastusluku, μ <sup>1)</sup> [-]	-	

<sup>1)</sup> Vesihöyrynvastusluku μ on tuotteen paksuisen ilmakerroksen ja tuotteen vesihöyrynläpäisykyvyn välinen suhdeluku eli δ<sub>L</sub>/δ.

## 5

### Betonin kosteuden mittaaminen

Rakentamisen aikaisen betonin kosteuden mittauksen tarkoituksena on seurata betonin kuivumista ja antaa tietoa pinnoitusajankohdan valintaan. Seuraavassa käsitellään lyhyesti käytössä olevia kosteuden määrittämenetelmiä sekä niiden etuja ja haittoja. Tarkemmin selvitetään betonin suhteellisen kosteuden määrittämenetelmä ja siihen liittyvät tekijät.

Aikaisemmin käytettiin betonin kosteuden mittaamiseen yleisesti kalsiumkarbidimittaria lattianpäällystäjien keskuudessa. Menetelmä perustuu kalsiumkarbidin ja betonista piikkaamalla irrotetun näytteen sisältämän kosteuden väliseen reaktioon, jossa vapautuneen asetyleenikaasun paine mitataan ja muunnetaan taulukon avulla kosteudeksi. Mittaustulos saadaan painoprosentteina. Menetelmän etuna on sen nopeus, tulokset saadaan heti mittauksen jälkeen työmaalla. Menetelmään sisältyy kuitenkin useita epävarmuustekijöitä. Kalsiumkarbidimittari vaatii kokeneen käyttäjän, joka tuntee menetelmän ja sen virhelähteet. Menetelmä antaa kovettuneesta betonista liian alhaisia tuloksia, myös betonilaatu vaikuttaa merkittävästi mittaustuloksiin. Myös kalsiumkarbidimittaria käytettäessä tulee tuntee betonin tasapainokosteuskäyrä. Kalsiumkarbidimittarin käyttöä ei enää suositella.

### 5.1 Kuivaus-punnitusmenetelmä

Kuivaus-punnitusmenetelmällä määritetään betonin sisältämä haihtuva kosteus, mikä poistuu näytteestä, kun näyte kuivataan vakiopainoon. Kuivaus-punnitusmenetelmä on helppokäyttöinen ja vaatii mittalaitteiksi ainoastaan poran tai piikkausvälineet, vaa'an ja lämpökaapin. Mittaustulos saadaan painoprosentteina. Menetelmän haittapuolena on, että mittaustulosten tulkitsemiseksi tulee tuntea betonin tasapainokosteuskäyrä. Periaatteessa jokaiselle betonireseptille tulee määrittää oma tasapainokosteuskäyrä. Betonireseptien suuresta lukumäärästä johtuen ei tasapainokosteuskäyriä useinkaan ole tiedossa.

### 5.2 Pintakosteusmittarit

Pintakosteusmittarit ovat hyvin yksilöllisiä ja niiden toimintaperiaate vaihtelee laitemerkistä toiseen. Useiden pintakosteusmittareiden toiminta perustuu sähkönjohtavuuteen, joka kasvaa materiaalin kosteuden noustessa. Pintakosteusmittarit soveltuvat pääasiassa kosteuserojen paikallistamiseen. Niiden käyttö vaatii kokeneen käyttäjän, joka osaa tulkita mittaustuloksia. Mittaussyvyyden määrittäminen on pintakosteusmittarilla yleensä hankalaa eikä tulosta saada saada nykyisten ohjearvojen mukaisina yksikköinä. Lisäksi raudoitukset ja muut säkkönjohtavuuteen vaikuttavat komponentit voivat antaa virheellisen tuloksen.

### 5.3 Suhteellisen kosteuden menetelmä

Suhteellisen kosteuden menetelmää voidaan pitää huolellisesti suoritettuna luotettavana kosteuden mittausmenetelmänä. Suhteellinen kosteus ilmoittaa betonin huokosissa olevan ilman kosteuden eli kosteuden, joka rakenteessa sen käyttöolosuhteissa voi liikkua. Suhteellisen kosteuden määrittämissä betonin koostumus ei vaikuta mittaustulokseen. Menetelmän etuna on, että se antaa tulokset nykyisten ohjearvojen mukaisina yksikköinä.

Menetelmän haittapuolina voidaan pitää sitä, että se on aikaa vievä, vaatii huolellisen menetelmään perehtymisen ja antureiden säännöllisen kalibroinnin.

Suhteellisen kosteuden määrittystapoja on periaatteessa kolme: porareikämenetelmä, näytepaloista suoritettava mittaus ja valun yhteydessä rakenteeseen asennetuilla kosteusantureilla tapahtuva mittaus.

#### Porareikämenetelmä

Porareikämenetelmässä betonin suhteellinen kosteus mitataan betoniin poratusta reiästä. Porareikiä tulee olla vähintään kaksi rinnakkaista yhtä mittauskohtaa kohden. Porauksen jälkeen reikä puhdistetaan huolellisesti ja tiivistetään ympäröivästä huonetilasta, jotta betonissa oleva kosteus tasoittuu. Porauksen yhteydessä betoni lämpenee ja alkaa karbonatisoitua reiän reunoilta, joten tasoittumisajan tulee olla riittävän pitkä, mieluiten useita vuorokausia. Reiän puhdistaminen on tärkeää, sillä puhdistamattomasta reiästä saadaan liian korkeita mittaustuloksia. Mittaus suoritetaan sähköisellä suhteellisen kosteuden mittalaitteella, johon kuuluu näyttölaite ja yksi tai useampia antureita. Kosteusanturi asetetaan porareikään välittömästi reiän avaamisen jälkeen ja sen annetaan olla porareikässä, kunnes näyttölaitteen lukema on vakiintunut. Porareikämittaus tulisi suorittaa rakenteen käyttölämpötilassa ja olosuhteiden tulee pysyä mahdollisimman vakiona mittauksen aikana. Porareikämenetelmällä

voidaan kosteus mitata rakenteen eri syvyyksistä käyttämällä antureiden kanssa erityisiä asennusputkia, jotka rajaavat mittauksen tietylle syvyydelle.

Porareikämittauksen luotettavuuden edellytys on, että anturit tarkistetaan ja tarvittaessa kalibroidaan riittävän usein mieluiten ennen jokaista mittausta. Tarkistus suoritetaan anturin valmistajan ohjeiden mukaisesti tunnetuissa olosuhteissa.

Porareikämenetelmästä on menetelmäkuvaus RT-kortissa RT 14-10675.

#### Näytepaloista suoritettava suhteellisen kosteuden mittaus

Mikäli mittaussajankohtana rakenteen lämpötila eroaa käytön aikaisesta lämpötilasta tai lämpötila vaihtelee voimakkaasti, voi suhteellisen kosteuden mittauksen tehdä betonista halutulta syvyydeltä irrotetuista näytepaloista. Näytepalat suljetaan ilmatiiviisti ja tasaantumisen jälkeen kosteus määritetään kosteusanturilla lämpötilassa, joka tulee olemaan rakenteen käyttölämpötila. Rakenteen lämpötila näytteenottohetkellä rekisteröidään.

#### Valun yhteydessä asennetuilla antureilla suoritettava mittaus

Pitkäaikaisempaan kuivumisen seurantaan soveltuvat valun yhteydessä betoniin asennettavat anturit, jotka voidaan sijoittaa rakenteeseen haluttuihin syvyyksiin. Näihin antureihin liitettävän tiedonkerääjän avulla voidaan seurata betonin kuivumista koko rakentamisajan ja periaatteessa useita vuosia rakennuksen valmistamisen jälkeenkin. Mittaustavan epävarmuutena on se, ettei valuun upotettavien antureiden pitkäaikaistoimivuudesta ei ole riittävästi tietoa. Antureiden toimintaa ei voi myöskään tarkistaa eikä niitä voi kalibroida.

## 6 Pintakäsittely

### 6.1 Pinnan arvostelu ennen pinnoitusta

Pinnoitettavan betonipinnan on oltava puhdas, kuiva ja luja ja sillä on oltava sopiva profiili.

#### Pinnan puhtauden arviointi

Pinnan puhtaus voidaan arvioida kahdella yksinkertaisella menetelmällä. Ensinnäkin, pintaa voidaan pyyhkiä tummalla pyyhkeellä. Jos pyyhkeeseen jää vaaleata jauhetta, pinnan puhtaus ei yleensä ole riittävä teollisuuslattioiden edellyttämiä pinnoitteita varten. Jauhe estää betonin kostutuksen pinnoitteella.

