

YLEISOHJEEN SISÄLTÖ



Kuva 1. Betonista voidaan tehdä monimuotoisia rakenteita



Kuva 2. Betonin valu on yleisin korjausmenetelmä



Kuva 3. Raudoitusta joudutaan usein uusimaan sillankorjauksissa

1. YLEISTÄ	3
2. BETONIRAKENTEEN KORJAUSTYÖN SUUNNITTELU	13
3. BETONIN OSA-AINEIDEN LAATUVAATIMUKSET	19
4. BETONIMASSAN OMINAISUUDET	29
5. BETONIN OMINAISUUDET	32
6. ERIKOISBETONIT	46
7. RAUDOITUS	49
8. BETONIRAKENTEIDEN LAATUVAATIMUKSET	60
9. TYÖTURVALLISUUS	64
10. YMPÄRISTÖNSUOJELU	66
11. LAADUNVARMISTUS	67
12. RINNAKKAISET OHJEET	72
13. HAKUSANAT	75
LIITE: TERMIT JA MÄÄRITELMÄT	76

SISÄLLYSLUETTELO

1. YLEISTÄ

- 1.1 Yleisohjeen soveltamisala
- 1.2 Betonin luonne ja käyttö silloissa
- 1.3 Betonia vaurioittavat tekijät
- 1.4 Siltojen ympäristörasitus
- 1.5 Käsitteet ja määritelmät
 - 1.5.1 Betonin korjaustyön työvaiheet
 - 1.5.2 Termit ja määritelmät
 - 1.5.3 Merkinnot
- 1.6 Henkilöstön pätevyys

2. BETONIRAKENTEEN KORJAUSTYÖN SUUNNITTELU

- 2.1 Korjaushankkeen vaiheet
- 2.2 Betonirakenteen kunnon arviointi
- 2.3 Periaateratkaisu
- 2.4 Korjausmenetelmän valinta
- 2.5 Betonirakenteen korjaussuunnitelma
- 2.6 Betonityösuunnitelma
- 2.7 Laatusuunnitelma

3. BETONIN OSA-AINEIDEN LAATUVAATIMUKSET

- 3.1 Kiviainekset
- 3.2 Sementti ja muut sideaineet
 - 3.2.1 Rakennussementti
 - 3.2.2 Muut sideaineet
- 3.3 Mineraaliset seosaineet
 - 3.3.1 Silika
 - 3.3.2 Masuunikuona
 - 3.3.3 Lentotuhka
- 3.4 Vesi
- 3.5 Lisäaineet
 - 3.5.1 Notkistavat lisäaineet
 - 3.5.2 Pakkaskestävyyttä parantavat lisäaineet
 - 3.5.3 Sitoutumista hidastavat lisäaineet
 - 3.5.4 Sitoutumista kiihdyttävät lisäaineet
 - 3.5.5 Stabiiloivat ja huuhtoutumista estävät lisäaineet
 - 3.5.6 Injektointilaastin lisäaineet
- 3.6 Väriaineet

4. BETONIMASSAN OMINAISUUDET

- 4.1 Muokkautuvuus (työstettävyys)
 - 4.1.1 Tiivistävyys
 - 4.1.2 Koossapysyvyys
 - 4.1.3 Notkeus
- 4.2 Ilmapitoisuus
- 4.3 Sitoutuminen

5. BETONIN OMINAISUUDET

- 5.1 Betonimassan kovettuminen
- 5.2 Lujuus- ja tartuntaominaisuudet
- 5.3 Muodonmuutosominaisuudet
 - 5.3.1 Hetkellinen muodonmuutos ja viruma
 - 5.3.2 Kutistuma
 - 5.3.3 Lämpömuodonmuutokset
- 5.4 Betonin tiiviysominaisuudet
- 5.5 Betonin säilyvyys
 - 5.5.1 Betonin pakkaskestävyys
 - 5.5.2 Betonin kulutuksenkestävyys
- 5.6 Betonin kyky suojata raudoitusta korroosiolta
 - 5.6.1 Betonin karbonatisoituminen
 - 5.6.2 Kloridien tunkeutuminen betoniin
- 5.7 Betonin kemiallinen kestävyys

6. ERIKOISBETONIT

- 6.1 Erikoisbetonien käyttö

- 6.2 Polymeerien käyttö korjaustöissä
- 6.3 Vakiobetoni
- 6.4 Itsetiivistävä betoni
- 6.5 Kuitubetoni
- 6.6 Kevytsorabetoni
- 6.7 Huuhtoutumaton betoni

7. RAUDOITUS

- 7.1 Raudoitustyön vaiheet
- 7.2 Teräslajit
- 7.3 Kuidut
- 7.4 Pintakäsittely
- 7.5 Ankkuroinnit
- 7.6 Jatkokset
- 7.7 Raudoituksen korjausmenetelmät
 - 7.7.1 Raudoituksen uusiminen
 - 7.7.2 Rakenteiden vahventaminen
- 7.8 Rakenteessa olevan raudoituksen suojaaminen
 - 7.8.1 Raudoituksen korroosio ja korroosionesto
 - 7.8.2 Betonin alkalointi
 - 7.8.3 Kloridien poisto
 - 7.8.4 Katodinen suojaus
 - 7.8.5 Inhibointi

8. BETONIRAKENTEIDEN LAATUVAATIMUKSET

- 8.1 Rasitusluokat
- 8.2 Rakenneluokka ja lujuusvaatimukset
- 8.3 Pakkaskestävyysvaatimukset
- 8.4 Tiiviysvaatimukset
- 8.5 Betonipeite
- 8.6 Ulkonäkö ja tasaisuus

9. TYÖTURVALLISUUS

- 9.1 Turvallisuusasiakirja
- 9.2 Työmaan yleisjärjestelyt
- 9.3 Betonitöiden työturvallisuus

10. YMPÄRISTÖNSUOJELU

- 10.1 Ympäristövaikutukset
- 10.2 Jätehuolto
- 10.3 Ongelmajätteet

11. LAADUNVARMISTUS

- 11.1 Laadunvarmistuksen tavoitteet
- 11.2 Urakoitsijan laadunvarmistustoimet
 - 11.2.1 Työnopastus ja mallityöt
 - 11.2.2 Laadunohjaus ja laaduntarkastukset
- 11.3 Työnaikainen valvonta ja mittaukset
 - 11.3.1 Mittausvälineet
 - 11.3.2 Olosuhteiden mittaus
 - 11.3.3 Silmämääräinen tarkastus
 - 11.3.4 Työnaikaiset mittaukset
- 11.4 Vaatimustenmukaisuuskokeet
 - 11.4.1 Pakkaskestävyys
 - 11.4.2 Puristuslujuus
 - 11.4.3 Betonin tiiviys
 - 11.4.4 Tartunta
 - 11.4.5 Betonipeitteen paksuus
- 11.5 Sillan laaturaportti

12. RINNAKKAISET OHJEET

- 12.1 Standardit
- 12.2 Muut ohjeet

13. HAKUSANAT

LIITE: TERMIT JA MÄÄRITELMÄT

Tiehallinto, Siltatekniikka 2007

SILKO-projektin betonityöryhmä:

Projektipäällikkö Ossi Räsänen	puh.joht.	Tiehallinto, ATP, Siltatekniikka
Insinööri Kaisa Kortelainen		Tiehallinto, ATP, Siltatekniikka
Insinööri Ilkka Kuulas		Tiehallinto, ATP, Siltatekniikka
Kehittämispäällikkö Jouko Lämsä		Tiehallinto, ATP, Siltatekniikka
Tekniikan tohtori Seppo Matala		Matala Consulting
Projektipäällikkö Aki Meuronen		Insinööritoimisto Aaro Kohonen Oy
Tutkija Liisa Salparanta		VTT
Yli-insinööri Jorma Huura	siht.	Insinööritoimisto Jorma Huura Oy

Erikois-

asiantuntijat:	Erikoistutkija Erkki Vesikari,	VTT
	Kehitysjohtaja Casper Ålander (osat 7.2–7.6)	Fundia Betoniteräksset Oy
	Toimitusjohtaja Erkki Lindberg (osa 7.7)	CMC Corrosion Management Services

Konsultit: Insinööritoimisto Jorma Huura Oy
Matala Consulting

Piirroksat: kuvat 18, 24, 28, 34, 35, 37, 38, 39 ja 40; Seppo Matala
kuva 19; K-H Korhonen, R. Gardemeister
muut piirroksat; Insinööritoimisto Jorma Huura Oy

Valokuvat: kuvat 6, 31, 32 ja 33; Seppo Matala
muut valokuvat; Insinööritoimisto Jorma Huura Oy

TIEH 2230095 - SILKO 1.201

© 2007 Tiehallinto

Sivujen valmistus: Edita Prima Oy, Helsinki 2007

Kirjapaino: Edita Prima Oy, Helsinki 2007

Julkaisua myy:

asiakaspalvelu.prima@edita.fi

Puhelin 020 450 2470

Telekopio 020 450 011

1. YLEISTÄ

1.1 Yleisohjeen soveltamisala

Tämä julkaisu on laadittu siltojen korjausohjejärjestelmän eli SILKO-ohjeiston osana. Julkaisua käytetään vanhojen siltojen korjausrakentamisen lisäksi siltojen uudisrakentamisessa sattuneita virheitä korjattaessa.

Julkaisu on sillan betonirakenteita käsittelevä yleisohje, jota muut betonirakenteita käsittelevät SILKO-yleisohjeet /4/.../7/ sekä yksityiskohtaiset korjausohjeet (SILKO-ohjeet 2.211–2.271) täydentävät.

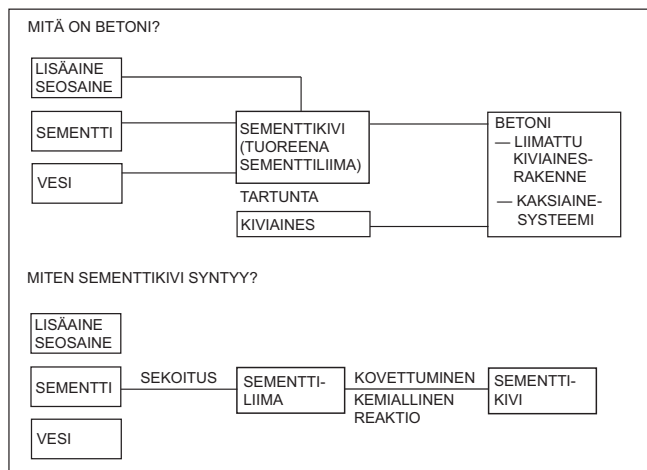
Julkaisussa esitetään sekä kovettumattoman että kovettuneen betonin ominaistiedot. Betonointiteknikoista käsitellään betonointi valamalla. Korjausrakentamisessa on otettava huomioon myös betoni korjausalustana. Muotti-, rauditus- ja betonointityöt tehdään noudattaen sillanrakentamisen

yleisiä laatuvaatimuksia /1/, joissa on otettu huomioon *Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa B4* /2/ ja siihen perustuvassa julkaisussa Betoninormit 2004 /3/ tapahtuneet muutokset standardin EN 206-1 ja sen kansallisen soveltamisohjeen astuttua voimaan. Näin ollen näitä asioita käsitellään tässä SILKO-ohjeessa rajoitetusti.

Julkaisu täydentää *Sillanrakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia* /1/ ja /8/ korjausrakentamisen osalta. Reunapalkkien ja pilareiden kuorirakenteiden suunnittelussa, rakentamisessa ja korjaamisessa voidaan käyttää *Tiehallinnon julkaisuja* /9/ ja /10/. Betonipintoja ja niiden käsittelyä on käsitelty *Tiehallinnon julkaisuissa* /11/. Betonirakenteiden korjaamista koskevaa tietoa on saatavissa myös muista alan julkaisuista /12/.

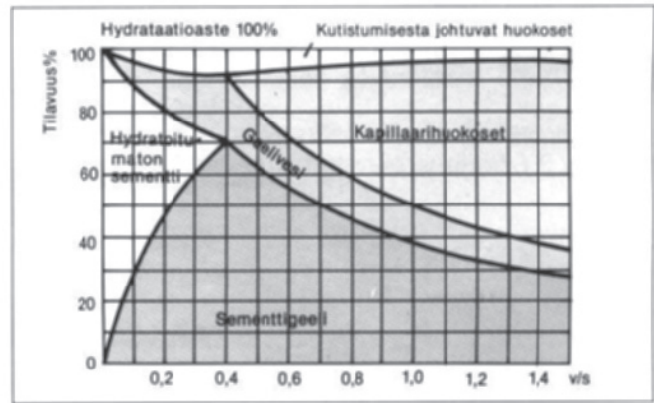
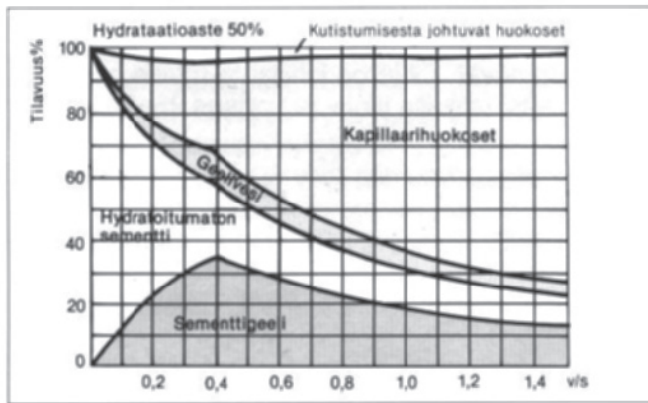
1.2 Betonin luonne ja käyttö silloissa

Betoni on luonteeltaan keinotekoinen kivi. Betonin osa-aineita ovat: kiviaines, sementti ja vesi sekä mahdolliset lisä- ja seosaineet. Sementtiliima on sementin ja veden seos, joka kovettuu kemiallisen reaktion seurauksena sementtikiveksi (kuva 4).



Kuva 4. Betonin osa-aineet /12/.

Sementin ja veden välinen reaktio jatkuu teoriasa vuosikausia sementin täydelliseen hydratoitumiseen asti. Käytännössä näin ei yleensä tapahdu, koska osa vedestä haihtuu betonimassan kovettumisen aikana ja betonin asetuttua kosteustasapainoon sellaisen ilman kanssa, jonka suhteellinen kosteus on 80–85 %, betoni ei enää sisällä hydratoitumiseen osallistuvaa vettä. Sementtipasta, jonka vesi-sementtisuhde on pienempi kuin 0,39, ei voi hydratoitua täydellisesti. Sementtikiveen sitoutuu vettä eri tavoin vesi-sementtisuhdesta riippuen (kuva 5). Kuvasta voidaan todeta, että betonin paksenkestävyyden ja tiiviyn kannalta haitallisten kapillaarihuokosten osuus kasvaa vesi-sementtisuhteen kasvaessa. Sillankorjaustoissa onkin pyrittävä mahdollisimman alhaiseen vesisementtisuhteeseen, mieluiten pienempään kuin 0,45.



Kuva 5. Sementtikiven rakenteen riippuvuus vesi-sementtisuhteesta/13/.

Betonin käytön historia on pitkä ja monivaiheinen /14/. Nykyisen portlandsementin hydraulisia ominaisuuksia vastaava sementti kehitettiin Eng-lannissa 1800-luvun puolivälissä. Nimensä sementti sai siitä, että se oli lujuudeltaan ja väriltään Portlandin kreivikunnasta saadun rakennuskiven kaltaista. Teräsbetoni tuli käyttöön 1800-luvun jälkipuoliskolla. Jänneraudoitteiden käyttö on lisääntynyt voimakkaasti 1920-luvulta lähtien. Tällöin alettiin myös käyttää täryttimiä betonoitaessa, minkä ansiosta voitiin pienentää vesi-sementtisuhdetta. Samoihin aikoihin alettiin käyttää myös lisäaineita, joiden avulla betonin ominaisuuksia ja työstettävyyttä voitiin muunnella monin tavoin.