Betonilattialle voidaan roiskuttaa vettä. Jos vesi muodostaa saarekkeitä eikä leviä tasaisesti pinnalle, on mahdollista että pinnalla on öljyä tai rasvaa.

#### Kuivuuden toteaminen

Pintakuivuus voidaan todeta esimerkiksi imupaperin tai muovikalvon avulla, mutta erityisesti uusissa kohteissa on tärkeä tietää lattiarakenteen kosteuspitoisuus myös syvemmältä. Betonin suhteellisen kosteuden mittausta on käsitelty luvussa 5.

#### Pinnan lujuuden toteaminen

Pintalujuus voidaan määrittää tartuntavetokokeilla. Betonin pintaan liimataan vetolaikat, jotka liiman kuivuttua vedetään kohtisuoraan irti alustasta. Pintalujuus ilmoitetaan tavallisesti yksikköinä MPa tai N/mm<sup>2</sup>.

#### Pinnan profiilin arviointi

Pinnan profiili voidaan tarvittaessa arvioida visuaalisesti vertaamalla niitä vertailukappaleisiin, joita ovat esimerkiksi kansainvälisen Concrete Repair Institute:n (ICR) vertailukappaleet. Nämä vertailukappaleet luokittelevat betonipinnan profiilin 9 luokkaan. Luokka CSP 1 on hienoin ja luokka CSP 9 on karhein (CSP = Concrete Surface Profile). Vertailukappaleissa on mukaan pintoja, jotka on happopeitattu, hiottu, singottu, jyrskyttetty ja hakattu. ICR on laatinut valintataulukon, jossa annetaan suosituksia eri pinnoitteiden vaatimista esikäsitteilyasteista ja menetelmistä niiden saavuttamiseksi.

### 6.2 Esikäsitteily

Esikäsitteilyn tarkoituksena on poistaa kaikki epäpuhtaudet, sementtiliima, heikko pintabetoni ja antaa betonipinnalle pinnoitteen tartuntaa parantava profiili. Betonin lujuusluokan kasvu lisää pinnan sileyttä mikrotasolla ja vähentää imukykyisyyttä. Lujuusluokkaa K40 tai sitä korkeampilujuuksisilla betoneilla pintaa karhentavan esikäsitteilyn merkitys hyvän tartunnan aikaansaamiseksi kasvaa.

Epäpuhtauksien ja heikon pintabetonin poistaminen ja pinnan karhentaminen voidaan joskus saavuttaa käyttäen vain yhtä esikäsitteilymenetelmää. Usein on kuitenkin

kin tarpeen poistaa epäpuhtaudet ennen varsinaista pinnan esikäsitteilyä. Taulukossa 7 on eri esikäsitteilymenetelmillä saavutettava tulos. Mekaanisilla menetelmillä tulos saavutetaan edellyttäen, että epäpuhtaudet eivät ole tunkeutuneet syvemmälle kuin poistettava betonikerros.

Taulukko 7. Esikäsitteilymenetelmien valinta. (HUOM. Termit märkäpuhallus ja vesipuhallus on määriteltävä ja käytettävät paineet mainittava)

Menetelmä	Milloin käytetään	Saavutettava profiili
Sinkopuhallus	Heikon betonipinnan poisto, profiilin aikaansaaminen, kiinteiden epäpuhtauksien poisto	Hieno- karhea
Märkäpuhallus	Heikon betonipinnan poisto, profiilin aikaansaaminen, epäpuhtauksien poisto ja vesiliukosten suolojen poisto	Hieno- karhea
Vesipuhallus	Heikon betonipinnan poisto, profiilin aikaansaaminen, epäpuhtauksien poisto	Hieno- karhea
Jyrsintä	Heikon betonipinnan poisto, profiilin aikaansaaminen, kiinteiden epäpuhtauksien poisto	Keskikarhea karhea
Käsi käyttöiset laitteet (teräsharjaukset, hionta)	Heikon betonipinnan poisto	Hieno - keskikarhea
Liutinpesu, pesuainepesu	Epäpuhtauksien poisto	Ei vaikuta profiiliin
Happopesu <sup>1)</sup> (peittäminen)	Profiilin aikaansaaminen, epäpuhtauksien poisto (ei veteenliukenemattomat epäpuhtaudet)	Hieno - karhea
Liekipuhdistus	Heikon betonipinnan poisto	Karhea

<sup>1)</sup> Happopesua käytettäessä huolehdittava siitä, että happoa ei pääse lattiakaivoon

Taulukossa 8 on esitetty erilaisten epäpuhtauksien poistamiseksi käytettäviä menetelmiä.

Taulukko 8. Menetelmät erilaisten epäpuhtauksien poistamiseksi.

Epäpuhtaus	Puhdistusmenetelmä
Sementtiliima, kalkkisaostumat	Sinkous, jyrsintä, hionta, märkäpuhallus, vesipuhallus, happopeittäminen
Öljy, rasva, elintarviketeollisuuden tuotteet	Emulsiopesu, liekipuhdistus
Aikaisemmat pinnoitteet, jälkikäsitteilyaineet, tiivistysaineet	Sinkous, jyrsintä, hionta, märkäpuhallus, vesipuhallus, piikkaus, liuotepuhdistus
Hapot ja emäkset	Neutralointi, vesihuuhtelu
Suolat	Vesipesu

Pinnoitusjärjestelmiin kuuluvien pohjusteiden (primerit) merkitys tartuntaan on oleellinen. Itse pinnoitetta juoksevampana ja siten paremmin tunkeutuvana on pohjusteella mahdollisuus täyttää pieniäkin pintahuokosia ja mikrohalkeamia ja siten muodostaa betonin pintaan kerros, johon varsinainen pinnoite tarttuu ja

johon ei yhtä helposti muodostu mikroreikiä tai muita epäjatkuvuuskohtia. Osa pohjustetyypeistä voi lisäksi muodostaa ns. suojavyöhykkeen betonin pintaan. Tämän suojavyöhykkeen alapintaan pysähtyvät kosteus ja mahdolliset kosteuden kuljettamat liukoiset suolat.

### 6.3 Pinnoitustyön suoritus

#### Pinnoitustyö ajoitus

Pinnoitustyön ajoituksessa on tärkeintä, että pinnoituksen vaatimat kosteus- ja lämpötilaolosuhteet ovat saavutettavissa.

Betonin paksuus, rakenteen tyyppi (yksi- tai kaksipuolinen kuivumismahdollisuus) ja betonin koostumus (lujuusluokka) pitkälti yhdessä kuivumisolosuhteiden kanssa ratkaisevat lattian kuivumiseen vaadittavan ajan. Betonin lujuuden kasvaessa sen kuivumisaika yleensä pitenee. Toisaalta kun betoniin lisätään sementtiä riittävä ylimäärä toimii lisäsementti kuivausaineena ja mahdollistaa betonin nopean kuivumisen "sisäänpäin". Tällaisten betoninen kastumista on syytä välttää, koska tällöin voidaan nopean kuivumisen sijasta saada aikaan erittäin hitaasti kuivuvaa betonia.

#### Levitystavat

Muovimassat voidaan levitystavan mukaan jakaa itsestään siliäviin ja ja hierrettäviin muovimassoihin.

##### *Itsestään siliävät massat*

Komponenttien yhdistämisen jälkeen muovimassa levitetään oikein esikäsitellylle ja puhdistetulle alustalle teräslastalla tai ns. säätölastalla. Säätölastalevityksessä saadaan haluttu kerrospaksuus yhdellä levityskerralla. Tavallisin kalvonpaksuus on 2 - 4 mm. Tämän jälkeen massattu tuore alue piikkitelataan. Piikkitelaus poistaa massasta siihen komponenttein sekoittamisen aikana sekoittuneen ilman ja painaa hiekkatäytteisissä massoissa kiviaineksen massapinnoitteen pohjaan ja tasaa näin pintaa.

##### *Hierrettävät muovimassat*

Puhdistettu kuiva betonialusta pohjustetaan ohuella sideaineseoksella eli primeroidaan. Tuoreelle lakkakalvolle voidaan etenkin sileän alustan kyseessä ollessa sirotella hiekkaa tartunnan lisäämiseksi tai täyteaineena käytettävää kiviainesta.