Suomessa betonia käytettiin aluksi raudoittamattomana. Vanhin vielä käytössä oleva betonisilta on Mannerheimintieellä, eduskuntatalon lähellä oleva rautatien alikulkusilta, joka valmistui vuonna 1894. Teräsbetonia alettiin Suomessa käyttää 1900-luvun alkuvuosina. Jännitetyn teräsbetonin käyttö alkoi maassamme 1940-luvun loppuvuosina ja sen myötä alkoi voimakas elementtiteollisuuden kehitys 1960-luvulla. Lisäaineilla parannetaan muun muassa betonin pakkasenkestävyyttä (P-lukubetonit) ja työstettävyyttä (nesteytetty betoni, huuhtoutumaton betoni ja itsestivistä betoni). Suomen vanhin teräsbetonisilta on vuonna 1911 rakennettu Tönnön silta (kuva 6). Silta palvelee edelleen museosiltana kevyttä liikennettä.

Betonin normitus alkoi Suomessa 1920-luvulla. Vuonna 1929 Valtioneuvosto vahvisti Betoni- ja rautabetonirakenteiden määräykset. Monien vai-

heiden jälkeen vasta vuoden 1946 normeissa alettiin käyttää vesi-sementtisuhte-käsitettä ja betonit jaettiin A-, B- ja C-betoneiksi. Vuoden 1954 normiuudistuksessa julkaistiin Betoni- ja teräsbetonirakenteiden normaalimääräykset teknillisine ohjeineen, jolloin betoni luokiteltiin lujuusluokkiin K60... K450. Ensimmäiset esijännitetyjen betonirakenteiden normit teknillisine ohjeineen julkaistiin vuonna 1958.

Tiehallinnon hallinnassa oli vuoden 2006 alussa lähes 14 300 siltaa, joista varsinaisia siltoja oli noin 11 300 ja loput teräsputkisiltoja /15/. Varsinaisista silloista pääkannattimien mukaan ryhmiteltynä betonisiltoja oli 9 500 (85 %), joista laatta- ja laattakehäsiltoja 7 250 (76 %). Varsinaisista betonisilloista teräsbetonisia oli 89 % ja jännitettyjä 11 %. Myös muun tyyppisissä silloissa kuten terässilloissa on paljon betonirakenteita (esim. kansilaatoissa, tuisa, peruslaatoissa ja paaluissa).



Kuva 6. Tönnön silta (Orimattila).

Betonia vaurioittavat tekijät

Betonin hyviä ominaisuuksia ovat puristuslujuus, kulutuksenkestävyys ja muotoiltavuus. Betonin huonoja ominaisuuksia ovat heikko vetolujuus ja epähomogeenisuus.

Siltojen betonirakenteiden ongelmia ovat alttius veden, pakkasen ja suolojen aiheuttamalle rapautumiselle, halkeilu sekä karbonatisoituminen ilman hiilidioksidin vaikutuksesta. Vaaralliseksi tilanne alkaa muodostua, kun raudoitusta suojaava betonipeite on menettänyt emäksisyytensä tai rapautunut. Betonipeitteen paksuudella ja laadulla on siis ratkaiseva merkitys. Vauriotyyppejä ovat betonin pintavauriot ja halkeamat sekä raudoituksen korrosio. Kosteaa ympäristö on melkein aina vaikuttamassa betonirakenteiden vaurioitumiseen.

Teräsbetonirakenteiden säilyvyyteen vaikuttavia ulkoisia rasitustekijöitä ovat

- kosteus, kloridit ja muut ympäristön epäpuhtaudet.
- ilman hiilidioksidipitoisuus
- pakkasen ja lämpötilan vaihtelut
- liikenteen, virtaavan veden ja jään aiheuttama kuluminen
- merivesi ja merituuli.

Näiden ulkoisten rasitustekijöiden vaikutuksia kiihdyttäviä betonin ominaisuuksia ovat

- huono tiiviys
- pinnan halkeilu
- voimakas karbonatisoitumistaipumus
- vähäinen suojahuokosten määrä.

Yleisimmät siltojen betonirakenteiden vauriot ovat

- halkeilu
- raudoituksen korrosiovauriot (kuva 7)
- betonin pakkassuolarapautuminen (kuva 8)
- veden jäätyminen aiheuttamat vauriot (kuva 9)
- törmäysvauriot (kuva 10).

Nämä vauriot ovat yleensä laaja-alaisia, joten ne korjataan betonoimalla eli ne kuuluvat tämän ohjeen piiriin. Betonirakenteiden vaurioita on käsitelty tarkemmin *Sillantarkastusohjeessa*/16/.

Korjausmenetelminä tulevat kysymykseen betointi valamalla tai ruiskuttamalla. Betonin osa-ainesten laadun ja sopivuuden lisäksi myös työtekniikalla on ratkaiseva merkitys betonoinnin onnistumiselle. Lisäksi on tarvittaessa selvitettävä rakenteiden vahventamistarve, esimerkiksi törmäysvaurioita korjattaessa.



Kuva 7. Teräskorrosio on irrottanut betonipeitteen.



Kuva 8. Rapautunut reunapalkki.



Kuva 9. Rapautuma vedenpinnan vaihtelualueella.



Kuva 10. Sillan välituen pilarin törmäysvaurio ja väliaikainen tuenta.

Pienemmät paikkaukset ja betonipinnan suojaaminen tehdään erillisten *SILKO-ohjeiden* 2.231, 2.232, 2.233 ja 2.253 mukaan.

Pakkasvaurio voidaan jakaa sisäiseen pakkasvaurioon ja pinnan rapautumiseen /17/. Sisäinen pakkasvaurio vaurioittaa rakenteessa koko poikkileikkaukselta. Sisäinen pakkasvaurio huonontaa betonin ominaisuuksia, mikä heikentää raudoituksen tartuntaa betoniin. Suolapakkasrapautuminen ei yleensä aiheuta sisäisiä vaurioita betoniin vaan vaurioittaa rakenteen pintaosia aiheuttaen niissä rapautumista ja lohkeilua, minkä seurauksena betonipoikkileikkausala pienenee. Saavuttaessaan raudoituksen tason suolapakkasrapautuminen vaikuttaa raudoituksen korroosion käynnistymiseen ja etenemisnopeuteen. Raudoituksen korroosion seurauksena raudoitustankojen pinta-ala pienenee. Lisäksi korroosio vaikuttaa raudoituksen mekaanisiin ominaisuuksiin, betonipeitteen halkeiluun ja raudoituksen tartuntaan. Raudoitustankojen pinta-alan pieneminen heikentää rakenteen kantavuutta. Korroosio heikentää raudoitustankojen venymäominaisuuksia, mikä huonontaa rakenteen sitkeyttä murtotilassa.

sa. Korroosion aiheuttama halkeilu huonontaa raudoituksen tartuntaa, mikä on vaarallista ankkurointilueilla.

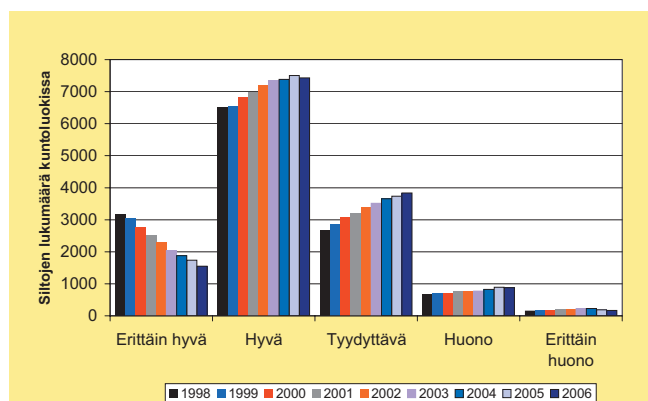
Betonin kriittinen kloridipitoisuus on betonin laadusta riippuen korkeintaan 0,07 % happoliukoiseena betonin painosta määritettynä. Betonia purettaessa ei raudoituksen ympärille saa jäädä betonia, jonka kloridipitoisuus on suurempi kuin 0,02 %. Kloridipitoisuuden määrittämisessä pitää ottaa huomioon myös kiviaineksen sisältämä kalkkikivi, joka liukenee happoon ja siten aiheuttaa määrittämisvirheen happoliukoisen kloridin määrään. Jännitetyissä rakenteissa arvot ovat puolet edellä mainituista.

Lisäksi rakenteet saattavat joutua sulfaattien, nitraattien tai muiden korroosiota aiheuttavien aineiden vaikutuksen alaiseksi. Kemiallisia rasisitustekijöitä on käsitelty kohdassa 5.7.

Betonia vaurioittavia ja betonin säilyvyyteen vaikuttavia tekijöitä on käsitelty tarkemmin kohdissa 5.5-5.7.

1.4 Siltojen ympäristörasitus

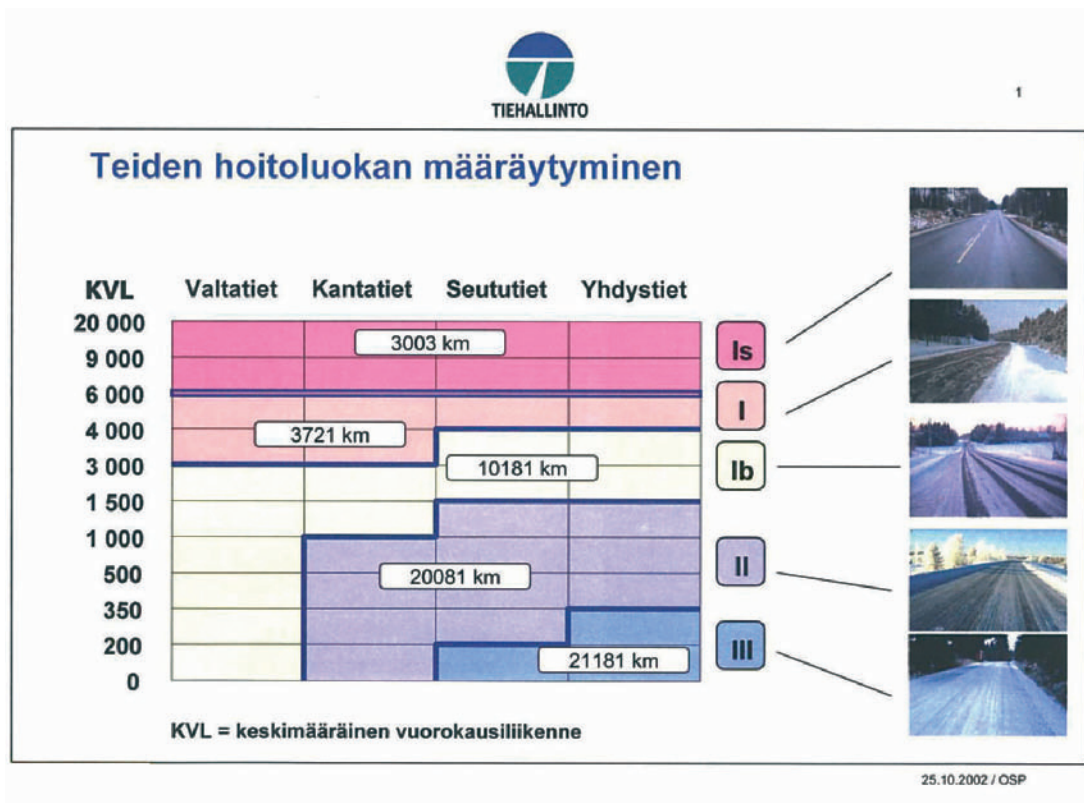
Tiehallinto on kehittänyt sillaston ylläpitoa varten siltojen hallintajärjestelmän, jonka avulla seurataan siltojen kuntoa (kuva 11) ja yksittäisiä vaurioita ja tehdään tunnuslukujen (yleiskuntoarvio ja laskettu yleiskunto sekä vauriopistesumma) perusteella päätökset tarvittavista toimenpiteistä /18/. Asiaa on käsitelty tarkemmin *Sillantarkastusohjeen* /16/ kohdassa 1.3, *Sillantarkastuskäsikirjan* /19/ kohdassa 1.2 ja vuosittain tehtävän julkaisun *Tiehallinnon teiden ja siltojen kunto* /18/ kohdassa 5.



Kuva 11. Siltojen kuntojakautuma 1998-2006 /18/.

Siltojen betonirakenteiden säilyvyyteen vaikuttavat eniten suolan käyttö talvikunnossapidossa ja vaihteleva sää. Suolaa käytetään sekä ajoradalla syntyneen jääpeitteen poistamiseen että jääpeitteen synnyn estämiseen. Yleisten ohjeiden mukaan suolan käyttö riippuu tien talvihoitoluokasta. Hoitoluokka riippuu tien liikennemäärästä ja toiminnallisesta luokasta (kuva 12). Suolan käyttöön vaikuttaa lisäksi tien sijainti siten, että suolaa käytetään pääasiassa lähellä nollaa olevissa lämpötiloissa, joten käyttö vähenee pohjoista kohti mentäessä (taulukko 1). Yleisillä teillä olevien betonisiltojen jakaantuminen toiminnallisiin luokkiin ilmenee taulukosta 2.

Sillan suunnittelun lähtökohtana on teiden talvihoitoluokitukseen, liikennemääriin ja sijaintiin perustuva siltaosittainen rasisitusluokkaryhmitys. Tämä myös sillankorjaustoissa käytettävä luokitus on esitetty kohdassa 8.1.



Kuva 12. Maanteiden hoitoluokat.

Taulukko 1: Käytetyt suola- ja hiekkamäärät sekä kerättyjen jätteiden määrä kalenterivuonna 2003

Piiri	Talvi-suola yht. (kuiva-tonnia) (sis. hiek-hiekan suolan)	Is 2-aj. (kuiva-tonnia)	Is 1-aj. (kuiva-tonnia)	I (kuiva-tonnia)	Ib (kuiva-tonnia)	II-III (kuiva-tonnia)	Hiekoitus-hiekan suola (kuiva-tonnia)	Hie-koitus-hiekka (t)	Talviliuos NaCl (kuiva-tonnia)	Talviliuos CaCl2 (kuiva-tonnia)	Erityis-alueet, NaCl (t), pohjavesi-al. yms., em. luokkiin	Erityis-alueet, CaCl2 -liuos (t), pohjavesi-al. yms., em. luokkiin	Kesä-suola (sora-teiden kevät-kunnos-tus) (t)	Kesä-suola (pölyn-sidonta) (t)	Jätteet kaato-paikalle (t)
Uusimaa	20 236	8 776	4 020	3 315	3 210	614	308	51 496	1 034	436	820	58	746	415	567
Turku	11 519	1 662	2 479	4 013	3 023	187	186	79 746	1 045	1 612	19	0	1 930	357	994
Kaakkois-Suomi	9 569	407	4 235	2 290	2 121	96	425	75 076	365	193	580	0	3 156	512	1 089
Häme	11 493	2 321	2 454	3 300	2 454	410	554	76 517	257	1 478	309	11	3 148	138	877
Savo-Karjala	5 920	839	294	1 545	1 951	185	1 112	145 981	542	364	165	31	3 930	1 437	1 862
Keski-Suomi	3 923	220	1 320	1 409	667	222	85	40 559	5	1 165	8	1	833	345	830
Vaasa	7 910	251	772	3 850	2 228	148	660	74 416	72	1 983	6	0	2 155	742	662
Oulu	9 537	559	662	2 816	3 899	356	1 244	94 445	1 016	1 685	91	27	1 053	1 858	1 359
Lappi	1 957	0	0	827	377	5	749	64 071	179	84	18	0	2 532	731	791
Koko maa	82 065	15 035	16 235	23 363	19 928	2 223	5 324	702 305	4 516	9 000	2 017	128	19 482	6 535	9 030

Taulukko 2. Betonisiltojen ikäjakauma tien toiminnallisen luokan ja liikennemäärän mukaan vuonna 2006

Teräsbetonisillat		> 1976		1966..1976		< 1966		Ei vuosilukua	
Tie	KVL	Kpl	m2	Kpl	m2	Kpl	m2	Kpl	m2
Vt, Kt, St	≥ 1500	2140	707115	801	313317	951	269081	1	0
Yt	≥ 1500	302	90912	108	48740	89	22126	1	161
Vt, Kt	< 1500	78	14888	130	27349	154	26359	0	0
St, Yt	< 1500	923	142918	890	144930	1576	173796	3	345
Vt, Kt, St, Yt	Ei tiedossa	28	9679	5	1866	6	3193	0	0
Jk + pt	Kaikki	56	11644	8	2156	28	4761	1	46
Katu, Kaavatiet	Kaikki	4	2989	0	0	0	0	0	0
Yksityistiet	Kaikki	5	3227	15	5680	3	140	0	0
Ramppi	Kaikki	206	57672	18	7999	9	3638	0	0
Luokittelemattomat tiet	Kaikki	3	312	1	138	2	296	0	0
Yhteensä		3745	1041358	1976	552174	2818	503390	6	553

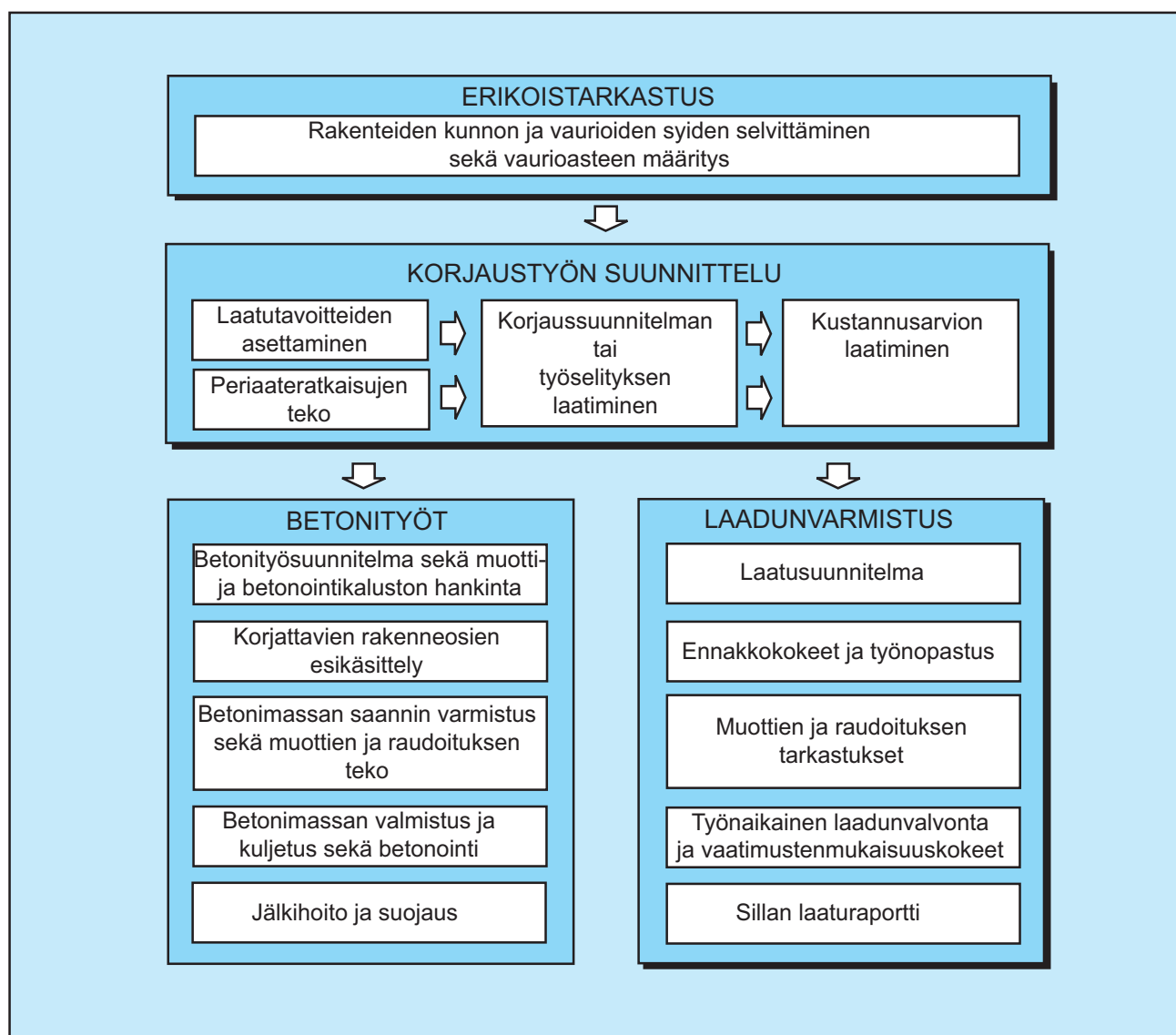
Jännitetyt betonisillat		> 1976		1966..1976		< 1966		Ei vuosilukua	
Tie	KVL	Kpl	m2	Kpl	m2	Kpl	m2	Kpl	m2
Vt, Kt, St	≥ 1500	250	282695	51	74207	24	27202	0	0
Yt	≥ 1500	67	66500	8	7592	4	2449	0	0
Vt, Kt	< 1500	16	5435	6	2991	4	1203	0	0
St, Yt	< 1500	289	120728	35	16264	21	4286	0	0
Vt, Kt, St, Yt	Ei tiedossa	47	29368	1	1628	0	0	0	0
Jk + pt	Kaikki	124	22077	3	395	0	0	0	0
Katu, Kaavatiet	Kaikki	3	3023	0	0	0	0	0	0
Yksityistiet	Kaikki	45	19229	4	1224	0	0	0	0
Ramppi	Kaikki	48	46989	1	1570	0	0	0	0
Luokittelemattomat tiet	Kaikki	4	1774	0	0	0	0	1	791
Yhteensä		893	597818	109	105871	53	35140	1	791

Vt, Kt, St	≥ 1500	Valta-, kanta- ja seututiet, joiden KVL ≥ 1500
Yt	≥ 1500	Yhdystiet, joiden KVL ≥ 1500
Vt, Kt	< 1500	Valta- ja kantatiet, joiden KVL < 1500
St, Yt	< 1500	Seutu- ja yhdystiet, joiden KVL < 1500
Vt, Kt, St, Yt	Ei tiedossa	Valta-, kanta-, seutu- ja yhdystiet, joiden KVL is ole tiedossa
Jk + pt	Kaikki	Kevyen liikenteen tiet
Katu, Kaavatiet	Kaikki	Kadut ja kaavatiet
Yksityistiet	Kaikki	Yksityistiet
Ramppi	Kaikki	Rampit
Luokittelemattomat tiet	Kaikki	Tiet, joiden toiminnallinen luokka ei ole tiedossa

1.5 Käsitteet ja määritelmät

1.5.1 Betonin korjaustyön työvaiheet

Betonirakenteen korjaustyön vaiheet on esitetty tarkemmin kuvassa 13.



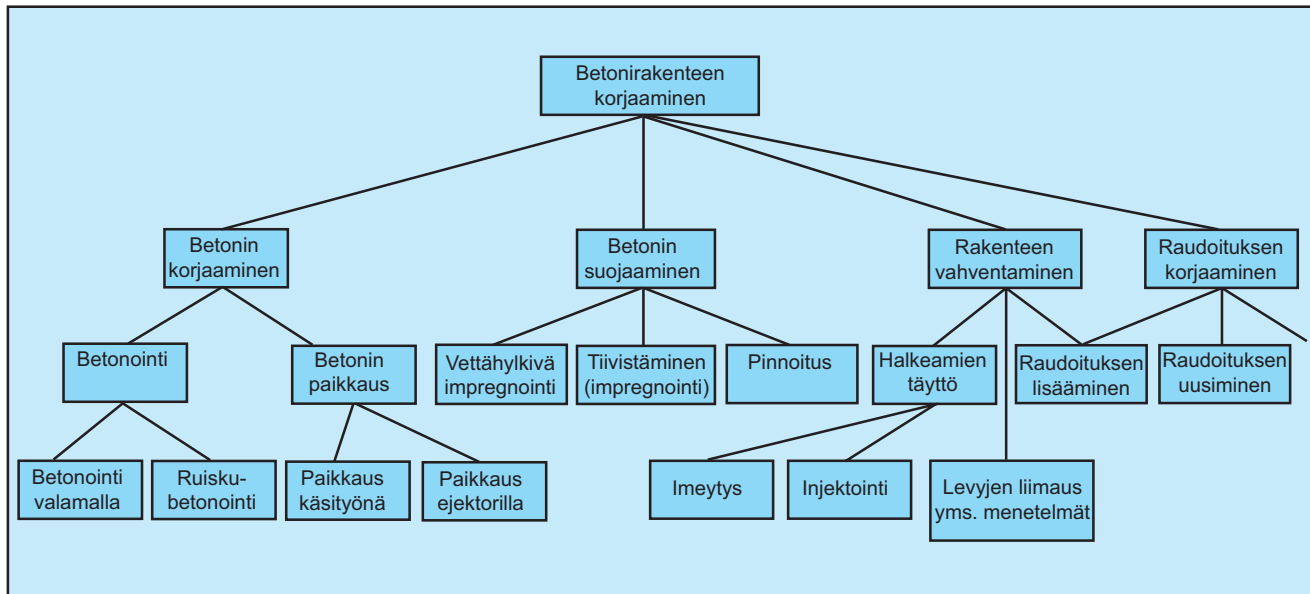
Kuva 13. Betonirakenteen korjaustyön vaiheet.

1.5.2 Termit ja määritelmät

Tämän ohjeen käsitejärjestelmät on esitetty kuvassa 14 ja liitteen 1 kuvissa ja termit liitteessä 1.

Esikäsittelyyn liittyvät termit on esitetty tarkemmin *SILKO-yleisohjeessa 1.203 /21/* ja polymeeritermit *SILKO-yleisohjeessa 1.202 /22/*.

Sillankorjaushankkeessa edetään eurooppalaisen standardin SFS-ENV 1504-9 mukaisissa vaiheissa (kuva 15).



Kuva 14. Betonirakenteen korjaamisen käsitteet.

1.5.3 Merkinnot

Ohjeen tekstissä on käytetty seuraavia lyhenteitä:

- Ohjeet B4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. RakMK B4 Betonirakenteet, ohjeet 2005
- SYL Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset
SYL 1 Yleinen osa
SYL 3 Betonirakenteet
- by 50 Betoninormit 2004 by 50, Suomen Betoniyhdistys ry

Standardi SFS-EN 197-1+A1 ryhmittelee sementit viiteen päälajiin:

- CEM I Portlandsementti
- CEM II Portlandseossementti
- CEM III Masuunikuonasementti
- CEM IV Pozzolaanisementti
- CEM V Seossementti.

Betoninormien mukaiset rasitusluokat:

- X0 ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä
- XC 1...4 karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio
- XD 1...3 muiden kloridien kuin meriveden aiheuttama korroosio
- XS 1...3 meriveden kloridien aiheuttama korroosio
- XF 1 ja XF 3 jäädytys-sulatusrasitus ilman jäänsulatusaineita
- XF 2 ja XF 4 jäädytys-sulatusrasitus, jäänsulatusaine- tai merivesirasitus
- XA 1...3 kemiallinen rasitus

Taulukko 3. Suomessa käytettävien sementtien merkintöjä (SFS-EN 197-1+A1).

Standardimerkintä	Merkinnän selite
CEM I 42,5 R	Portlandsementti / lujuusluokka 42,5 / varhaislujuus korkea
CEM I 52,5 R	Portlandsementti / lujuusluokka 52,5 / varhaislujuus korkea
CEM I 42,5 N (SR) ¹⁾	Sulfaatinkestävä portlandsementti / lujuusluokka 42,5 / varhaislujuus normaali
CEM II/A-LL 42,5 R	Portlandkalkkikivisementti / seosaineena (6–20 %) kalkkikivi (LL) / lujuusluokka 42,5 / varhaislujuus korkea
CEM II/A-M (S-LL) 42,5 N	Portlandseossementti / seosaineena (6–20 %) masuunikuona(S) ja kalkkikivi (LL) / lujuusluokka 42,5 / varhaislujuus normaali
CEM II/B-S 42,5 N	Portlandmasuunikuonasementti / seosaineena (21–35 %) masuunikuona (S) / lujuusluokka 42,5 / varhaislujuus normaali

¹⁾ (SR) ei ole standardimerkintä

Lisäaineet jaetaan päävaikutustensa mukaan seuraaviin ryhmiin:

- notkiste (N) ja tehonotkiste (N_t), joita käyttövasta riippuen kutsutaan myös nesteytteiksi (N_n)
- huokoste (L_n) ja muut pakkasenkestävyyttä parantavat aineet (L_m), kuten mikrohuokoste
- kiihdyte (K)
- hidaste (H)
- tiivistysaineet (T)
- injektointilaastin lisäaineet (I)
- muut lisäaineet (M)

Betonilta vaadittavia ominaisuuksia kuvataan seuraavasti:

- betonit / lujuusluokat K25...K100 (MN/m²/MPa); vastaavat merkinnät ovat EN 206-1:n mukaan C20/25...C85/100
- v/s = vesi-sementtisuhde eli tehollinen veden määrä / tehollinen sementin määrä.
Tehollinen vesimäärä sisältää sekoitusveden, kiviaineksen pintaveden ja lisäaineiden sisältämän veden.
- pakkasenkestävyysluokat P20, P30, P50 ja P70
- rasitusluokkaryhmät R1, R2, R3 ja R4.

Vuoteen 1975 asti betonia kuvattiin lujuusluokan lisäksi betoniluokilla A, B ja C; esimerkiksi AK500 (kp/cm²), BK300 tai CK150. Luokitus perustui silloin voimassa olleisiin *Rakennusmääräyksiin*.

Suunnittelija merkitsee piirustukseen tämän ohjeen taulukoiden 18 a ja b mukaiset tiedot esimerkiksi seuraavasti:

Reunapalkki, Ro22, R1, K45-1, P50, c_{nim} = 45 mm, impregnointi

Rakenneterästankojen merkintöjä (SFS 1200):

- A kuumavalssattu tila
B kylmämuokattu tila
H harjatanko
K kylmämuokattu harjatanko
S kylmämuokatun ohuttangon pintakuvioita
X erikoisteräs
W hitsattava teräslaji

Pyörötanko 12 S 235 JRG2

Nimi

Halkaisija

Rakenneteräs

Myötöraja N/mm²

Laatuluokka

Betoniterästankojen merkintöjä:

Harjatanko 25 A 500 HW SFS1215

Nimi

Halkaisija

Kuumavalssattu

Myötöraja N/mm²

Harjatanko

Hitsattava

Teräslaji

Betoniterästankojen merkintä, joka täsmentyy tulevissa eurooppalaisissa standardeissa (eurooppalainen tapa):

Harjatanko 25 B 500 DX

Nimi

Halkaisija

Betoniteräs

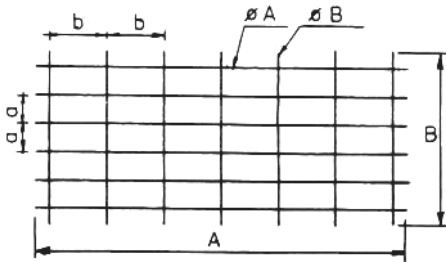
Myötöraja N/mm²

Teräsluokka *)

*) Kirjain tai kirjainyhdistelmä, joka yksilöi teräsluokan.

Verkkojen merkintä

Merkinnällä ilmaistaan betoniteräsverkon tankojen koot, jakovälit ja pituudet. Tyyppimerkintä $\emptyset A/\emptyset B - a/b - A/B$.