Alustan pohjustuskäsittelyn kuivuttua aloitetaan hierontamassan levitys. Hierto-massa valmistetaan työmaalla sekoittamalla sideaineen komponentit ja lisäämällä seokseen täyteaineena käytettävä hiekka. Ohuet kerrokset levitetään säätölastalla haluttuun kerrospaksuuteen. Paksujen kerrosten levityksessä käytetään esimerkiksi oikolautaa ja kerrospaksuuden säätämiseksi ohjainrimoja. Massattu pinta hierretään joko käsin tai tarkoitukseen soveltuvilla koneellisilla hiertimillä. Massan kalvonpaksuus on epoksimassalla yleensä 3 - 4 mm, joskus 6 mm. Akryylimassalla paksuus on välillä 4-6 mm. Hiertomassapinnan tiiveys riippuu käytetyn kiviaineksin suhteutuksesta ja massakalvonpaksuudesta.

### Pinnoitustyön aikaiset olosuhteet

Pinnoitustyön onnistumisen kannalta tärkeät pinnoituksen aikaiset olosuhteet ovat ilman ja alustan lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus. Ennen pinnoitustyön aloittamista määritetään betonialustan suhteellinen kosteus. Myös pinnoiteaineen lämpötila on syytä mitata. Pinnoiteaineen lämpötila vaikuttaa viskositeettiin ja maalin käyttöaikaan (pot life). Jos pinnoiteaine on kylmää, sen viskositeetti nousee, mikä puolestaan voi johtaa liuotteiden tarpeettomaan lisäämiseen. Myös kylmä betonialusta jäädyttää nopeasti pinnoiteaineen, mikä toisaalta lisää käyttöaika mutta samalla heikentää levitettävyyttä. Matalat lämpötilat pinnoituskohteessa voivat voimistaa kosteusongelmaa saattamalla pinnoitettaviin pintoihin kastepisteolosuhteet. Pinnoitettavan pinnan lämpötilan tulee olla vähintään 3 °C korkeampi kuin kastepistelämpötilan.

Jos betonialustassa on kosteutta, se voi estää joidenkin kovetteiden toiminnan betonin pinnalla, jolloin pinnoitteen tartunta jää huonoksi. Kun lämpötila nousee, kosteus pyrkii pois aiheuttaen pinnoitteeseen kuplia tai huokosia. Tämän estämiseksi käytetään usein alhaisen viskositeetin omaavaa primeria, joka vähentää kosteuden ja kaasujen kulkeutumista pinnoitteeseen. Joskus joudutaan kosteuden aiheuttamien ongelmien estämiseksi tekemään pinnoitus olosuhteissa, joissa lämpötila laskee.

Pitämällä alustan lämpötila välillä + 10 ja + 35 °C, epäonnistumisen mahdollisuus pienenee. Jos pinnoitus kuitenkin joudutaan tekemään alhaisemmissa lämpötiloissa, valitaan tuote, jonka kylmäkovettumisominaisuudet ovat paremmat kuten esimerkiksi akryylimassa. Akryylimassat reagoivat nopeasti ja niillä lämpötilan yläraja on + 35 °C

Ilman suhteellinen kosteus ei saa pinnoitustyön ja pinnoitteen kovettumisen aikana olla suurempi kuin 80 %. Polyuretaanipinnoitteet ovat usein kosteusherkkiä ja niitä käytettäessä saa ilman suhteellinen kosteus olla korkeintaan 70%.

#### 6.4 Laaduntarkastus

Pinnoitettavan lattian tarkastuksesta ja olosuhteiden kirjauksesta ennen pinnoitustyön aloittamista on annettu ohjeet Suomen Betoniyhdistyksen ja Betonilattiyhdistyksen julkaisuissa BLY 6/by 35 ja BLY 7/by 45.

Laadunvalvonnassa on lisäksi syytä kirjata ylös pinnoitteiden tuotekoodit, käytetyt ohenteet ja niiden määrä sekä pinnoitustyön aikana vallitsevat olosuhteet (vähintäänkin ilman ja pinnan ja lämpötila, ilman suhteellinen kosteus).

## 7 Projektin kokeellinen osuus

Projektissa tehtiin pinnoitemateriaaleille lujuusmäärittäyksiä (taivutuskokeet) ja pinnoituskokeita eri ikäisille betonialustoille. Kentäkohteessa tehtiin kosteusmittauksia ja tartuntakokeita.

### 7.1 Pinnoitteiden lujuusmäärittäykset

Pinnoitemateriaalien lujuusominaisuuksien määrittämiseksi pinnoitteista valettiin prismat, joiden koko oli 10 x 170 x käyttöpaksuus (2 tai 4 mm). Valut tehtiin pääosin hiekkatäytteisinä. Prismoille tehtiin taivutuslujuusmäärittäykset.

Koekappaleiden valmistuksesta saatujen kokemusten mukaan on prismojen teko valamalla määrämittäisiin muotteihin vaikeaa, sillä massan pintaa ei saada yleensä tasomaiseksi vaan pinta jää yleensä joko kuperaksi tai koveraksi. Hiekkaa käytettäessä kappaleiden työstäminen vaatii vesihionnan.

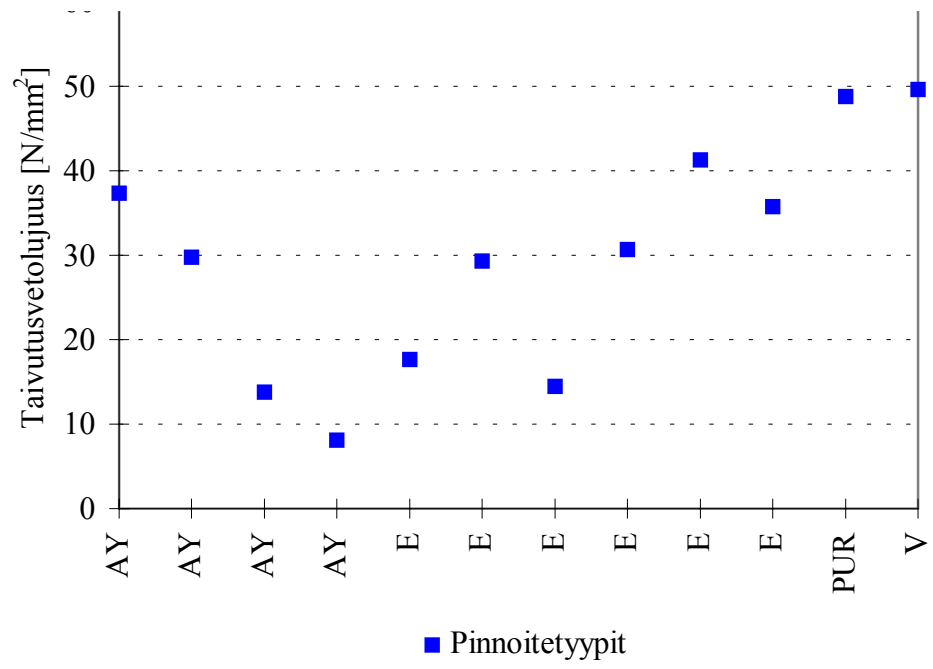
Taivutuslujuudet kokeissa mukana olleille tuotteille on esitetty taulukossa 9 ja graafisesti kuvassa 1. Kokeissa oli mukana kohdassa 7.3 mainittujen tuotteiden lisäksi Oy Algol Ab:n kaksi tuotetta (Degadur 330 ja Degadur 412) ja samoin Kausala Oy:n kaksi tuotetta (Dekor ja Variant).

Taulukko 9. Pinnoitteiden taivutuslujuudet. Taivutusnopeus oli 1 mm/min ja tukiväli oli 150 mm.

Tuote	Tyyppi <sup>(1)</sup>	Paksuus, mm	Taipuma, mm	Taivutuslujuus, N/mm <sup>2</sup>
A	Akryyli	3	9	37
B	Akryyli	5	3	30
C	Akryyli	5	15	14
D	Epoksi	5	5	18
E	Epoksi	3	4	29
F	Vinyyliesteri	2	15	50
G	Epoksi	5	3	15
H	Polyuretaani	2	30	49
I	Akryyli	6	8	8
J	Epoksi	2	11	31
K	Epoksi	3	21	41
L	Epoksi	2	33	36
M	Akryyli		Ei voitu määrittää (taipui murtumatta)	
N	Polyuretaani		Ei voitu määrittää (taipui murtumatta)	
O	Akryyli		Ei voitu määrittää (taipui murtumatta)	
P	Epoksi		Ei voitu määrittää (taipui murtumatta)	

1) Kursiivilla merkityissä on hiekka mukana





Kuva 1. Pinnoitteiden taivutuslujuudet ryhmiteltyinä pinnoitetyypeittäin.