1.6 Henkilöstön pätevyys

Sillankorjausurakoissa vaaditaan seuraavat FISE Oy:n myöntämät henkilöpätevyydet:

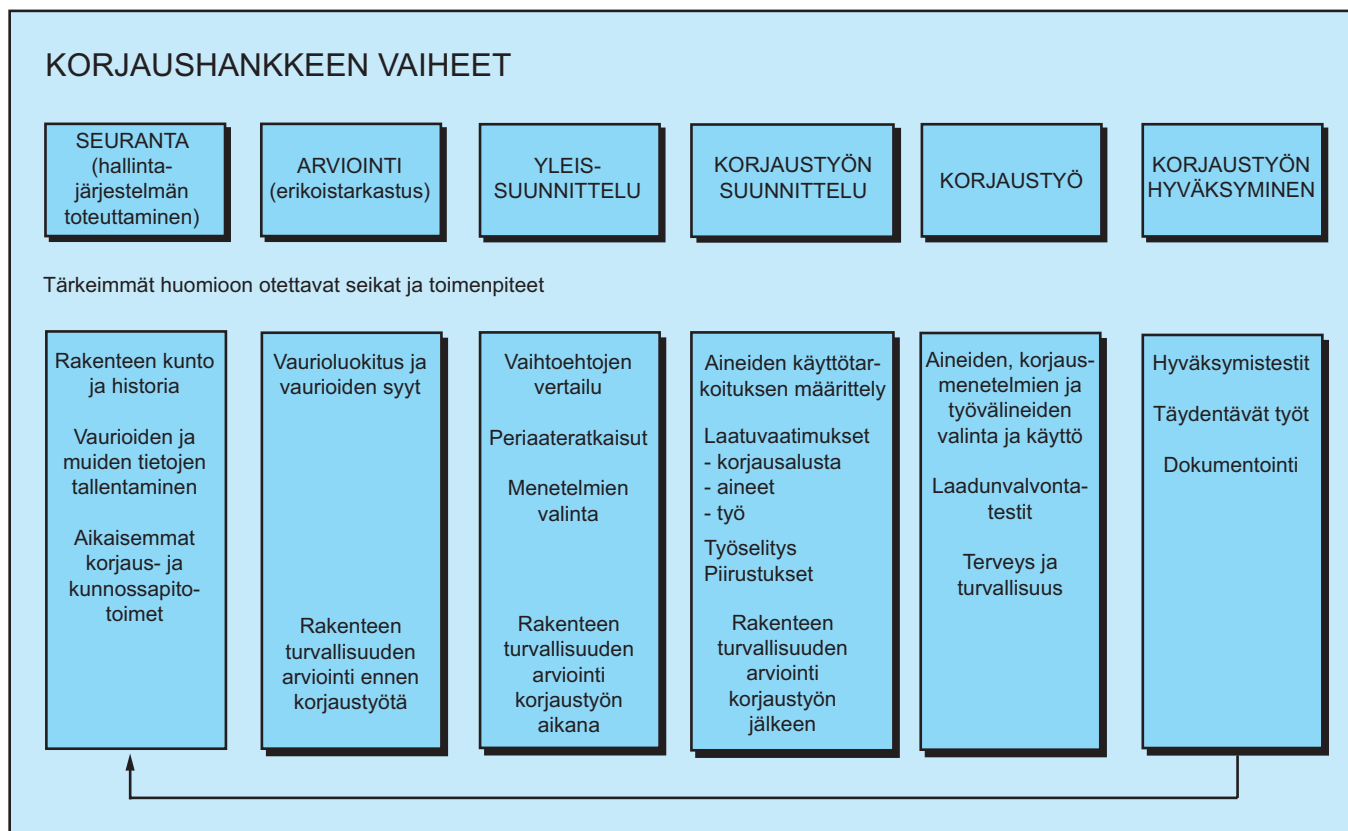
- Erikoistarkastuksen tekijällä on oltava Betonsiltojen a-vaativuusluokan kuntotutkijan pätevyys ja Yleistarkastajan pätevyys.
- Korjaussuunnitelman laatijalla on oltava Betonsiltojen A-vaativuusluokan korjaussuunnittelijan pätevyys.
- Betonirakenteisiin rakenteellisia muutoksia ja mitoitusta tekevällä on oltava AA-vaativuusluokan betonirakenteiden suunnittelijan pätevyys.

Korjaustyön betonityönjohtajalla on oltava I-luokan betonityönjohtajan pätevyys tai vähintään rakennusmestarin koulutus ja Betonirakenteiden korjaustyönjohtajan pätevyys. Pätevöityneet henkilöt on esitetty internetissä FISE Oy:n sivuilla www.fise.fi.

2. BETONIRAKENTEEN KORJAUSTYÖN SUUNNITTELU

2.1 Korjaushankkeen vaiheet

Sillankorjaushankkeessa edetään eurooppalaisen standardin SFS-ENV 1504-9 mukaisissa vaiheissa (kuva 15).



Kuva 15. Korjaushankkeen vaiheet eurooppalaisen standardin SFS-ENV1504-9 mukaan.

Korjaushankkeessa erotetaan seuraavan vaiheet:

1. Rakenteen kunto arvioidaan sopivin välein ja tulokset tallennetaan hallintajärjestelmään.
2. Kun vaurioita havaitaan, tehdään sillan erikoistarkastus, jossa vaurioiden laajuus ja niiden syyt selvitetään. Yleensä tarvitaan laboratoriotestejä ja sillan kantavuus selvitetään tarvittaessa.
3. Sopivien korjausperiaatteiden valinta on korjaushankkeen suunnittelun tärkein osa. Kunkin korjaustyön periaateratkaisu tehdään vaihtoehtoja vertaillen.
4. Kaikille valituille korjausperiaatteille määritetään sopivat korjausmenetelmät laatuvaatimuksineen. Materiaalintoimittajilta tarkistetaan, että heidän tuotteensa ovat määritysten mukaisia ja täyttävät vaatimukset.
5. Valittavan urakoitsijan on oltava korjaustöihin perehtynyt ja päteväksi tunnustettu.
6. Urakoitsijalla on oltava toimiva laadunhallintajärjestelmä, jolla varmistetaan määritettyjen laatuvaatimusten täyttyminen ja oikeiden korjausmenetelmien käyttö. Korjaustyötä koskevat dokumentit tallennetaan sillan laaturaporttiin.

2.2 Betonirakenteen kunnon arviointi

Betonirakenteen vaurioista, niiden syistä ja rakenteen kyvystä toimia tarkoitetulla tavalla pitää tehdä arviointi.

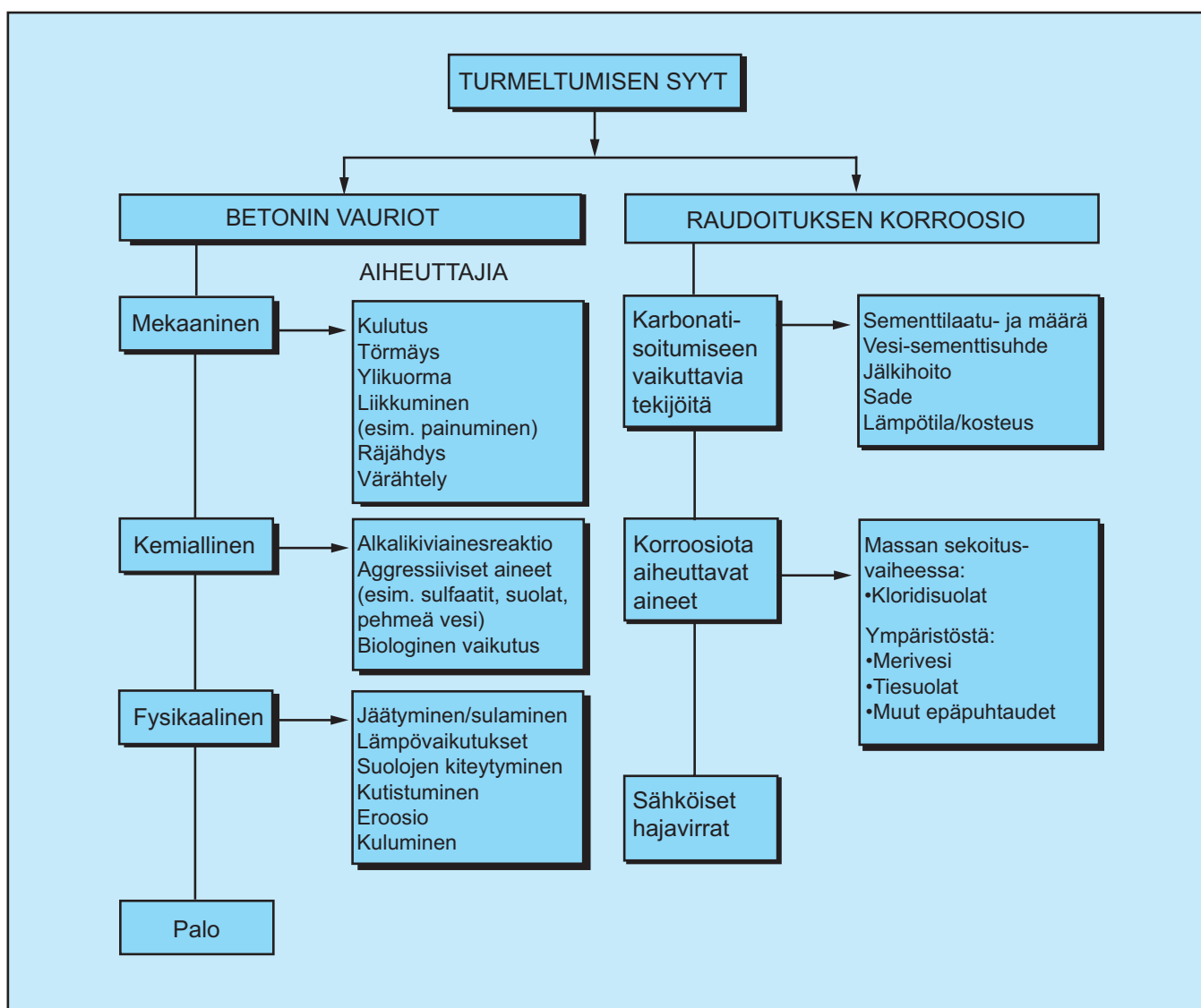
Arviointiin pitää sisältyä ainakin

- olemassa olevan betonirakenteen nykyinen kunto, mukaan lukien näkymättömissä olevat ja mahdolliset vauriot
- alkuperäiset suunnittelulähtökohdat
- ympäristöolosuhteet, mukaan lukien altistuminen saasteiden vaikutukselle
- rakentamisen aikaiset olosuhteet
- betonirakenteen rakentamisen jälkeiset vaiheet (historia)

- käyttöolosuhteet (esimerkiksi kuormitus)
- betonirakenteen tulevalle käytölle asetettavat vaatimukset.

Vaurioiden syitä on esitetty kuvassa 16.

Vaurioiden laajuus ja todennäköinen lisääntymisnopeus pitää myös selvittää. On tehtävä arvio siitä, milloin betonirakenne tai rakenneosa tulisi ilman suojaus- tai korjaustoimenpiteitä suunnitellun käyttöikänsä loppuun.



Kuva 16. Betonirakenteiden vaurioiden tavalliset syyt standardin SFS-EN 1504-9 mukaan.

2.3 Periaateratkaisu

Korjaushankkeen tärkein vaihe on periaateratkaisun teko, jossa työlle määritetään sellaiset toteutamisratkaisut, työmenetelmät ja materiaalit, joilla voidaan saavuttaa paras mahdollinen lopputulos.

Periaateratkaisulla tarkoitetaan betonin korjaustoimenpiteen valintaa seuraavista vaihtoehdoista:

- Ei tehdä mitään toistaiseksi. Riskit on selvitettävä.
- Arvioidaan uudelleen rakenteen kantokyky, mikä voi johtaa betonirakenteen käytön rajoitukseen.
- Estetään tai vähennetään lisävauriot rakennetta parantamatta.
- Parannetaan, vahvennetaan ja kunnostetaan betonirakenne osittain tai kokonaan.
- Rakennetaan betonirakenne kokonaan tai osittain uudelleen.
- Puretaan koko betonirakenne tai osia siitä.

Vaihtoehtojen valinnassa pitää ottaa huomioon seuraavat seikat:

- a) betonirakenteen käyttötarkoitus ja suunnittelu-käyttöikä sekä pinnoitteiden ja muiden korjausmenetelmien käyttöikä
- b) vaadittavat käyttöominaisuudet kuten pakka-ksenkestävyys, lujuus ja tiiviys,
- c) suojaus- tai korjaustöiden todennäköinen pitkäaikaiskestävyys,
- d) mahdollisuudet lisäsuojaukseen, lisäkorjaukseen ja kunnon seurantaan,
- e) betonirakenteen suunnitellun käyttöiän aikana eteen tulevien korjauskertojen hyväksyttävä määrä ja kustannukset,
- f) vaihtoehtojen suojaus- tai korjaustoimenpiteiden kustannukset ja rahoitus, mukaan lukien tulevat käyttö- ja kunnossapitokustannukset,
- g) korjausalustan ominaisuudet ja mahdolliset esikäsitteilymenetelmät,
- h) suojatun tai korjatun betonirakenteen ulkonäkö.

Suunnittelija selvittää kussakin tapauksessa kysymykseen tulevat vaihtoehdot ja esittelee ne tilaajalle, joka tekee päätöksen jatkotoimista.

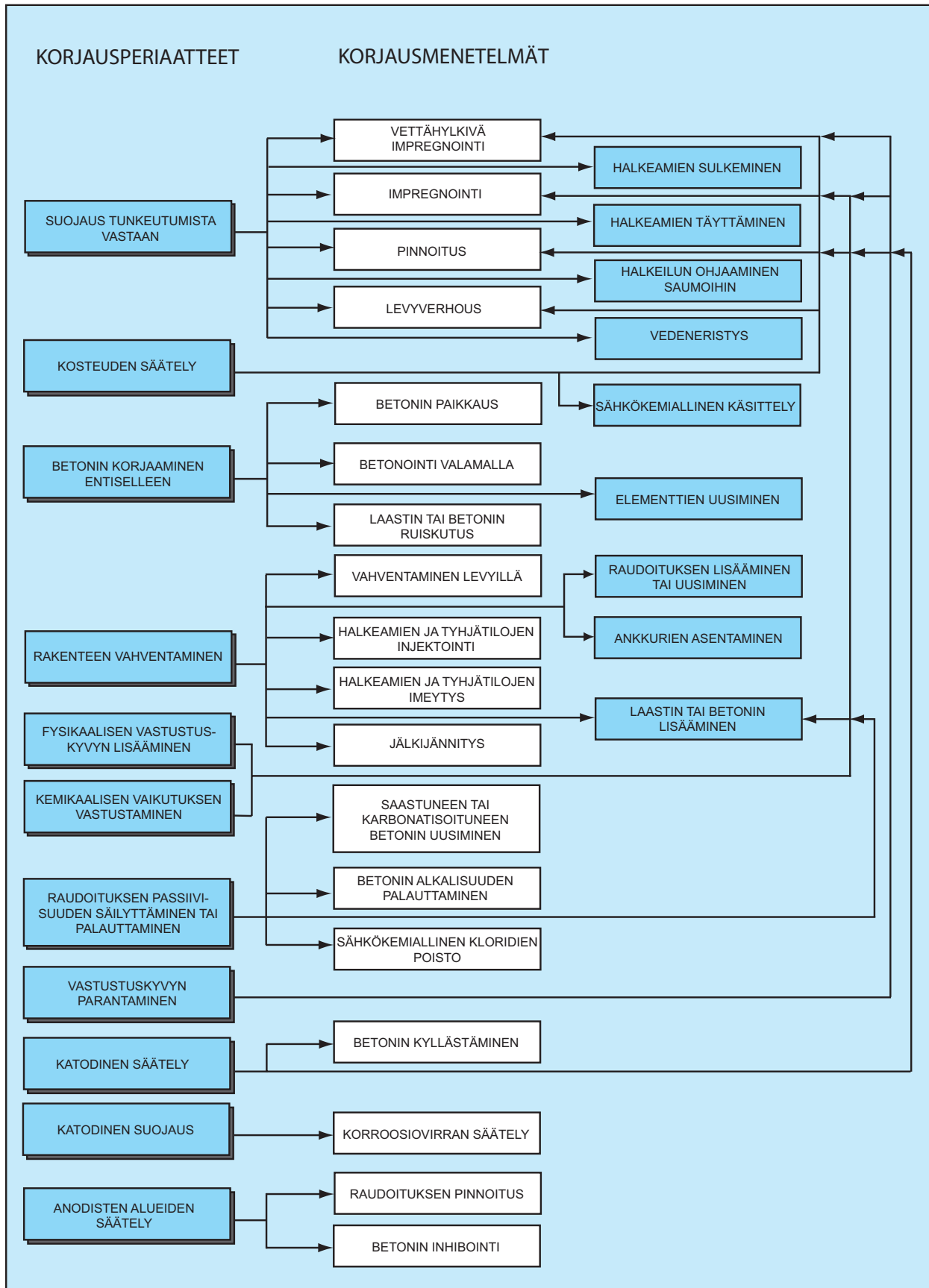
Betonin korjausperiaatteet ovat eurooppalaisen standardin SFS-ENV 1504-9 mukaan seuraavat:

- Periaate 1 Pinnan tiivistäminen. Vähentää tai estää haitallisten aineiden, esim. veden, muiden nesteiden, höyryn, kaasujen, kemikaalien ja biologisten aineiden tunkeutumista betoniin.
- Periaate 2 Kosteuden säätely. Betonin kosteuspitoisuuden säätäminen ja sen pitäminen määrätyissä rajoissa.
- Periaate 3 Betonin korjaus. Betonirakenteen alkuperäisen muodon ja toiminnan palauttaminen. Betonirakenteen korjaaminen entiselleen vaihtamalla osa siitä.
- Periaate 4 Rakenteen vahventaminen. Betonisen rakenneosan kantavuuden lisääminen tai alkuperäisen kantokyvyn palauttaminen.
- Periaate 5 Vastustuskyvyn lisääminen fysikaalisia tai mekaanisia rasituksia vastaan.
- Periaate 6 Kemikaalien kestävyys. Betonipinnan vastustuskyvyn lisääminen kemiallisten aineiden aiheuttamaa turmeltumista vastaan.
- Periaate 7 Passiivisuuden säilyttäminen tai palauttaminen. Sellaisten kemiallisten olosuhteiden luominen, missä raudoituksen pinnan passiivikalvo säilyy tai palautuu.
- Periaate 8 Betonin ominaisvastuksen parantaminen.
- Periaate 9 Katodinen säätely. Sellaisten olosuhteiden luominen, jossa raudoituksen katodiset alueet eivät voi osallistua anodireaktioon.
- Periaate 10 Katodinen suojaus.
- Periaate 11 Anodisten alueiden säätely. Sellaisten olosuhteiden luominen, jossa raudoituksen anodiset alueet eivät voi osallistua anodireaktioon.

Periaatteet 1–6 kattavat betonin vauriot ja periaatteet 7–11 kattavat raudoituksen korroosiosta aiheutuneet vauriot (kuva17).

2.4 Korjausmenetelmän valinta

Eurooppalaisen standardin SFS-ENV1504-9 mukaiset teräsbetonirakenteiden korjausperiaatteet ja korjausmenetelmät on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Betonirakenteiden korjausperiaatteet ja korjausmenetelmät.

2.5 Betonirakenteen korjaussuunnitelma

Suunnittelua varten vanhoista rakenteista on hankittava riittävästi tietoja ja vaurioiden syyt on selvitettävä. Betonitöiden kannalta tärkeitä tietoja ovat betonin pakkasrapautuminen, karbonatisoituminen ja kloridipitoisuus sekä raudituksen korroosioaste. Näiden tietojen merkitys on korjaustyön onnistumiselle ratkaiseva, koska niiden avulla määritetään vanhojen rakenteiden purkamistarve.

Jos sillan reunapalkit tai muut betonirakenteet joudutaan uusimaan, on suunnittelussa lähdettävä rakenteiden säilyvyyteen vaikuttavista tekijöistä. Suunnittelija esittää betonin laatuvaatimukset sillan rakenneosittain eri rasitusluokkaryhmissä. Vaatimuksia asetetaan rasitusluokkaryhmän lisäksi puristuslujuudelle, P-luvulle, betonipeitteen nimellisarvolle, suunnittelukäyttöiälle, betonipintojen suojaukselle ja muottikankaan käytölle. Muottikankaan tulee olla Tiehallinnon käyttöön hyväksymä.

Korjaussuunnitelmaa laadittaessa on selvitettävä sekä betonimassalta että betonilta vaadittavat ominaisuudet. Korjaustyön kannalta tärkeimpiä betonimassan ominaisuuksia ovat yleensä oikea notkeus ja nopea kovettuminen. Valmiilta rakenteelta vaaditaan ainakin hyvää pakkasenkestävyyttä ja tiiviyttä sekä riittävää lujuutta. Suunnittelun pitää perustua koko rakenteen käyttöikätaivoitteeseen, koska ei ole taloudellista tehdä vanhojen rakenteiden kuntoon nähden epäsuhteessa olevaa korjausta. Korjaussuunnitelmaa laadittaessa on paneuduttava myös työtekniillisiin kysymyksiin, joita ovat tapauksittain massan hyvä muokkautuvuus, nopea kovettuminen, kutistumattomuus ja tiivistyvyys.

Suunnittelija laatii betonirakenteiden korjaussuunnitelman ja tarvittavat rakennepiirustukset. Raudoit-

teita suojaavaa betonipeitettä voidaan purkaa ilman rakennesuunnittelijan tekemää kantavuuslaskelmaa vain pieniltä alueilta. Rakennesuunnittelutarve rakenneosittain on esitetty verkkojulkaisussa *Betonipinnan poistamisohjeita siltojen korjauksissa* /23/. Suunnitelmaa laadittaessa otetaan huomioon työn aiheuttamat ympäristöhaitat ja työturvallisuus. Laatuvaatimukset asetetaan korjausalustalle, korjausaineille ja työille. Korjaussuunnitelmassa esitetään menetelmät laadun mittaamiseksi työn aikana ja vaatimustenmukaisuuskokeet. Korjaussuunnitelman on autettava urakoitsijaa pääsemään hyvään lopputulokseen; suunnitelmassa ei saa asettaa urakoitsijalle kohtuuttomia vaatimuksia.

Korjaussuunnitelmasta pitää selvittää

- hanketiedot
- laatuvaatimukset
- suunnittelukäyttöikä
- työvaihevaatimukset
- ympäristönsuojeluvaatimukset (melu, puhallusjätteen talteenotto, pöly ja liikenne)
- jätteenkäsittelyvaatimukset
- olosuhdevaatimukset
- muut hankekohtaiset tiedot.

Suunnitelmaan liitetään työkohteen määrittelyä helpottavat piirustukset.

SILKO-ohjeiston käyttöä korjaustyön vaiheissa on selostettu tarkemmin *SILKO-yleisohjeen 1.101* /24/ kohdassa 2.

Betonirakenteiden korjaussuunnitelma liitetään sillan laaturaporttiin.

2.6 Betonityösuunnitelma

Urakoitsija laatii ennen työn aloittamista betonityösuunnitelman (tekninen työsuunnitelma) SYL 3:n /1/ kohdan 3.4.4.2 mukaan. Betonityösuunnitelmassa luetellaan käytettävät korjausaineet ja korjausmenetelmät ja esitetään lisäksi

- tiedot betonointikohteesta
- mitä resursseja käytetään
- mitkä ovat työkapasiteetit, työjärjestys ja työn aikataulu
- miten työ jaetaan työalueisiin

- betonoinnin valmistelu ja betonointi
- pintojen viimeistely, jälkihoito ja suojaus
- toimenpiteet betonin kovettumisen aikana
- korjaus- ja viimeistelytyöt
- itsetiivistyvän betonin erityisvaatimukset.

Yleensä työalueen muodostaa samalla tavalla korjattavat rakenteet, kuten reunapalkkien uusiminen, päällysrakenteen alapinnan ruiskubetonointi tai reunapalkkien halkeamien injektointi.

Valmisbetonia käytettäessä on varmistettava tarvittavan betonimassan saanti. Jos betonia tarvitaan pieni määrä, on edullisempaa valmistaa betonimassa työmaalla kuivatuohteesta. Tällöin massa voidaan valmistaa tarkalleen halutun suuruisina annoksina ja oikeaan aikaan.

Myös työturvallisuutta ja ympäristönsuojelua koskevat toimenpiteet esitetään betonityösuunnitelmassa, ellei niistä ole tehty erillisiä suunnitelmia.

Betonityösuunnitelmaan liitetään muun muassa terveydelle vaarallisten aineiden suomenkieliset käyttöohjeet, tuoteselosteet ja käyttöturvallisuustiedotteet.

Betonityösuunnitelma esitetään tilaajalle viimeistään kaksi viikkoa ennen työn aloittamista.

Jos betonityösuunnitelmasta joudutaan poikkeamaan, laaditaan muutossuunnitelma, joka toimitetaan tilaajan edustajalle ennen työhön ryhtymistä. Jos hyväksytystä suunnitelmasta poiketaan työn aikana, siitä tehdään poikkeamaraportti.

Betonityösuunnitelman tiedot siirretään sillan laatu- raporttiin kohdan 11.5 mukaisesti.

2.7 Laatusuunnitelma

Laatu varmistetaan korjausrakentamisessa uudisrakentamisen tapaan. Pienehköjä sillan korjaustöitä varten on kehitetty vakiotuotteita, jolloin ennakkokokeita ei tarvita. Korjaustöiden laadunvarmistus perustuu betonoinnin aikana tehtäviin kokeisiin ja vaatimustenmukaisuuskokeisiin.

Betonirakenteiden korjaustöiden laadunvarmistus tehdään SYL 3:n /1/ kohdan 3.1.6 mukaan.

Urakoitsija laatii työkohtaisen laatusuunnitelman, joka jakaantuu kolmeen osaan seuraavasti:

1. Yleiset tiedot
 - hankkeen laadunvalvontaorganisaatio: henkilöt, vastuu, toimivalta ja tehtävät
 - laaduntarkastuksessa käytettävä kalusto.
2. Työnaikaiset tarkastukset ja mittaukset rakeneosittain
 - kloridipitoisuuden mittaus
 - karbonatisoitumissyvyyden mittaus
 - esikäsitellyn (vesipiikkaus, suihkupuhdistus jne.) tarkastus
 - olosuhdemittaukset
 - tartuntavetomittaukset
 - koekappaleiden valmistus puristuslujuuden määrittämistä varten

- kimmo- ja saramittaukset
- silmämääräiset havainnot
- kaluston kunnon tarkistus ja varakaluston saatavuuden varmistus
- mittaus- ja tarkastusvälineiden kalibrointi ja käytönaikainen säätö
- laadunohjaus yllämainittujen toimien perusteella.

3. Vaatimustenmukaisuuden osoittaminen
 - betonointipöytäkirjat, tartunta- ja lujuusmittausten pöytäkirjat
 - poikkeamaraportit
 - korjaustoimenpiteet
 - uusintatarkastus.

Betonilta samanaikaisesti vaadittavat ominaisuudet edellyttävät hyvää materiaalien tuntemusta, koska lisäaineet eivät aina sovi keskenään yhteen. Ellei käytettävästä massasta ole kokemuksia, tehdään ennakkokokeita.

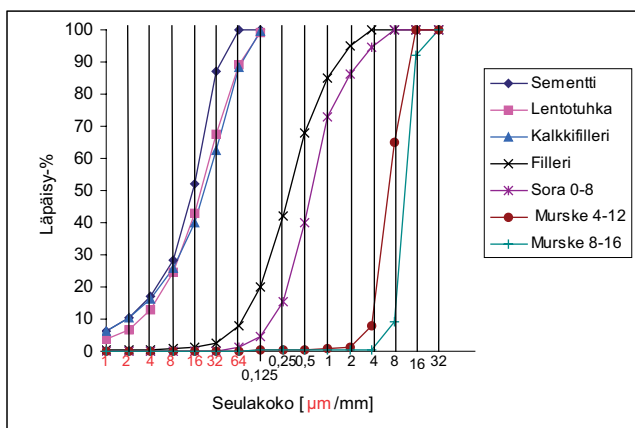
Koska laatu syntyy tekemällä, on työntekijöiden ammattitaito ja huolellisuus harkinnan mukaan varmistettava mallityöllä.

3. BETONIN OSA-AINEIDEN LAATUVAATIMUKSET

3.1 Kiviainekset

Kiviaines voidaan määritellä betonin rakeiseksi, mineraaliseksi osa-aineeksi, joka sementtiliiman yhteenliittämänä muodostaa betonin.

Yleensä betonin tilavuudesta 60–80 % on kiviainesta, joten sillä on keskeinen merkitys sekä tuoreen että kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Kiviaineksena käytetään yleisimmin luonnonkiviainesta joko sellaisenaan tai nykyisin yhä useammin murskattuna. Kiviaineksena voidaan käyttää myös kevytsoraa. Itsetiivistyvän betonin valmistuksessa hienon kiviaineksen osuus on ratkaiseva. Tällöin sopivan hienon rakeisuuden saavuttamiseksi luonnonfilleri ei ole riittävän hienojakoista, joten yleisesti käytetään lisähienoaineksena joko lentotuhkaa, masuunikuonaa tai kalkkifilleriä, joiden hienoudet ovat lähes sementin kokoluokkaa (kuva 18).

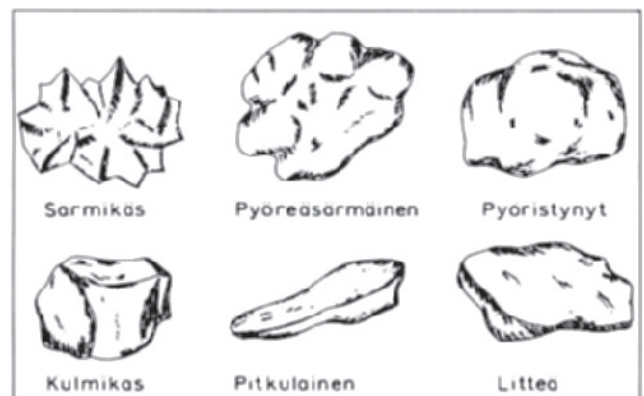


Kuva 18. Sementin, keinofillereiden ja luonnon kiviainesten tyypillisiä rakeisuuskäyriä.

Betonin kiviaineksen laatuvaatimukset ja kiviaineksen laadunvalvonnalle asetettavat vaatimukset on esitetty julkaisussa by43 Betonin kiviainekset 2007/25/. Ruiskubetonissa ei pitäisi käyttää murskattua kiviainesta. Betonin valmistamiseen käytetään standardin SFS-EN 12620 mukaista kiviainesta. Kiviaineksen pitää olla CE-merkittyä ja tarkastettua. Jos kiviaines ei ole CE-merkittyä, betonin valmistajan on huolehdittava ympäristöministeriön hyväksymän tarkastuksen suorittajan valvonassa siitä, että edellä mainittuihin standardeihin sisältyvät valmistajan laadunvalvonnan testaukset on tehty.

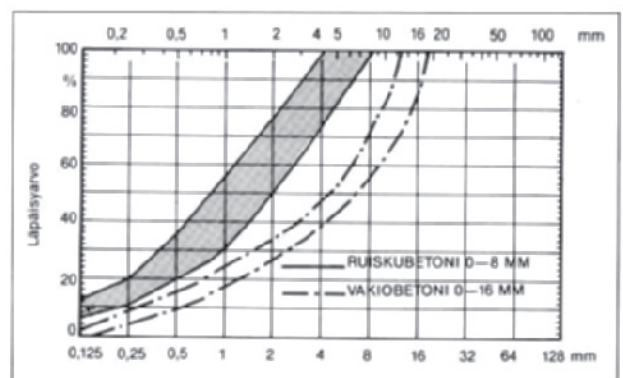
Gneissin ja graniitin puristuslujuus on 160–280 MN/m², joten suomalaisen kiviaineksen lujuus on suu-

ri betonin lujuuteen verrattuna. Kiviainesrakeiden raemuoto ja pinnan laatu (kuva 19) vaikuttavat betonimassan muokkautuvuuteen ja tarvittavaan lisähuokostusaineen määrään. Muodoltaan pyöreät ja sileäpintaisten rakeet antavat betonimassalle paremman muokkautuvuuden ja vaativat vähemmän sementtiliimaa. Kovettuneessa betonissa on sementtikiven ja kiviainesrakeiden välinen tartunta parempi, jos rakeiden pinta on karkea ja rakeet särmikkäitä. Betonitoissa käytettyjen kiviainesten tiheys on 2600–3000 kg/m³. Kalkkikiven mahdollisen aggressiivisuuden vuoksi sen käyttöä karkeana kiviaineksena sulfaatti- ja pakkassuolarasiteissa betoneissa on syytä välttää.