## 7.2. Koelaattojen valu

Betonilaatat valettiin marras-joulukuussa 1996. Betonilaatuja oli kaksi lujuusluokkaa: K40 ja K60. Sementtinä käytettiin Finnsementti Oy:n Rapid-sementtiä. Betonimassoissa käytettiin eri lisäainetta taulukon 10 mukaisesti

Taulukko 10. Koelaattojen materiaalit

Betonilaadun tunnus kokeissa	Valupvm	Vesi/sementti-suhde	Lisäaine (tehonkistin)	Lisäaineen määrä, kg/m <sup>3</sup>	Mitattu puristuslujuus, MPa	
					7 d	28 d
K40	21.11.1996	0,56	Ei lisäainetta	-	38,5	46,0
K40 <sup>+</sup>	9.12.1996	0,60	Melmnet	7,0	40,0	40,0
K60 A	12.12.1996	0,42	Melmnet	7,6	52,5	56,0
K60 B	17.12.1996	0,42	SuperParmix-	7,6	53,0	61,5

Laatat siirrettiin jälkihoidon jälkeen vakioilmastohuoneeseen, jossa suhteellinen kosteus oli noin 95%. Vakioilmastohuoneessa laattojen kosteuspitoisuuksia seurattiin kahdella eri menetelmällä.

## 7.3 Koelaattojen kosteusmittaukset

Pinnoitettavien betonilaattojen kosteuden seuraamiseksi ja päällystettävyyssajan kohdan valitsemiseksi mitattiin eri resepteillä valettujen betonilaattojen kosteutta. Tutkittavat betonilaadut olivat lujuusluokaltaan K40 ja K60. Betoneissa oli yhtä betonilaatua lukuunottamatta käytetty eri lisäaineita. Kosteusmittaukset suoritettiin sähköisellä suhteellisen kosteuden mittalaitteella porareikämittauksena, valun yhteydessä asennetuilla jatkuvatoimisilla kosteusantureilla sekä kuivatuspunnitusmenetelmällä. Betonilaattoja säilytettiin valun jälkeen vakio-olosuhteissa lämpötilassa 23°C sekä 95 % suhteellisessa kosteudessa. Betonilaattojen vakioitumista säilytysolosuhteen kosteuteen seurattiin punnitsemalla betonilaattoja noin kuukauden ajan.

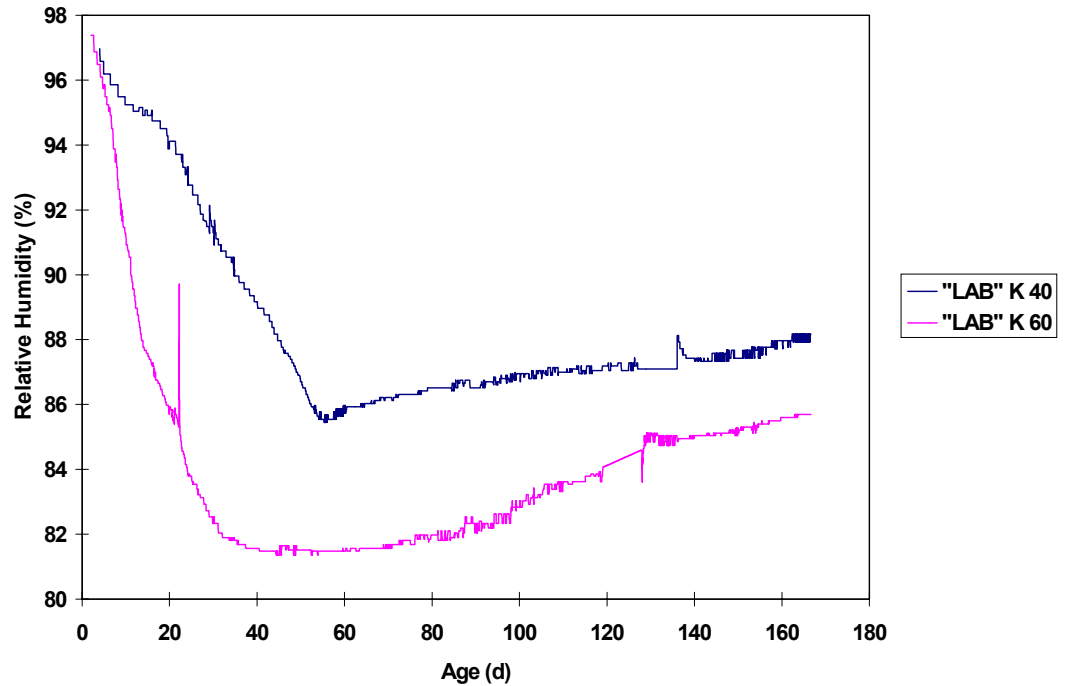
Sähköisellä suhteellisen kosteuden mittalaitteella seurattiin betonin suhteellista kosteutta betoniin poratuista rei'istä ajan funktiona. Kosteus mitattiin aina samoista betonilaatoista. Samalla seurattiin porareian iän vaikutusta mittaustuloksiin. Reiät porattiin laatan sivusta puoleenväliin laatan paksuudesta. Porareikien syvyys oli noin 130 mm. Käytännössä anturin mittapää oli mittauksen aikana laatan keskellä. Mittaukset tehtiin aina kahdesta rinnakkaisesta porareiästä eri antureilla, jotka kalibroitiin ennen mittausta ja tarkistettiin mittauksen jälkeen. Mittausaika porareiässä oli 1,5 h. Tulokset on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Vakio-olosuhteissa (+23°C, 95%RH) säilytetyistä betonilaatoista mitattu suhteellinen kosteus.

Betonilaadun tunnus	Betonin ikä porareian tekoajankohtana, vrk	Porareian ikä, vrk	Suhteellinen kosteus, %RH
K40	49	1	96 96
		3	95 95
		8	94 93
		76 (vanha reikä)	90 90
K40+	31	1	95 95
		3	92 92
		8	92 92
		76 (vanha reikä)	90 89
K60A	28	1	94 94
		3	92 92
		8	90 91
		76 (vanha reikä)	90 88
K60B	23	1	94 93
		3	91 91
		8	90 90
		76 (vanha reikä)	90 88

Valun yhteydessä asennettiin kahden betonilaatan (K40+ ja K60B) sisään keskelle laattaa jatkuvatoiminen kosteusanturi (ns. MS-Sensor). Betonilaattojen paksuus oli 80 mm. Anturiin liitettiin tiedonkeruuyksikkö, joka mittasi lämpötilan ja kosteuden kerran tunnissa. Tiedonkeruuyksikön tiedot purettiin tietokoneelle. Tiedonkerääjän lämpötila- ja kosteusarvoista laskettiin kosteuden lämpötilakompensaatio, jonka jälkeen piirrettiin ikä-suhteellinen kosteus kuvaajat (Kuva

2.). Kuvaajassa näkyy betonilaadun K60 kohdalla noin 20 vrk:n iässä piikki, on punnituskuivatusnäytteen piikkauksen aiheuttama häiriö. Kuvasta 2 on poimittu valun sisään upotettujen anturien mittaustulokset ajankohtina, jotka vastaavat eri aikoina eri betonilaaduista suoritettuja porareikämittauksia. Tulokset on esitetty taulukossa 12.



Kuva 2. Valun sisään upotetuilla antureilla mitattu suhteellinen kosteus. Alempi kuvaaja esittää betonilaatua K60 ja ylempi betonilaatua K40+.

Taulukko 12. 95% suhteellisessa kosteudessa vakioiduista betonilaatoista mitattu suhteellinen kosteus porareikämenetelmällä 3 vrk:n ikäisistä porareikästä sekä valun yhteydessä betoniin asennetuilla jatkuvatoimisilla antureilla.