Kuva 19. Kiviainesrakeiden pyöristyneisyys ja muoto.

Kiviainesseoksen rakeisuudella on merkittävä vaikutus betonimassan ominaisuuksiin. Koska sillankorjaustöissä ei aina tehdä ennakkokokeita, tulisi kiviainesseoksen rakeisuuskäyrän olla jatkuva ja mieluummin sellainen, jonka käytöstä on kokemusta (kuva 20).



Kuva 20. Vakiobetonin ja ruiskubetonin kiviainesten rakeisuuksien ohjealueet.

Kiviainesseoksen suurin raekoko on valittava niin, että se sopii rakenteen paksuuteen ja raudoitukseen. Valettavan betonimassan kiviainesseoksen suurin raekoko saa olla enintään 40 % valun pienimmästä paksuudesta tai 80 % (4/5 osaa) raudoitustankojen pienimmästä vaakasuorasta vapaasta välistä. Yleisimmin käytetty suurin raekoko on 16 mm, mutta on pyrittävä käyttämään mahdollisimman suurta raekokoa.

Betonimassaan käytettävän kiviaineksen vesimäärä on selvitettävä, koska betonin ominaisuudet riippuvat käytetystä vesimäärästä. Tavallisesti kosteus on 2–5 %. Hienoimmissa lajitteissa on enemmän kosteutta.

Kiviaineksen vedenabsorptio tulee määrittää oikean vesi-sementtisuhteen määrittämiseksi. Suoma-

laisten kiviainesten absorptio vaihtelee yleensä välillä 0,3–0,9 %.

Kiviaineksen kloridipitoisuus ei saa ylittää 0,02 painoprosenttia vesiliukoisena kloridina (Cl⁻) ilmaistuna.

Kevytsorabetonia käytetään sillankorjaustöissä täytevaluissa ja muotoiltaessa kansilaatan pintaa sivukaltevuusvaatimuksia vastaavaksi, kun sillan oman painon lisääntyminen johtaisi muuten kapasiteettiongelmia. Sillankorjaustöissä käytetään tiivistä kevytsorabetonia, jossa on kiviaineksena kevytsoran lisäksi luonnonkiviaineksia. Tiiviin kevytsorabetonin tiheys on 25–30 % alhaisempi kuin tavanomaisen betonin ja sen lujuusluokka voi olla korkeintaan K30.

3.2 Sementti ja muut sideaineet

3.2.1 Rakennussementti

Portlandsementin valmistuksessa käytettävät pääraaka-aineet ovat kalkkikivi ja pii-, alumiini- ja rautaoksideja sisältävät mineraalit, joista sementin poltossa syntyvät taulukon 4 mukaiset klinkkerimineraalit.

Taulukko 4. Portlandsementin mineraloginen koostumus.

Klinkkerimineraali	Kemiallinen koostumus	Osuus (%)
Trikalsiumsilikaatti (C ₃ S)	3CaO·SiO ₂	65—45
Dikalsiumsilikaatti (C ₂ S)	2CaO·SiO ₂	30—10
Trikalsiumaluminaatti (C ₃ A)	3CaO·Al ₂ O ₃	15—5
Tetrakalsiumaluminaattiferriitti (C ₄ AF)	4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃	12—5

Klinkkerimineraalien lisäksi portlandsementti sisältää muitakin sementin ominaisuuksiin vaikuttavia yhdisteitä, kuten magnesiumoksidia, natrium- ja kaliumoksideja, vapaata kalkkia sekä kipsiä. Portlandsementin tärkeimmät klinkkerimineraalit

ovat tri- ja dikalsiumsilikaatit, joiden suhteella säädelään sementin lujuuden- ja lämmönkehitystä. Korkea suhdeluku takaa nopean lujuudenkasvun ja nopean lämmönkehityksen. Tri- ja dikalsiumsilikaatit vastaavat lähes kokonaan sementin lujuudesta. Trikalsiumsilikaatti on hyvä alkulujuuden tuottaja ja dikalsiumsilikaatti vastaa loppulujuudesta. Trikalsiumsilikaatti on kohtuullinen lämmöntuottaja. Sitä vastoin dikalsiumsilikaatin lämmöntuotto ja reaktiivisuus ovat alhaisia, minkä vuoksi se soveltuu erinomaisesti alhaislämpösementteihin. Molemmat komponentit ovat hyviä sementin sulfaatinkestävyyden kannalta.

Tri- ja dikalsiumsilikaattien hydratoituessa syntyy normaaliolosuhteissa stabiileja kalsiumsilikaattihydraatteja ja kalsiumhydroksidia. Trikalsiumaluminaatin hydrataatio on erittäin monimutkainen ilmiö, johon alkuvaiheessa osallistuu myös kipsi. Kipsi reagoi trikalsiumaluminaatin ja veden kanssa muodostaen C₃A-rakeiden pinnalle ettringiittiä, mikä alkuvaiheessa estää C₃A:n liian nopean reagoinnin veden kanssa. Tämä reaktio on välttämätön, sillä muutoin C₃A:n nopea hydrataatio estäisi betonimassan plastisen vaiheen syntymisen. Kun sementtiin lisätty kaikki kipsi on reagoinut C₃A:n kanssa ettringiitiksi, ettringiitti reagoi C₃A:n kanssa muodostaen monosulfaattia. Tällöin vielä vapaana oleva C₃A alkaa hydratoitua suoraan veden kanssa synnyttäen aluksi epästabiileja kalsiumaluminaattihydraatteja,

jotka myöhemmin stabiloituvat. Tämä alkuvaiheessa syntynyt ettringiitti on harmiton niin kauan kun se syntyy betonin ollessa plastisessa tilassa. Jos sitä vastoin sen syntyminen viivästyy hydrataatioprosessin häiriöiden, korkean lämpötilan tai lämpökäsittelyn vuoksi, aiheutuu vaurioita, jotka alentavat lujuutta ja heikentävät säilyvyyttä.

Sulfaatinkestävissä sementeissä trikalsiumalumiinaattipitoisuuden (C_3A) pitää olla alhainen, jotta sen hydrataatiotuotteiden ja sulfaatin väliset tilavuudeltaan alkuperäisyhdisteiden tilavuutta moninkertaisesti suuremmat jatkoyhdisteet eivät vahingoittaisi kovettunutta betonia.

Sementin hydratoitumisen edellyttämä vedentarve määräytyy sementin koostumuksesta. Tavallisen portlandsementtikoostumuksen kemiallisesti sitoutuvan veden tarve on teoreettisesti noin 25 % sementin määrästä. Täydellinen hydratoituminen edellyttää lisäksi geelivettä, jolloin veden tarve nousee noin 36–40 %:iin sementin määrästä.

Hydrataatio alkaa sementtipartikkeleiden pinnalta. Mitä hienorakeisempaa sementti on, sitä nopeammin kokonaishydrataatio tapahtuu. Tämä vaikuttaa myös lujuudenkehityksen nopeuteen. Kun sementti on karkearakeista, lujuus lisääntyy vielä vuosienkin kuluttua kunhan hydrataatiolle otolliset olosuhteet vallitsevat.

Sillankorjaustöissä käytettävien tavallisten sementtien tulee olla CE-merkittyjä ja standardin SFS-EN 197-1+A1 mukaisia.

Sementtien standardinmukaisissa merkinnöissä ilmoitetaan (taulukot 3 ja 5)

- sementin päälaaji, esimerkiksi CEM I, CEM II tai CEM III
- sementeissä CEM II/A-M ja CEM II/B-M muut pääosa-aineet kuin klinkkeri; esimerkiksi granuloitu masuunikuona S, silika D, kalkkikivi (TOC alle 0,20 %) LL ja silikapitoinen lentotuhka V
- sementin standardilujuusluokka, 32,5, 42,5 ja 52,5
- sementin varhaislujuusluokka; normaali varhaislujuus N tai korkea varhaislujuus R.

Sulfaatinkestävä sementti merkitään Suomessa tunnuksella (SR).

Sementin hienous arvioidaan sen ominaispinta-alan mukaan. Mitä hienommaksi sementti jauhetaan, sitä enemmän sillä on reaktiopinta-alaa ja sitä nopeampi on sen lujuuden kehitys.

Taulukko 5. Suomessa käytettävien sementtien hienouksien ja sitoutumisaikojen suuruusluokkia (vuonna 2006).

Sementin tuotenimi	Standardimerkintä	Hienous (m^2/kg)	Sitoutumisaika (min) +20 °C:ssa
Perussementti	CEM II/B-S 42,5 N	400	170
Yleissementti	CEM II/A-M (S-LL) 42,5 N	390	160
Rapidsementti	CEM II/A-LL 42,5 R	470	150
Pikaseimentti	CEM I 52,5 R	570	150
SR-sementti	CEM I 42,5 N (SR)	390	190
Megasementti	CEM I 42,5 R	410	210
Valkosementti	CEM I 52,5 R	390	110

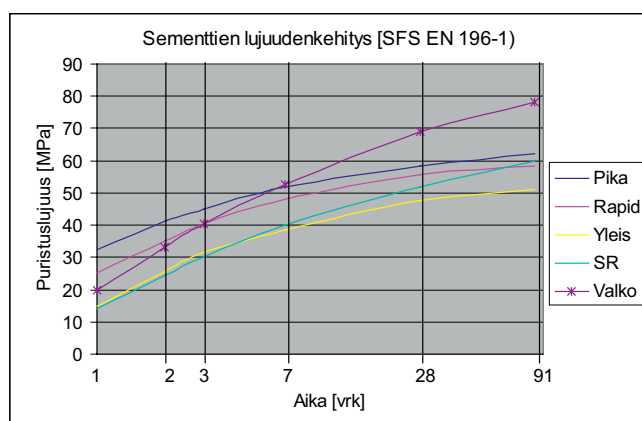
Sementin sitoutumisaika riippuu mm. klinkkerin koostumuksesta, seosaineista ja sementin hienoudesta. Sitoutumisaika riippuu myös lämpötilasta

siten, että reaktionopeus kaksinkertaistuu eli sitoutumisaika lyhenee puoleen, kun lämpötila nousee 10 °C (Taulukko 6).

Taulukko 6. Sementtistandardi SFS-EN 197-1+A1 mukaiset varhais- ja standardilujuusvaatimukset ja sitoutumisaikavaatimukset sementeille.

Lujuus- luokka	Puristuslujuus MPa (EN 196-1)			Sitoutumisajan alku (EN 196-3) min	
	Varhaislujuus		Standardilujuus		
	2 vrk	7 vrk	28 vrk		
32,5 N	-	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75
32,5 R	≥ 10,0	-			
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60
42,5 R	≥ 20,0	-			
52,5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45
52,5 R	≥ 30,0	-			

Sementtien lujuudenkehitys on riippuvainen sekä klinkkerimineraalien keskinäisistä suhteista että sementin hienoudesta. Kuvassa 21 on esitetty viiden erilaisen sementin lujuudenkehitys.

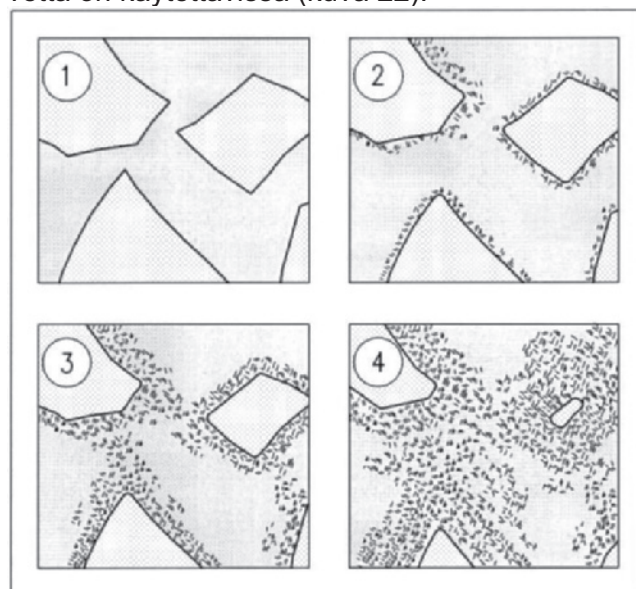


Kuva 21 Sementtien puristuslujuuden kehitys +20 °C:ssa (vuonna 2005).

Jos korjaustyön aikataulu on kireä, pyritään käyttämään mahdollisimman nopean lujuudenkehityksen omaavia sementtilaatuja. Korjaustöissä on kuitenkin otettava huomioon nopeiden sementtien vaatima sekoitusvesimäärän kasvu. Tarpeettoman suuren vesimäärän välttämiseksi nopeita sementtejä käytettäessä joudutaan työstettävyyden saavuttamiseksi yleensä käyttämään notkistavia ja huokostavia lisäaineita. Valkosementtiä käytettäessä lujuudenkehitys on alkuvaiheessa nopeita sementtejä hitaampaa. Valkosementtiä käytetään väribetoneita valmistettaessa.

Kovettuminen eli varsinaiset lujittumisreaktiot alkavat sitoutumisen päätyttyä eli noin 4–6 tunnin kuluttua veden lisäyksestä ja jatkuvat käytännössä niin

kauan kuin hydratoitumiseen osallistumiskykyistä vettä on käytettävissä (kuva 22).



Kuva 22. Sementin sitoutumisen ja kovettumisen asteet /12/.

Sementin sitoutumisen ja kovettumisen eri asteet ovat kuvan 22 mukaan seuraavat:

1. Reagoimattomia sementtihiukkasia veden ympäröimänä.
2. Tilanne muutaman minuutin kuluttua veden lisäämisestä. Hydrataatio tuotteet laajenevat rakeiden pinnasta vesitilaan.
3. Muutaman tunnin kuluttua reaktiotuotteet ovat jo toisissaan kiinni ja sitoutuminen on alkanut.
4. Muutaman vuorokauden kuluttua hydrataatio on jo edennyt pitkälle ja lujuus kasvaa jatkuvasti niin kauan kuin reagoimatonta sementtiä ja vapaata vettä riittää.

3.2.2 Muut sideaineet

Betonitekniikassa voidaan käyttää polymeerejä joko sideaineena tai rakennussementin lisäaineena.

Betonimuovi ei sisällä rakennussementtiä, vaan kiviaines sidotaan orgaanisella polymeerilla, useimmiten epoksilla, polyuretaanilla tai polymetyyliemakrylaatilla. Betonimuovin (PC) hyviä ominaisuuksia ovat

- nopea kovettuminen
- hyvä tartunta kiviainekseen, betoniin ja metalleihin
- hyvä lujuus ja kulutuskestävyys
- hyvä tiiviys ja kestävyys kemiallista räsitusta vastaan.

Betonimuovien tyypillisiä käyttökohteita silloissa ovat liikuntasauojen tukikaistat, päällysteet, laakereiden alustavalut ja paikkausmassat.

Polymeeripitoiset betonit sisältävät polymeerin lisäksi myös rakennussementtiä. Polymeerien määrät vaihtelevat 1–25 % sementin painosta. Jos polymeeriä on yli 5 % sementin painosta, polymeerin vaikutus materiaalin ominaisuuksiin on merkittävä, jolloin tuotetta kutsutaan polymeerisementtibetoniksi (PCC). Kun polymeerimäärä on alle 5 %,

polymeeri toimii lähinnä lisäaineen tavoin. Tällöin tuotetta kutsutaan polymeerimuunnosbetoniksi (PMC).

Polymeeripitoisten betonien ja laastien käyttökohteita silloissa ovat liikuntasauojen tukikaistat, korjausvalut, vedenalaiset valut, paikkaukset ja juotosvalut.

Polymeerejä käsitellään tarkemmin SILKO-yleisohjeessa 1.202 /22/.

Aluminaattisementillä saavutetaan erittäin nopea lujuudenkehitys. Jo vuorokauden iässä voidaan alhaisella vesisementtisuhteella päästä jopa 60–80 MPa lujuuksiin ja jo muutamassa tunnissa lujuustasoon 30–50 MPa. Sementillä on lisäksi 2–3 kertainen lämmöntuotto klinkkeripohjaisiin sementteihin verrattuna. Koska aluminaattisementtiä sisältävän betonin hydrataatiotuotteet eivät ole stabiileja, sitä ei voida käyttää kantavissa teräsbetonirakenteissa eikä jännitetyissä rakenteissa. Lujuuskadot iän myötä vesisementtisuhteesta riippuen ovat 30–80 % yhden vuorokauden lujuudesta. Aluminaattisementtiä käytetään suurta kulutuskestävyyttä vaativissa siltojen osissa kuten liikuntasauojen tukikaistoissa ja betonipäällysteiden korjausvaluissa.

3.3 Mineraaliset seosaineet

Mineraalisia seosaineita käytetään sillankorjauksissa yleensä vain sideaineena. Niiden käyttö on mahdollista myös keinotekoisena kiviaineksena.

Ohjeiden B4:n /2/ mukaan kantavissa tai säänkestävyyttä vaativissa betonirakenteissa betonin sideaineena tai kiviaineksena rakennussementin kanssa käytettäviä mineraalisia seosaineita ovat

- lentotuhka
- masuunikuonajauhe
- granuloitu, pelletoitu tai ilmajähdytetty masuunikuona
- ilmajähdytetty ferrokromikuona
- silika.

Mineraalisille seosaineille esitetään laatuvaatimukset ja käyttöön liittyvät rajoitukset sekä laadunvalvontaa ja vaatimustenmukaisuuden osoittamista koskevat ohjeet ohjeen B4:n kohdassa 7.

Seosaineiden laatua, valmistusta, varastointia, käsittelyä ja jatkuvaa laadunvalvontaa tarkastavana viranomaisena toimii Turvatekniikan keskus, ellei tuotteita ole varustettu CE-merkinnällä. Laadunvalvontaan liittyvien aineenkoetustehtävien suorittajana toimii hyväksytty koetuslaitos tai CE-merkittyjen tuotteiden kyseessä ollessa ilmoitettu laitos.

Mineraalisia seosaineita voidaan käyttää myös luonnonfillerin korvaajina mm. itsestivistävän betonin valmistuksen yhteydessä.

3.3.1 Silika

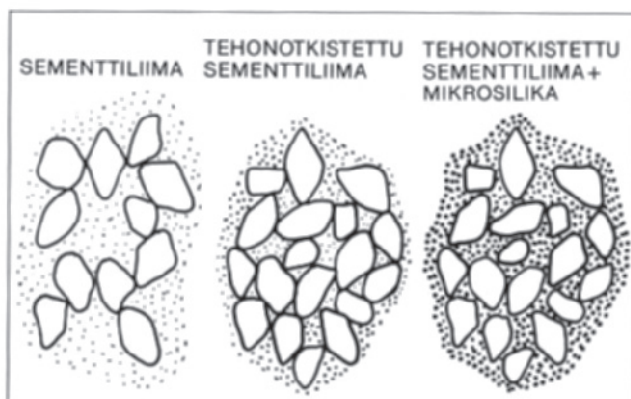
Silika on piiraudan ja piin valmistuksessa syntyvä, savukaasuista erotettava, erittäin hienojakoinen pozzolaani. Seosaineena käytettävän silikan piioksidipitoisuuden tulee olla ≥ 80 %.

Silikajauheen partikkelikoko on sementin partikkelikokoa pienempi, joten se saa aikaan pastan paremman pakkautuvuuden. Silika amorfisessa muodossaan on erittäin reaktiivista ja pieni partikkelikoko nopeuttaa sen reagoimista sementin hydrataatioprosessissa syntyvän kalsiumhydroksidin kanssa. Lopullisena tuotteena syntyy kalsiumsilikaattihydraattigeeliä kuten portlandsementinkin yhteydessä. Reaktionsa vuoksi silikalla kuten muillakin pozzolaaneilla on betonin emäksisyyttä alentava vaikutus ja sen vuoksi silikaa sisältävä betoni neutraloituu jonkin verran portlandsementtibetoneja nopeammin. Siihen on osaltaan vaikuttamassa myös silikabetonien suuremman kutistuman aiheuttama halkeilu.

Yleensä silikaa käytetään enimmillään noin 5 % sementin painosta. Sillanrakennustöissä silikaa saadaan käyttää enintään 7 % rakennussementin painosta. Silika aiheuttaa hienoutensa vuoksi betonin notkeuden alenemista, minkä vuoksi notkistavien lisäaineiden käyttö on lähes aina välttämätöntä vesisementtisuhteen hallitsemiseksi.

Jos sulfaatinkestävää (SR) portlandsementtiä (CEM I) käytetään suolarasitetuissa rakenteissa, lisätään betonimassaan silikaa 3–5 % sideaineen määrästä.

Silikalla on betonin tiivyyttä parantava vaikutus (kuva 23), jos suuremman kutistuman aiheuttama halkeilu voidaan esimerkiksi hyvällä jälkihoidolla estää. Tämän vuoksi silikan käyttö on edullista esimerkiksi kloridirasitetuissa siltojen korjauskohteissa. Silika muuttaa betonin väriä tummemmaksi.



Kuva 23 Silikajauheen vaikutus sementtipastan rakenteeseen /26/.

3.3.2 Masuunikuona

Masuunikuonaksi kutsutaan raakaraudan valmistuksessa masuunissa muodostuneesta emäksisestä silikaattisulatteesta jäähdyttämällä saatua tuotetta, jolla on piilevät hydrauliset ominaisuudet.

Masuunikuonajauhe on hienoksi jauhattua granulointua, pelletoitua tai ilmajäähdytettyä masuunikuonaa. Näistä Suomessa on betonin valmistuksessa käytössä granuloitu masuunikuona.

Masuunikuonaa ei juuri käytetä sillankorjausbetonien sideaineena, koska sen lujuudenkehitys on hidas ja koska sillä on todettu olevan betonin pakkassuola-kestävyyttä heikentävä vaikutus. Masuunikuonaa voidaan käyttää massiivisissa maan- ja vedenalaisissa valuissa.

3.3.3 Lentotuhka

Lentotuhka on hienoksi jauhetun kivihiilen poltossa voimalaitoksissa syntyvä pozzolaani, joka erotetaan savukaasuista.

Lentotuhkaa ei juuri käytetä sillankorjaustöissä, koska tuhkan hiilipitoisuus ja sen vaihtelu vaikeuttavat huokostuksen stabiiliutta. A-luokan lentotuhkaa voidaan kuitenkin käyttää myös pakkasenkestävän betonin valmistukseen, jos ennakkokokein selvitetään jäännöshiilen ja sen vaihteluiden vaikutukset huokostimen annostukseen sekä jos huolehditaan betonimassan ilmamäärän mittaamisesta valupaikalla ja hyvästä jälkihoidosta.

Lentotuhkaa käytettäessä tulee ottaa huomioon sen vaikutukset betonimassan ja kovettuneen betonin ominaisuuksiin, mm. betonin työstettävyyteen, lujuudenkehitykseen, muiden lisäaineiden toimintaan ja betonin väriin.

3.4 Vesi

Betonin valmistukseen ja jälkihoitoon käytettävän veden yleisenä laatukriteerinä voidaan pitää sen juomakelpoisuutta. Tällöin yleisestä vesijohtoverkosta otettu vesi kelpaa betonityöhön. Juomavedeksi kelpaavaa luonnonvettä voidaan myös käyttää betonin valmistukseen.

Siltojen korjaustöissä tarvittavat vesimäärät ovat niin pieniä, että syrjäisilläkin siltapaikoilla ei ole syytä käyttää paikalta saatavaa vettä.

Suovettä ei saa käyttää betonitöissä runsaan humuspitoisuuden vuoksi, joka voi estää betonin kovettumisen. Lisäksi suovedessä saattaa olla ag-

gressiivista hiilidioksidia, sulfideja, sulfaatteja ja jopa vapaata rikkihappoa.

Merivettä ei saa käyttää, vaikka suolapitoisuudet rannikollamme ovat alhaisia (noin 0,5 %).

Vesi ei yleensä saa sisältää klorideja enempää kuin 0,03 painoprosenttia (Cl⁻). Kierrätysvettä ei ole syytä käyttää siltojen korjausvaluissa.

Jos vedessä on leviä, öljyä, rasvoja tai muita epäpuhtauksia tai jos vesistöön lasketaan jätevesiä, ei vettä pidä käyttää betonin valmistukseen.

3.5 Lisäaineet

Betonin lisäaineet ovat joko tuoreen betonimassan tai kovettuneen betonin ominaisuuksien muuttamiseksi massaan lisättäviä aineita, joiden määrä suhteessa sementin määrään on pieni.

Betonin lisäaineilla on yleensä yksi päävaikutus sekä yksi tai useampia sivuvaikutuksia, jotka muuttavat tuoreen betonimassan tai betonin taikka molempien ominaisuuksia. Vaikutustapa on fyysinen tai kemiallinen. Sivuvaikutukset voivat olla edullisia tai haitallisia, joten ne on otettava ehdottomasti huomioon betonin koostumusta valittaessa ja betonoitaessa.

Lisäaineiden tulee olla CE-merkityjä tai niillä on ennen käyttöönottoa oltava hyväksytyssä koestuslaitoksessa tehtyihin kokeisiin perustuva selvitys lisäaineen yleisistä ominaisuuksista, vaikutuksista sekä käyttökelpoisuudesta betonissa.

Lisäksi pitää selvittää CE-merkityn lisäaineen soveltuvuus suomalaisiin olosuhteisiin kuten pakkasuolarasitukseen sekä yhteensopivuus käytettävän sementin kanssa ja sivuvaikutukset. Tällainen selvitys on Suomen Betoniyhdistys r.y:n varmentama lisäaineen käyttöseloste.

Betonin valmistuspaikalla tulee olla tehtyihin selvityksiin perustuva varmennettu käyttöseloste. Lisäaineiden asiallisen käytön turvaamiseksi Suomen Betoniyhdistys r.y. hyväksyy betonin lisäai-

neen käyttöselosteen. Sillankorjaustöissä voidaan käyttää lisäaineita, joilla on voimassa oleva käyttöseloste. Käyttöselosteessa ilmoitetaan lisäainetta koskevat yleisluontoiset tiedot, aineen työmaakäyttöä selvittäviä tietoja sekä viittaukset vaatimustenmukaisuuskokeiden tuloksiin.

Lisäaineiden vaikutus ja yhteensopivuus on aina selvitettävä ennakkokokeilla. Suomen olosuhteissa ulkoisten olosuhteiden vaikutus on otettava huomioon ennakkokokeiden tuloksia arvioitaessa. Itsetiivistyvän betonin käyttö tulee yleistymään sillankorjaustöissä. Tällöin usean lisäaineen (nykyisenlainen tehonotkistin, huokostin ja mahdollisesti myös stabilisaattori) yhteiskäytön hallitsemiseksi ennakkokokeiden tärkeys korostuu.

Lisätietoja betonin lisäaineista on saatavissa betoninormien edellyttämiä käyttöselosteita koskevista ohjeista /27/.

Betonin lisäaineiden käyttö on sillankorjaustöissä useimmiten välttämätöntä. Alhainen vesi-sementtisuhde edellyttää notkistavan lisäaineen käyttöä. Huokostavaa lisäainetta on käytettävä, koska betonin tulee olla pakkasenkestävää. Jänteiden suojaputkien injektointilaastissa käytetään paisuttavaa lisäainetta. Muita lisäaineita käytetään erikoistapauksissa. Kiihdytteitä ei yleensä käytetä. Jos jatko-työiden vuoksi tarvitaan nopeaa kovettumista, käytetään nopeasti kovettuvaa sementtiä.

3.5.1 Notkistavat lisäaineet

Sillankorjaustöissä betonimassan tulee yleensä olla notkeaa, koska betonointi joudutaan tekemään ahtaisiin muotteihin ja rauditus on tiheä. Näin ollen on yleensä käytettävä notkistavia lisäaineita, jotka parantavat betonimassan muokkautuvuutta.

Notkisteet ovat pinta-aktiivisia aineita, jotka muodostavat sementtirakeiden pinnalle kalvon, joka estää niitä tarttumasta toisiinsa. Kalvon ansiosta sementtirakeet hylkivät toisiaan ja massan juoksevuus paranee. Notkisteiden käytössä korostuu kiivaan fillerilajitteen merkitys massan erottumisen estämiseksi.

Yleisimmin käytettyjä notkisteita ovat lignosulfonaattisuolat ja polyhydroksiyhdisteet. Tehonotkisteet ovat useimmiten naftaleeni- ja melamiinisulfonaattijohdannaisia. Tehonotkisteet ovat yleensä synteettisiä tuotteita, joten ne ovat puhtaampia kuin tavalliset notkisteet.

Sillankorjaustöissä käytetään yleensä tehonotkisteita ja nesteytteitä, koska niiden notkistava vaikutus on suuri. Nesteytteet ovat nykyisin useimmiten polykarboksylaattipohjaisia. Betonin notkeus säädetään tehonotkisteella notkeusluokkiin S2–S3. Nesteytetty betoni sopii ahtaisiin paikkoihin ja vedenalaisiin valuihin, joissa notkeusluokan pitää olla vähintään S4. Itsetiivistyvää betonia käytettäessä betonin notkeus määritetään SYL 3:n mukaisin koemenetelmin. Tehonotkisteille on tunnusomaista, että niitä käytettäessä pienennetään myös betonin vesimäärää, jolloin betonin pakkasenkestävyys ja tiiviys paranevat. Jos voimakkaasti notkistavalla lisäaineella ei pyritä merkittävään vesimäärän vähentämiseen, muuttuu käytötapa nesteyttämiseksi.

Notkistavien lisäaineiden vaikutusaika on tuotteesta riippuen 0,5–1,5 tuntia. Näin ollen notkisteet lisätään mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa ja mahdollisesti kahdessa osassa. Esimerkiksi melamiinipohjaisten lisäaineiden lyhyttä vaikutusaikaa voidaan jatkaa lisäämällä osa lisäaineesta vasta työmaalla. Lignosulfonaattien vaikutusaika on pitempi, mutta ne eivät ole yhtä puhtaita kuin melamiinipohjaiset lisäaineet, joten niiden todellisten vaikutusten ennustaminen on vaikeaa. Vaikutukset onkin usein syytä selvittää ennakkokokeilla.

Notkistavien lisäaineiden sisältämä vesimäärä otetaan huomioon betonin vesi-sementtisuhdetta laskettaessa.

Muottipaineet kasvavat notkistavia lisäaineita käytettäessä.

3.5.2 Pakkasenkestävyyttä parantavat lisäaineet

Sillankorjaustöissä pakkasenkestävyys edellyttää betonin huokostamista. Huokosteet ovat pinta-aktiivisia aineita, jotka muodostavat betoniin hienoja koisia ilmakuplia, jotka leviävät tasaisesti betoniin. Yleisimmät huokosteet ovat vinsolhartsipohjaisia tai synteettisiä tensidejä. Huokosteilla aikaansaatavien suojahuokosten optimikoko on 25–300 µm.

Huokosteen käyttö parantaa betonimassan muokkautuvuutta, lisää sen notkeutta ja koossapysyvyyttä sekä vähentää osa-aineiden erottumista. Huokoste lisää ilmamäärää ja alentaa siten betonin lujuutta, mutta toisaalta sen notkeutta lisäävä vaikutus mahdollistaa alemman vesi-sementtisuhteen ja betonin tiivistyvyys on parempi, joten kokonaisvaikutus lujuuteen ei ole suorassa suhteessa pelkästään ilmamäärään.

Jos betonimassa siirretään muotteihin pumppamalla, on ilmamäärä mitattava vasta betonipumpun letkun päästä, koska pumppaus vähentää huokoisuutta. Lisäksi on otettava huomioon, että ilmamäärä voi pienentyä kuljetuksen aikana kuljetusmatkasta ja –ajasta riippuen 0,5–1,0 %. Joillakin lisäaineyhdistelmillä ilmamäärä voi myös kasvaa kuljetuksen aikana.

Jos käytetään samanaikaisesti notkistetta ja huokostetta, on varmistettava ennakkokokeella, että tuotteet sopivat yhteen. Yleensä lisäaineet käyttäytyvät toisiinsa nähden taulukon 7 mukaisesti.