Betonilaatu	Betonin ikä, vrk	Suhteellinen kosteus, %RH Porareikämittaus	Suhteellinen kosteus, %RH Valun yhteydessä asennettu jatkuvatoiminen anturi
K40	49	95	87
	125	92	87
K40+	31	92	92 (K40)
K60A	28	92	83 (K60B)
	104	91	83 (K60B)
K60 B	23	91	85

Punnituskuivausmenetelmässä irrotettiin molemmista betonilaatoista näytteet, joiden annettiin kuivua vakiopainoon lämpötilassa +105°C. Tulokset on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Kahdesta eri betonilaadusta kuivatuspunnitusmenetelmällä määritetty painoprosenttinen kosteus.

Betonilaatu	Betonin ikä näytteenottohetkellä, vrk	Kosteus painoprosentteina p-%
K40+	30	3,0
K60B	22	4,3

Betonilaattojen vakioitumista säilytysolosuhteen kosteuteen seurattiin punnitsemalla betonilaattoja noin kuukauden ajan. Punnitukset aloitettiin noin 2 kk:n kuluttua valusta. Tulokset ovat taulukossa 14.

Taulukko 14. Vakio-olosuhteissa (+23°C, 95 %RH) säilytettyjen betonilaattojen vakioitumisen seuranta punnitsemalla.

Betonilaatta	Paino 14.2.-97 g	Paino 24.2.-97 g	Paino 4.3.-97 g	Paino 18.3.-97 g
K40 (H)	16,65	16,65	16,65	16,64
K40 (S)	16,68	16,68	16,68	16,68
K60 (H)	17,83	17,84	17,84	17,84
K60 (S)	17,64	17,65	17,65	17,65

Eri mittausten tuloksia tarkasteltaessa voidaan todeta seuraavaa:

- Porareiän ikä vaikutti mittaustuloksiin. 1 vrk:n ikäisistä porarei'istä mitattiin korkeampia suhteellisen kosteuden tuloksia kuin kolmen vuorokauden ikäisistä porarei'istä. Kolmen ja kahdeksan vuorokauden ikäisistä porarei'istä mitatuilla tuloksilla ei ollut suurta keskinäistä eroa. Niin sanotusta vanhasta porareiästä (>2 kk) mitattiin alhaisimmat suhteelliset kosteudet. On kuitenkin huomattava, että mitattaessa korkeita kosteuksia (>90%), on anturin valmistajan ilmoittama mittaustarkkuus  $\pm 3\%$ .
- Porareikämittauksessa rinnakkaisten antureiden mittaustulosten erot olivat varsin pieniä.
- Kahden eri betonilaadun suhteellisen kosteuden mittaustulokset ovat suunnilleen samaikäisistä betoneista samansuuruiset. Punnitus-kuivausmenetelmällä saaduissa tuloksissa on sen sijaan yli prosenttiyksikön ero.
- Valuun upotetut anturit antavat alhaisempia mittaustuloksia kuin porareiästä mittaavat suhteellisen kosteuden anturit. Sisäänvaletuilla antureilla mitattuna betonin kuivuminen on etenkin valun jälkeen huomattavasta nopeampaa kuin suhteellisen kosteuden antureilla porareiästä mitattuna. Erot olivat suurimmillaan 8-9 % yksikköä.
- Noin kahden kuukauden kuluttua valusta aloitettu punnitsemalla tehty betonilaattojen vakioitumisen seuranta osoitti, että betonilaatat ovat vakioainossa.

Tulosten perusteella päädyttiin siihen, että alkuperäisessä suunnitelmassa olleiden kahden lähellä toisiaan olevan kosteustason (93 ja 97 RH%) määrittämien koe-

kappaleista ei ole mahdollista sellaisella tarkkuudella, että näiden kosteuserojen vaikutuksesta pinnoitteiden toimivuuteen voitaisiin tehdä luotettavia johtopäätöksiä. Betonin pinnan kosteuspitoisuus päätettiin ottaa huomioon pinnoitusajankohdan valinnassa.

### 7.3 Koelaattojen pinnoitus ja laatoille tehdyt kokeet

Pinnoituskokeiden muuttujina olivat

- betonin pintakosteus, kovuusluokka ja lisäaineet
- betonin esikäsitteleminen (hionta/sinkous) ja
- pinnoitetyypit

Yksityiskohtainen koesuunnittelu käyttäen hyväksi apuvälineenä nk. kemometristä menetelmää. Tämän koesuunnittelun perusteella laadittu ohjelma ja muuttujien tunnistustiedot ovat liitteenä.

Laattojen esikäsittelemismenetelminä olivat hionta ja sinkous. Sinkouksen jälkeen laattojen makrokarheus määritettiin nk. lasihelmimenetelmällä PANK-5103 /Päällystealan neuvottelukunta, 1997/. Menetelmä perustuu tunnetun lasihelmimäärän levittämiseen pinnalle mahdollisimman laajalle. Lasihelmillä peittyvän pinnan halkaisija mitataan ja levitetty lasihelmimäärä jaetaan peitetyn alueen pinta-alalla, jolloin saadaan arvo, joka edustaa lasihelmikerroksen keskimääräistä paksuutta ja samalla pintakarheuden keskimääräistä syvyyttä. Mittaustulokset ovat raportin liitteenä.

Laatat pinnoitettiin lokakuussa 1997. Korkeamman kosteuden vaikutus pinnoitteisiin otettiin huomioon koeohjelmassa siten, että osa kappaleista pinnoitettiin välittömästi sen jälkeen, kun kappaleet siirrettiin laboratoriotilaan, jossa suhteellinen kosteus oli alle 50 %. (kappaleiden tunnus H). Muiden kappaleiden annettiin kuivua seuraavaan päivään (kappaleiden tunnus L).

Pinnoitus tehtiin kahdeksalla kaupallisella tuotteella, jotka sideainetyypeittäin jakautuivat seuraavasti:

#### Epoksit

- *E1* - Reafloor 200/Reafloor 3000 (2 mm), *Tikkurila Oy*
- *E2* - Epirex-Hydro-Primer/Epirex 500 (0,5 mm), *Teknos Winter Oy*
- *E3* - Nanten SL väritön primer/Nanten SL Epoksimassa (2 mm), *Finnpak Oy*
- *E4* - Normafloor 205/ Normafloor 2500 (4 mm), *Nor-maali Oy*

#### Polyuretaanit

- *PUR1*- Uredur 100/Uredur 2000 (2 mm), *Teknos Winter Oy*
- *PUR2*- Nanten PU (2 mm), *Finnpak Oy*

#### Vinyyliesterit

- *VI*- Chemflake clear/Chemflake (2 mm), *Nor-Maali Oy*

#### Akryylit

- *AY1*- - Nanten Akryylipohjustin 112/Nanten Akryyli 151, *Finnpak Oy*

Pinnoitteiden toimivuutta arvioitiin seuraamalla pinnoitteen tartuntaa alustaan ajan funktiona ja erilaisten rasiusten jälkeen. Tartuntamittaukset tehtiin standardin SFS EN-ISO 24624 mukaisesti, vetolaikan halkaisija oli 20 mm.

Laatat altistettiin suihkutussyklille ja osittaiselle vesiupotukselle (pinnoitepuoli alaspäin) seuraavan ohjelman mukaisesti:

- Tartuntamittaukset (tartunta 1): pinnoitusten ikä 9-14 vrk
- Suihkutussykli:
  - syklissä vuorottelivat kylmä vesi (12 °C 1 h 15 min) ja lämmin vesi (34 °C 45 min) eli yhden jakson pituus oli 2 h. Yhteensä 50 sykliä (100 h)
- Tartuntamittaukset (tartunta 2): 4-5 vrk syklin jälkeen
- Osittainen upotus
  - laatat pinnoitepuoli vedessä yhteensä 21 vrk (10.3 - 20.4.1998)
- Tartuntamittaukset (tartunta 3): 4 - 8 vrk upotuksen jälkeen
- Tartuntamittaukset (tartunta 4): 4,5 kk upotuksen jälkeen

## 7.4 Koetulokset

Tartuntamittausten tulokset ja eri muuttujien (pinnoitetyyppi, esikäsitteily, betonin laatu, laatan kosteus) käsiteltiin tilastollisesti kemometrian avulla.

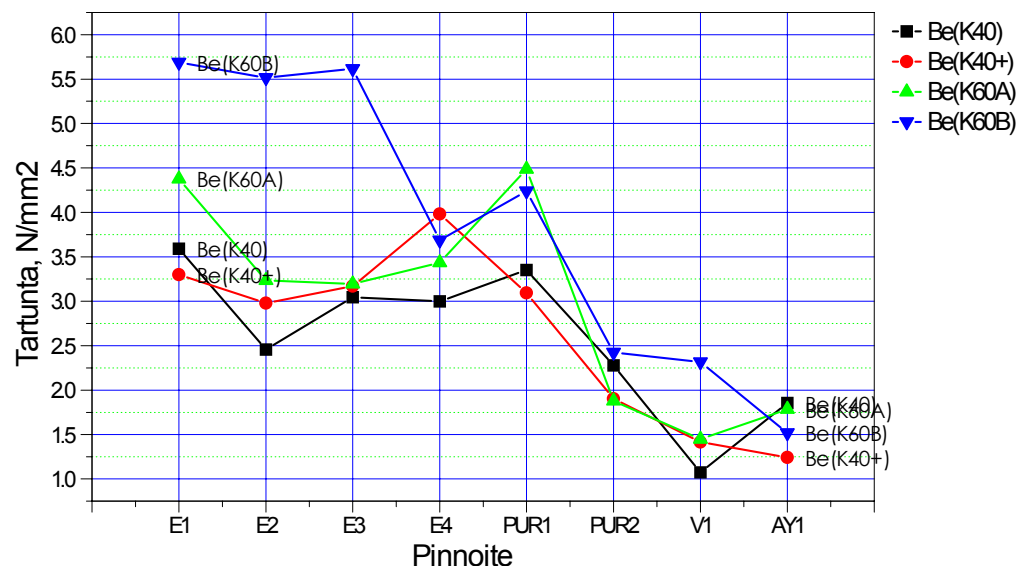
Tulosten perusteella voidaan tehdä joitakin havaintoja eri tekijöiden vaikutuksesta pinnoitteiden toimivuuteen silloin, kun toimivuutta arvioidaan pinnoitteen tartunnan avulla.

Kaiken kaikkiaan olivat eri tekijöiden vaikutukset tartunta-arvoihin kuitenkin melko vähäisiä.

Suurimmat tartunta-arvot saatiin epokseilla ja toisella kokeissa mukana olleella polyuretaanilla, näillä oli myös murtumatyyppi lähinnä betonin koheesiomurtumaa. Koska kokeiden tarkoituksena ei ollut määrittää eri pinnoitteiden tartunta-arvoja, vaan eri muuttujien (betonin koostumus, kosteus ja esikäsitteily) ei absoluuttisilla arvoilla ole tässä kokeessa merkitystä.

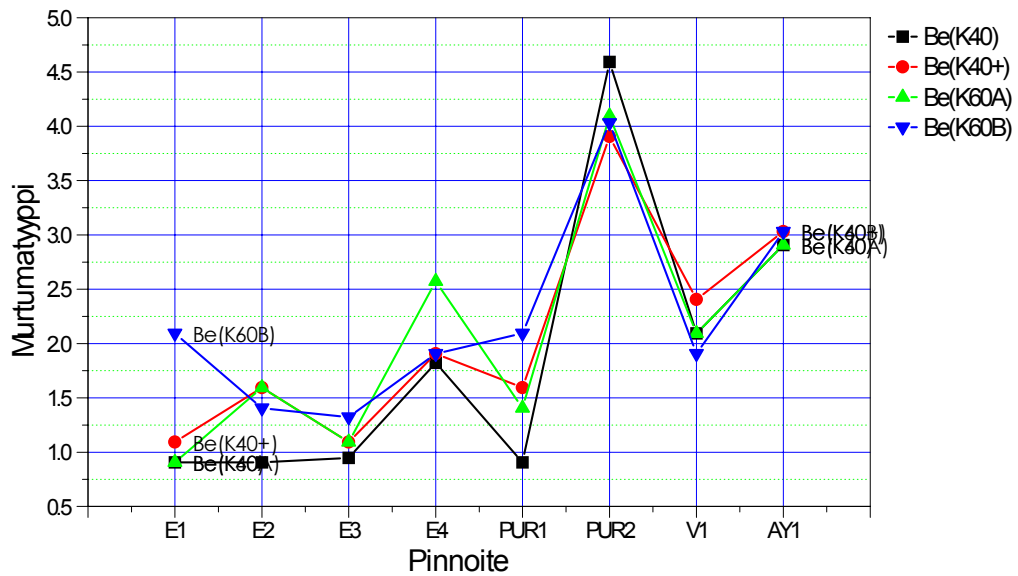
### 7.4.1 Betonin koostumuksen vaikutus pinnoitteen tartunta-arvoihin

- tartunta-arvot K60 lujuusluokan betonilla olivat suuremmat kuin luokan K40 betonilla (kuva 3)
- lisäaine ei vaikuttanut tartunta-arvoihin K40:llä, sen sijaan murtumatyyppi siirtyi jonkin verran pinnoitteen adheesiomurtuman suuntaan lisäaineellisessa betonissa (kuva 4)
- kovemmalla betonilla tartunta pettää enemmän adheesiomurtumana (kuva 3)



Kuva 3. Betonin koostumuksen vaikutus pinnoitteen tartuntavetolujuuksiin. Betonit: K40 ei lisäainetta, K40+ Melmnet tehonotkistin, K60A Melmnet tehonotkistin, K60B SuperParmix-tehonorkestistin.





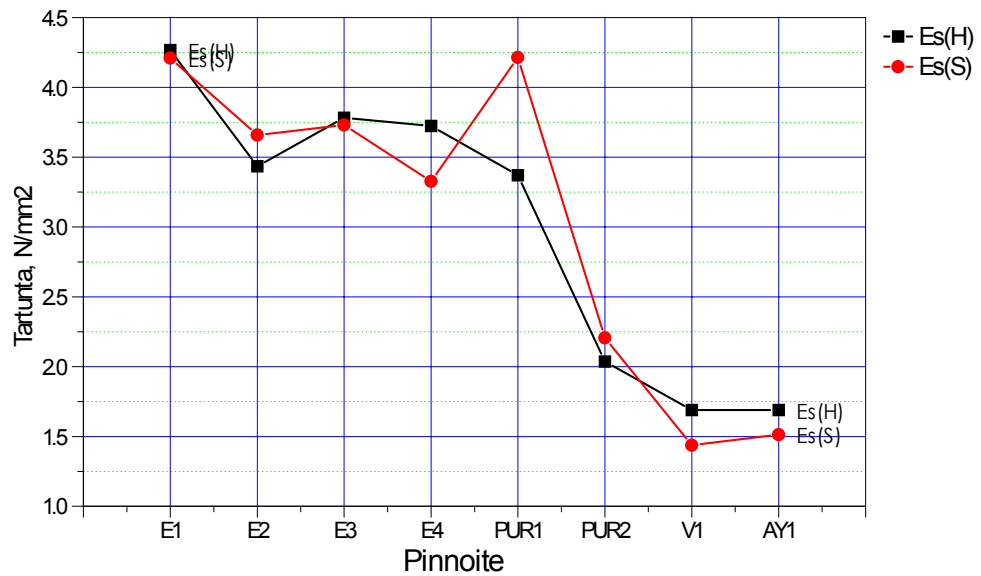
Kuva 4. Betonin lujuuden ja lisäaineen vaikutus murtumatyyppiin tartuntavetolujuusmäärittelyssä eri pinnoitteilla.

Betonit: K40 ei lisäainetta, K40+ Melmnet tehonotkistin, K60A Melmnet tehonotkistin, K60B SuperParmix-tehonoitkistin

Murtumatyyppit: 1 = betonin koheesio; 2 = betonin koheesio+pinnoitteen adheesio; 3 = pinnoitteen adheesio; 4 = pinnoitteen adheesio + pinnoitteen koheesio; 5 = pinnoitteen koheesio

#### 7.4.2 Esikäsittelyn vaikutus pinnoitteen tartunta-arvoihin

- esikäsittelyn vaikutus tartuntaan oli todella pieni (kuva 5)
- murtuminen tapahtui singotulta pinnalta useammassa tapauksessa puhtaammin betonin murtumisena



Kuva 5. Esikäsittelyn vaikutus pinnoitteiden tartuntalujuuteen .

#### 7.4.3 Betonipinnan kosteuden vaikutus pinnoitteen tartunta-arvoihin

- pintakosteudella ei ollut merkittävää vaikutusta tartunta-arvoihin (arvot olivat kostealla pinnalla hieman suuremmat)
- kosteus lisäsi joissakin tapauksissa jonkin verran adheesiomurtuman todennäköisyyttä.
- hiotulla pinnalla kosteus suurensi jonkin verran tartunta-arvoja

#### 7.4.4 Pinnoitteen vaikutus tartuntavetolujuuksiin

Tartuntamäärittysten tuloksia pinnoitetyypeittäin voidaan tarkastella seuraavasti (kuvat 4 ja 5).

Kaikilla neljällä epoksituotteella tartunta-arvot olivat hyvät, keskiarvon ollessa noin  $3,5 \text{ N/mm}^2$ . Irtoaminen tapahtui melko puhtaasti betonin murtumisena.

Kokeessa oli mukana kaksi polyuretaani-pinnoitetta. Näistä toinen käyttäytyi hyvin samalla tavalla kuin epoksituotteiden ryhmä: vetoarvot olivat luokkaa noin  $3,5 \text{ N/mm}^2$  ja murtuminen tapahtui betonin koheesiomurtumana. Toisella PUR-pinnoitteella saatiin heikommat tulokset: tartuntavetolujuus oli keskimäärin noin  $2 \text{ N/mm}^2$  ja murtuminen tapahtui osittain pinnoitteen irtoamisena alustasta, osittain itse pinnoitteen murtumana.

Vinyylin ja akryylin osalta tuloksista ei voi vetää selkeitä johtopäätöksiä, sillä molempi oli mukana vain yksi tuote. Molemmilla olivat tartuntavetolujuudet melko alhaiset, noin  $1,5 \text{ N/mm}^2$  ja irtoaminen tapahtui pääosin pinnoitteen irtoamisena betonista.

## 7.5 Tuoreen betonin pinnoituskokeet

### Koekappaleet ja tartuntamääritykset

Tuoreelle betonille tehtiin pinnoituskokeita kahdella eri epoksituotteella. Betoni-koekappaleiden tiedot ovat taulukossa 15.

Taulukko 15. Tuoreen betonin pinnoituskokeiden betonilaatat

Koe-kappaleen merkintä	Valupvm.	Lisäaine	Vesi/sementtisuhde	Puristuslujuus 28 d, N/mm <sup>2</sup>
K40	28.10.1998	Ei lisäainetta	0,57	48
K40 +	28.10.1998	Melmnet	0,60	45
K40T	28.10.1998	Teho Parmix	0,60	46
K40S	28.10.1998	Super Parmix	0,60	45

Kappaleet hiottiin ja primerointiin 6.11.1997 eli 9 vrk valun jälkeen ja pinnoitettiin seuraavana päivänä. Primerointi tehtiin koko laatalle, pinnoituksessa jätettiin osa primeroitua pintaa vapaaksi.

Lisäaineen vaikutuksen tutkimiseksi siveltiin osa laatoista ennen primerointia lisäaineliuksella.

Tartuntamittaukset tehtiin 26.11.1997 eli vajaa kolme viikkoa pinnoituksen jälkeen, tulokset ovat taulukossa 16. Osa kappaleista upotettiin veteen pystyasentoon siten, että veden pinta oli noin 5 cm pinnoitteen ja primerin rajapinnasta. Kappaleet olivat vedessä 6.3.1998 - 23.9.1998 välisen ajan. Tartunnat mitattiin näistä vesiupotuksessa olleista kappaleista samana päivänä, kun ne nostettiin vedestä.

Taulukko 16. Tuoreen betonin tartuntamittaukset kuivana ja 6,5 kk:n vesiupotuksen jälkeen.

Koekappale <sup>(1)</sup>	Pinnoite	Alku-tartunta [kN/mm <sup>2</sup> ]	Murtumatyppi <sup>(2)</sup>	Tartunta vesiupotuksen jälkeen N/mm <sup>2</sup>	Murtumatyppi <sup>(2)</sup>
K40	Epoksi Ea	2,2	100 %A	3,2	100% A
K40	Epoksi Eb	1,8	100 %A	3,7	65% A, 35% B
K40+	Epoksi Ea	2,3	100% A	3,1	100 %A
K40+	Epoksi Eb	2,8	100% A	1,1	100% B
K40+ kasteltu	Epoksi Ea	1,5	65% A 35% A/B	-	-
K40+ kasteltu	Epoksi Eb	1,5	50 % A 25% A/B 25% B/C	-	-
K40 T	Epoksi Ea	2,5	90 % A 10% B/C	-	-
K40T	Epoksi Eb	2,3	100% A	-	-
K40T kasteltu	Epoksi Ea	1,8	80% A 20% B	-	-
K40T kasteltu	Epoksi Eb	1,5	30% A 35% B 35% A/B	-	-
K40S	Epoksi Ea	2,7	100% A	3,1	100% A
K40S	Epoksi Eb	2,8	100% A	3,2	40% A 60% B
K40S kasteltu	Epoksi Ea	1,9	50% A 50% B	0,9	100% B
K40S kasteltu	Epoksi Eb	2,0	40% A 70% B	0,5	100% B

<sup>1)</sup> Kasteltu tarkoittaa lisäaineella siveltyä pintaa

<sup>2)</sup> Murtuminen on arvioitu silmämääräisesti. Murtumatyypit ovat:

- A = betonin koheesiomurtuma
- A/B = primerin irtoaminen betonista
- B/C = pinnoitteen irtoamista primerista.
- B = primerin koheesiomurtuminen

### Ohuthietutkimukset

Ohuthietutkimuksia varten irrotettiin tuoreen betonin koekappaleista 8 poraamalla irroitettua betoninäytettä. Näytteisiin kirjatut tunnuksat ja niitä vastaavat ohuthietunnukset on esitetty taulukossa 14.

Taulukko 17. Ohuthietutkimuksen näytteet. "Kasteltu" tarkoittaa ylimääräistä notkistinta betonin pinnassa.

Näyte	Betoni	Lisäaine	Pinnoite
1	K40	Ei lisäainetta	Epoksi E <sub>b</sub>
2	K40	Ei lisäainetta	Epoksi E <sub>a</sub>
3	K40	Melmnet, kasteltu	Epoksi E <sub>b</sub>
4	K40	Melmnet	Epoksi E <sub>a</sub>
5	K40	SuperParmix	Epoksi E <sub>b</sub>
6	K40	SuperParmix	Epoksi E
7	K40.	SuperParmix, kasteltu	Epoksi E <sub>a</sub>
8	K40.	SuperParmix, kasteltu	Epoksi E <sub>a</sub>

Tutkimuksia varten näytteistä valmistettiin petrograafiset ohuthieet. Ohuthieet tehtiin näytteiden ulkopintaa vasten kohtisuorassa suunnassa. Ennen preparointia näytepalat impregnoitiin vakuuissa fluoresoivaa väriainetta sisältävällä hartsilla. Impregnoidut näytteet liimattiin objektilasille ja ohennettiin timanttisahausta ja -hiontaa käyttäen siten, että näytteiden lopullinen koko oli 30 x 50 mm<sup>2</sup> x 25 µm. Näytteet tutkittiin Leitz Ortholux- polarisaatio- ja fluoresenssimikroskooppilla. Ohuthieiden preparointi- ja tutkimusmenetelmä on esitetty standardeissa ASTM C856 ja NT Build 381.

Ohuthietutkimuksessa mitatut materiaalien kerrospaksuudet sekä tehdyt havinnot on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18. Ohuthietutkimustulokset.

Näyte <sup>1)</sup>	Primer [µm]	Primer [µm]	Pinnoite [mm]	Betoni-pinnan karheus <sup>2)</sup>	Karbonatitumainen [mm]	Havainnot
1	50-200	80	0,70	MS	0,3	Betonin pinta OK. Primer OK
2	10-150	40	0,75	MS	0,4	Betonin pinta OK. Primer OK
3	100-300	150	1,02	MS	0,4	Hienäytteessä pinnoite irti. Irtoaminen betonin pinnasta. Primer OK
4	20-200	70	0,85	MS	0,4	Betonin pinta OK. Primer OK
5	50-150	80	0,45	S	0,3	Hienäytteessä pinnoite osittain irtoamassa. Irtoaminen betonin pinnasta. Primer OK
6	0-150	30	1,13	MK	0,3	Betonin pinta epätasainen. Primer OK
7	70-200	100	0,60	MK	0,4	Hienäytteessä pinnoite irti. Irtoaminen betonin pinnasta. Primer OK
8	0-70	30	0,50	MK	0,4	Hienäytteessä pinnoite irti. Irtoaminen betonin pinnasta. Betonin pinta epätasainen. Primer OK

<sup>1)</sup> Näytteet on kuvattu taulukossa 17.

<sup>2)</sup> S = sileä, MS = melko sileä, MK = melko karkea, K = karkea.

Mikroskooppitarkastelun perusteella pinnoitteiden irtoaminen tapahtui adheesiomurtumana betonin pinnalta siten, että primeri irtosi pinnoitteen mukana betonista. Primerin koheesiota ei mikroskooppikuvissa havaittu. Mikroskooppikuvat pinnoitteiden ja betonin rajapinnan rakenteesta on esitetty liitteessä 2 kuvissa 1-8.

## 7.6 Kosteus- ja tartuntamittaukset urakkakohteessa

Pinnoitteen tartuntamittauksia ja kosteusmittauksia tehtiin eräässä uudisrakennuskohteessa. Kosteusmittaukset teki Okmetic Oy (raportti liitteenä). Tartuntamittaukset tehtiin VTT:n toimesta noin 3 viikkoa epoksinpinnoituksen jälkeen. Mittaustulokset ovat taulukossa 19.

Taulukko 19. Betonilattian suhteellisen kosteuden mittaustulokset ja pinnoitteen tartunta-arvot normaalisti kuivuvalla lattiabetonilla K40 ja nopeammin päällystetävällä lattiabetonilla NP40. Tartuntamittauksissa murtuminen tapahtui betonin koheesiomurtumana. Epoksin paksuus on mitattu tartuntavetonapista.

Laatta/ Betoni	Paikka ja syvyys	RH(%) / T° C 13.1 ennen pohjus- tusta	RH(%) / T° C 15.1 (1 vrk jälk. epoks.)	RH(%) / T° C 22.1 (1 vko. jälk. epoks.)	Tartunta-arvot, N/mm <sup>2</sup>
laatta 1 betoni K35	sauma 2cm sauma 7 cm ontelolaatta 2 cm ontelolaatta 7cm	- - 92/11 -	- - 94/15 -	91/8 91/8 93/8 93/8	2,1 Epoksin paksuus 7 mm
laatta 2 betoni K35	sauma 2cm sauma 7 cm ontelolaatta 2 cm ontelolaatta 7cm	- - 95/11 -	- - 95/15 -	92/8 93/8 92/8 93/8	1,6 Epoksin paksuus 3 - 4 mm)
laatta 3 betoni K35	sauma 2cm sauma 7 cm ontelolaatta 2 cm ontelolaatta 7cm	- - 92/11 -	- - 92/15 -	91/8 91/8 91/8 94/9	2,0 Epoksin paksuus 5 - 6 mm
laatta 4 betoni K35	sauma 2cm sauma 7 cm ontelolaatta 2 cm ontelolaatta 7cm	- - 94/11 -	- - 93/15 -	94/9 94/9 91/8 94/9	3,3 Epoksin paksuus 4 - 6 mm
laatta 5 betoni NP40	sauma 2cm ontelolaatta 2 cm	- 86/10	- 87/14	77/8 81/8	3,6 Epoksin paksuus 4 - 5 mm
laatta 6 betoni NP40	sauma 2cm ontelolaatta 2 cm	- 85/10	- 89/14	80/8 81/8	2,4 Epoksin paksuus 4 mm
laatta 7 betoni NP40	sauma 2cm ontelolaatta 2 cm	- 85/10	- 87/14	81/8 81/8	2,7 Epoksin paksuus 4 - 7 mm
laatta 8 betoni NP40	sauma 2cm ontelolaatta 2 cm	- 85/10	- 87/14	83/8 81/8	2,6 Epoksin paksuus 4 - 5 mm

## YHTEENVETO

Projektin aikana saaduista tuloksista (kirjallisuus, johtoryhmän kokemukset, kokeet) voidaan tehdä seuraavia johtopäätöksiä.

Lattiapinnoitteita valittaessa tarvitaan usein tietoja seuraavista ominaisuuksista:

- lujuusominaisuudet
- tunkeutumiskyky ja tartunta alustaan
- kulutuskestävyys
- kemikaalinkestävyys
- lämmönkestävyys
- alkalinkestävyys (välttämätön)
- tiiviys
- joustavuus
- vesihöyrynläpäisevyys

Pinnoitteen puristuslujuuden on oltava riittävä, jotta pinnoite kestää siihen kohdistuvat kuormat. Toisaalta saattaa liian suuri puristuslujuus johtaa haurauteen. Hauraus aiheuttaa ongelmia tilanteissa, joissa pinnoitteeseen kohdistuu erittäin nopeita lämpötilan muutoksia tai iskuja. Pinnoitteen ihanteellinen puristuslujuus on lujuus, joka on hieman suurempi kuin betonin puristuslujuus.

Pinnoitteen voi suojata alustaa vain jos sen tartunta alustaan on riittävä. Teollisuuslattioiden pinnoitteiden tartunnalle on julkaisussa BLY 6/by 35 on annettu vaatimukseksi  $2,5 \text{ N/mm}^2$ . Murtuman tulee tapahtua betonissa, ei rajapinnoissa. Kulutuskestävyyttä arvioidaan tavallisimmin teollisuuspyöräkokeella, jonka jälkeen määritetään tartunta uudelleen.

Betonin koostumuksen vaikutuksesta pinnoitteen tartunta-arvoihin todettiin kokeissa, että kovemmallalla betonilla (K60) tartunta pettää jonkin verran useammin adheesiomurtumana verrattuna lujuusluokan K40 betoniin. Adheesiomurtuma kuvaa sitä, että pinnoitteen ja betonin välinen rajapinta oli heikompi kuin betonin sisäinen lujuus. Tartunta-arvot K60 olivat kuitenkin jonkin verran suurempia K60-lujuusluokan betonilla kuin luokan K40 betonilla.

Lisäaineiden vaikutuksesta pinnoitteiden tartunta voitiin koetuloksista todeta, että lisäaineilla voi olla merkitystä primerin toimivuuteen silloin, kun olosuhteet muutoinkin ovat kriittiset, toisin sanoen kun joudutaan pinnoittamaan tuoretta betonia eli pinta on alkalinen ja kosteus korkea. Vaikutus riippuu lisäaineen ja pinnoitteen koostumuksesta.

Verrattaessa hionnan ja sinkouksen vaikutusta tartuntaan, ei eroja juurikaan saatu esille. Sinkous antoi jonkin verran parempia tartunta-arvoja kuin hionta ja murtuminen tapahtui singotulta pinnalta useammassa tapauksessa puhtaammin betonin murtumisena.

Betonipinnan pintakosteudella ei ollut merkittävää vaikutusta tartunta-arvoihin (arvot olivat kostealla pinnalla jopa hieman suurempia).

Tuoreelle betonille kahdella eri epoksituotteella tehdyissä pinnoituskokeissa havaittiin, että lisäaineen vaikutus primerin ja pinnoitteen tartuntaan vaihteli lisäaineen ja pinnoitteen mukaan. Lisäaineet olivat Melmnet, Teho-Parmix ja Super-Parmix. Normaalina pitoisuuksina betoniin sekoitettuna ei lisäaineilla ollut merkitystä kummankaan pinnoitteen toimivuudelle. Kun pinnassa oli suuria pitoisuuksia lisäainetta, muuttui murtumamekanismi jonkin verran ja koekappaleissa voitiin havaita primerin tartunnan alustaan heikentyneen. Kun koekappaleet altistettiin vesiupotukselle ja tartunnat määritettiin uudelleen vesiupotuksen jälkeen, irtosi toinen pinnoitteista primerin koheesiomurtumana, mutta toisella pinnoitteella murtumatyyppi oli edelleen betonin koheesiomurtuma.

### EHDOTUS PINNOITTEEN TOIMIVUUSVAATIMUKSIKSI

Lattiapinnoitteiden toimivuudelle voidaan asettaa esimerkiksi alla esitettävät vaatimukset. Ehdotus perustuu projektin aikana esille tulleisiin asioihin.

Ominaisuus	Vaatus
Lujuusominaisuudet	Ilmoitetaan
Tartunta	min 2,5 N/mm <sup>2</sup>
Tartunta teollisuuspyöräkokeen jälkeen	min 2,5 N/mm <sup>2</sup>
Tiiviys	Vesitiivis
Halkeamankesto	0,5 mm
Sallittu betonialustan suhteellinen kosteus	Maalintoimittaja ilmoittaa