Taulukko 7. Huokoste-notkiste -yhdistelmien yhteensopivuus

Notkiste \ Huokoste		
	Vinsolhartsipohjaiset	Synteettiset tensidit
Karboksylaattit	sopivat yleensä yhteen	sopivat yleensä yhteen
Melamiinipohjaiset	sopivat yleensä yhteen	sopivat yleensä yhteen
Naftaleenipohjaiset	sopivat yleensä yhteen	yhteensopivuus epävarma
Lignosulfonaatit	eivät yleensä sovi yhteen	yhteensopivuus epävarma

3.5.3 Sitoutumista hidastavat lisäaineet

Hidasteilla hidastetaan sementin sitoutumista. Yleisimmin käytettyjä hidasteita ovat sokeria sisältävät lignosulfonaatit, hydroksihapot, hiilihydraatit ja fosforiyhdisteet. Hidasteiden annostusmäärin pitää yleensä olla pieniä, joten yliannostuksen vaara on olemassa. Lisäksi on huomattava, että useilla nesteytteillä ja tehonotkisteilla on sitoutumista hidastava vaikutus, joka korostuu alhaisissa lämpötiloissa.

3.5.4 Sitoutumista kiihdyttävät lisäaineet

Kiihdytteet voivat nopeuttaa joko sitoutumista tai kovettumista tai molempia. Sillankorjaustöissä kysymykseen tulevat vain kloridittomat kiihdytteet kuten kalsiumformiaatti. Kiihdytteistä on hyötyä erityisesti kylmään vuodenaikaan ajoittuvissa korjaustöissä.

3.5.5 Stabiloivat ja huuhtoutumista estävät lisäaineet

Stabiloivat ja huuhtoutumista estäviä lisäaineita käytetään vedenalaisissa valuissa ja tiheästi raudoitetuissa kohteissa. Stabiloivien lisäaineiden käyttö on yleistä myös itsetiivistyvän betonin yhteydessä.

Stabiloivat ja huuhtoutumista estävät lisäaineet vähentävät sementtipastan vapaan veden liikkumista ja lisäävät pastan viskositeettia. Niiden käyttö on yleisintä nesteyttävien lisäaineiden yhteydessä estämään erottumisriskiä. Koska stabiloivat aineet toimivat osittain nesteytteiden toimintatavan vastaisesti, niiden käyttö lisää nesteytteen annostusta muun muassa itsetiivistyvän betonin yhteydessä.

Betonimassaa stabiloiva lisäaine toimii joko veden viskositeettia lisäävästi tai betonimassan koossapysyvyyttä parantavasti. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat aineet ovat vesiliukoisia synteettisiä ja luonnon orgaanisia polymeerejä, jotka lisäävät sekoitusveden viskositeettia (selluloosaeetterit, poly-

etyleenioksidit, polyakryliamiidi, jne). Toiseen ryhmään kuuluvat aineet ovat orgaanisia vesiliukoisia koossapysyvyyttä parantavia lisäaineita, jotka adsorboituvat sementtirakeiden pinnalle ja lisäävät viskositeettia lisäämällä sementtirakeiden välistä vetovoimia. (styreeni copolymeerit, synteettiset polyelektrolyytit ja luonnonkumit).

Kolmannen ryhmän muodostavat aineet ovat

- a) erityyppisiä orgaanisten aineiden emulsioita, jotka lisäävät partikkeleiden välisiä voimia ja lisäävät ylipäättään hienoainesmäärää
- b) epäorgaanisia joko veden kanssa reagoivia tai reagoimattomia aineita kuten bentoniitti, silikajauhe tai suuren ominaispinta-alan omaavat aineet kuten lentotuhka, kaoliini tai kalkkifilleri. Jälkimmäistä ryhmää ei pidetä sellaisenaan lisäaineena, vaikka niiden vaikutus betonimassaa stabiloivana osa-aineena on samantyyppinen.

3.5.6 Injektointilaastin lisäaineet

Injektointilaastin lisäaineet paisuttavat laastia muodostamalla kaasua, esimerkiksi alumiinijauhevelyä tai vetyperoksidihappea. Samalla injektointilaasti tulee hyvin koossapysyväksi ja helposti pumpattavaksi.

Huokostus parantaa laastin pakkasenkestävyyttä.

Sillankorjaustöissä injektointilaastin lisäaineita käytetään sementti-injektoinnissa, injektointibetonoinnissa sekä täytettäessä rakenteisiin jääneitä onkalaita. Lisäaineen vaikutus varmistetaan ennakkokokeella.

Injektointilaastin vaatimustenmukaisuus todetaan *ohjeen B4 /2/* kohdan 6.3.5 mukaan. Julkaisussa *by 50 /2/* on esitetty menettely injektointilaastin pakkasenkestävyyttä koskien.

Jänteiden suojausputkien injektointiin käytettävän laastin laatuvaatimukset on esitetty *SYL 3:n /1/* kohdassa 3.3.4.2.

3.6 Väriaineet

Väripigmentti on erittäin hienojakoista jauhetta, jonka hiukkaskoko on 0,1–1 µm. Pigmentit eivät saa huonontaa betonin säilyvyysominaisuuksia. Pigmenttejä voidaan yleensä käyttää turvallisesti 0–5 % sementin painosta. Suurempia määriä käytettäessä niiden vaikutukset betonin ominaisuuksiin on selvitettävä ennakkokokein. Yli seitsemän prosentin annostus ei yleensä vaikuta enää värisävyn, ja yli yhdeksän prosentin annostus alkaa vaikuttaa betonin lujuuteen. Pigmenttien vaikutus betoniin ja värisävy on tarkistettava ennakkokokeella. Pigmenttien hienojakoisuudesta johtuen ne vaikuttavat betonimassan vedentarpeeseen ja lisäksi joillakin pigmenttityypeillä voi olla vaikutusta huokosteiden annostukseen. Betoniväriksi sopivimpia väripigmenttejä ovat

- valkoinen; titaanioksidi
- keltainen; rautaoksidikeltainen
- punainen; rautaoksidipunainen
- ruskea; rautaoksidiruskea
- musta; rautaoksidimusta ja kimröoki.

Tavallisimmat väribetonin valmistuksessa käytetyt väripigmentit ovat punainen, ruskea ja musta. Vaalea väri saadaan aikaan valkosementillä. Sillankorjaustöissä tulisi käyttää valkosementtiä, jos halutaan kirkkaita sävyjä. Paikkauksia voidaan sävyttää vanhaan pintaan sopiviksi valkosementillä.

Vaalean pinnan aikaansaamiseksi valkosementin kanssa on käytettävä vaaleaa kiviainesta.

Väribetoni sopii lähinnä elementtien ja kuorielementtien valmistukseen, mutta myös paikallavalut puhdasvaluna ja eri tavoin käsiteltynä ja ruiskubetoni voidaan tehdä väribetonista. Väribetoneiden ongelmaksi on osoittautunut värivaihtelu. Sen syitä on selostettu tarkemmin *Betonipinnat-perusjulkaisun* /11/ kohdassa 4.4. Vaaleat pinnat likaantuvat helposti, ja lian ja kosteuden vaikutus-

ta mahdolliset halkeamat näkyvät niissä selvästi. Vaaleita sävyjä pitää välttää erityisesti suurissa siileävalupinnoissa.

Kalkkihärme ja muut suolamuodostumat aiheuttavat tummille väribetonipinnoille näkyvää laikukkuutta, joka pestään pois vedellä ja harjalla. Härmeen muodostumista voidaan vähentää hyvällä jälkihoidolla, valmistamalla tiivistä betonia ja välttämällä pinnan liiallista hiertämistä.

Väribetonin osa-aineet sekoitetaan värin valmistajan ohjeiden mukaan. Yleensä paras tulos saavutetaan, kun väri sekoitetaan ensin tasaisesti kiviainekseen, minkä jälkeen lisätään sementti ja viimeisenä vesi ja mahdolliset lisäaineet. Tehdasvalmisteisilla väripastoilla saadaan helpommin tasainen väri.

Suunnittelussa on otettava lisäksi huomioon, että sadevedet saattavat aiheuttaa valumakuvioita saateelle alttiilla suurella pinnalla. Sadevesiä voidaan ohjata esimerkiksi tippulistoilla. Myös kuparin ja messingin korroosiotuotteet näkyvät etenkin vaaleilla väribetonipinnoilla.

Väribetonin laatuvaatimukset ja laadunvarmistustoimet määräytyvät perusbetonin ja pintakäsittelymenetelmän mukaan. Betonipinnan värivaihtelu tarkastetaan aluksi silmämääräisesti ja mitataan tarvittaessa esimerkiksi *Betonipinnat-perusjulkaisun* /11/ kohdassa 10 selostetulla menetelmällä. Samassa kohdassa on esitetty pintojen kokonaisvärieroihin perustuva pintojen luokittelu. Rakenneosakohtaiset vaatimukset on esitetty SYL 3:n /1/ kohdissa 3.2.2.5 ja 3.2.3.4.

Massiivisissa rakenteissa väribetonin käytöstä aiheutuu merkittäviä lisäkustannuksia, mutta elementeissä hintavaikutus on pieni.

4. BETONIMASSAN OMINAISUUDET

4.1 Muokkautuvuus (työstettävyys)

Betonimassalla tulee olla sellaiset ominaisuudet, että se tarkoitukseen soveltuvia menetelmiä käyttäen tiivistettynä ja käsiteltynä, kovetuttuaan täyttää asetetut vaatimukset.

Betonimassan muokkautuvuusominaisuuksista (työstettävyys) merkittävimmät ovat

- tiivistävyys
- koossapysyvyys
- notkeus
- pumpattavuus.

4.1.1 Tiivistävyys

Nykyisiä nesteytteitä ja tehonotkisteita käyttäen voidaan valmistaa myös mekaanisesti tiivistämätöntä itsetiivistyvää betonia. Tällöin itsetiivistyvyydellä tarkoitetaan betonin ominaisuutta, jonka ansiosta massa on hyvin valuvaa, leviävää ja stabiilia ja joka erottumatta täyttää muotit ja ympäröi täysin raudotteet ilman mekaanista tiivistystä. Itsetiivistyvän betonin käytössä on kiinnitettävä erityistä huomiota massan erottumattomuuteen samoin kuin yleensäkin notkistavia lisäaineita käytettäessä.

Tavanomaisen betonin tiivistäminen tehdään sauva-, taso- tai muottitäryttimillä.

4.1.2 Koossapysyvyys

Betonimassa pyrkii betonityön eri vaiheissa erottumaan, jolloin betonin laatu huononee ja vaihtelee rakenteen eri osissa. Kiviaineksen erottumisella tarkoitetaan karkeiden rakeiden erottumista sementtiliimasta. Veden erottumisella tarkoitetaan veden nousua betonimassan pintaan ja raskaampien osa-aineiden painumista alaspäin.

Jotta betonimassa olisi koossapysyvää, siinä tulee olla riittävästi hienoja aineksia eli sementtiä ja täyteainetta, mutta massan rakeisuuden tulee kokonaisuudessaan olla ohjeiden mukainen. Huokostavat lisäaineet, stabiloivat lisäaineet ja silika parantavat betonin koossapysyvyyttä.

4.1.3 Notkeus

Notkeus on muokkautuvuuteen vaikuttavista ominaisuuksista tärkein.

Betonimassan notkeuteen vaikuttavat sementin, veden, ilman ja kiviaineksen keskinäiset seossuhteet sekä kiviaineksen rakeisuusominaisuudet ja rakeiden pinta.

Tavanomaisten betonimassojen notkeusluokitus on esitetty taulukossa 8. On huomattavaa, että nykyinen standardiin SFS- EN 206 perustuva notkeusluokitus ei vastaa aikaisemmin käytettyä painuman ja Vebe-ajan luokitusta.

Taulukko 8. Tavanomaisten betonimassojen notkeusluokat.

Painumaluokat (EN 206)		Vebe-luokat		Leviämäluokat	
Luokka	Painuma [mm]	Luokka	Vebe-aika [s]	Luokka	Leviämä [mm]
S1	10...40	V0 ¹⁾	≥ 31	F1 ¹⁾	≤ 340
S2	50...90	V1	30...21	F2	350...410
S3	100...150	V2	20...11	F3	420...480
S4	160...210	V3	10...6	F4	490...550
S5 ¹⁾	≥ 220	V4 ¹⁾	5...3	F5	560...620
				F6 ¹⁾	≥ 630

¹⁾ Koska tiettyjen notkeusarvojen ulkopuolella testausmenetelmät eivät ole tarkkoja, suositellaan käytettäväksi seuraavia testausmenetelmiä:

- painuma ≥ 10 mm ja ≤ 210 mm
- Vebe-aika ≤ 30 s ja > 5 s
- leviämän halkaisija > 340 mm ja ≤ 620 mm.

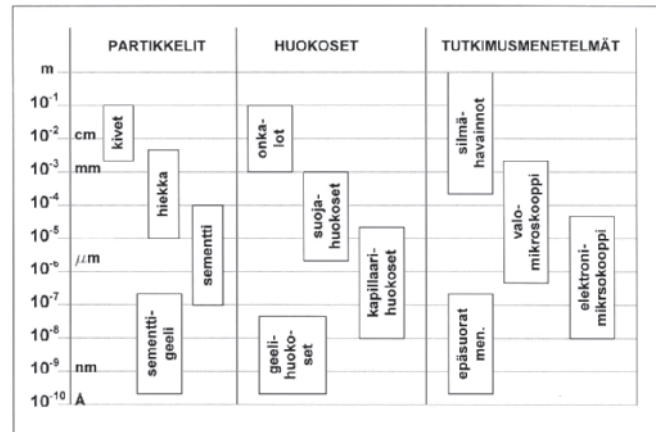
Itsetiivistyvän betonimassan notkeuden testausmenetelmät on esitetty SYL 3:n /1/ liitteessä 4.

Sillankorjaustoissa käytetään yleisesti notkistavia lisäaineita. Notkistavien lisäaineiden vaikutusai-

ka on yleensä lyhyt, 0,5–1,5 tuntia. Notkeutta ei saa työmaalla säädellä vettä lisäämällä. Liika vesi suurentaa vesi-sementtisuhdetta, jolloin betonin lujuus ja säilyvyys huononevat. Notkeus muuttuu ajan funktiona.

4.2 Ilmapitoisuus

Tavallinen hyvin tiivistetty betonimassa sisältää ki-
viaineksen enimmäisläpimitasta ja suhteitukse-
sta riippuen 0,5–2 % ilmaa, joka on suojahuokos-
ten kokoluokkaa. Suojahuukokset ovat pakkasen-
kestävyyden kannalta välttämättömiä ja niitä saa-
daan syntymään säilyvyyden kannalta riittävä mää-
rä käyttämällä huokostavia lisäaineita. Huokostavia
lisäaineita käytettäessä suojahuukosilmamäärä on
yleensä 3–6 % betonin suhteituksesta riippuen.
Suojahuukokset ovat pyöreitä ja läpimitaltaan 10–
1000 µm (kuva 24). Suojahuukokset ovat normaali-
ilmanpaineessa ilmatäytteisiä, minkä vuoksi ne
laskevat betonin kriittistä kyllästysastetta ja anta-
vat kapillaarihuukosissa olevalle vedelle sen tarvit-
seman jäätymistilan.

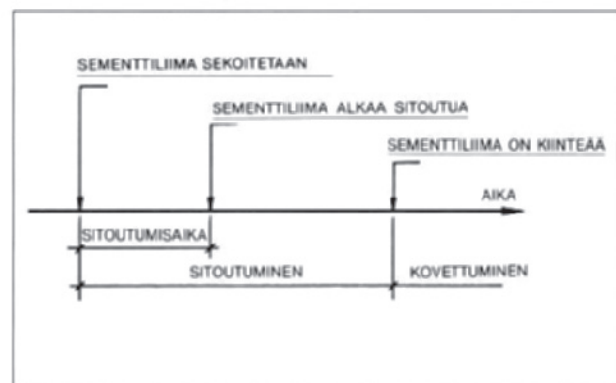


Kuva 24. Betonin partikkelit, huukosrakenne ja tutkimusmenetelmät.

4.3 Sitoutuminen

Sitoutumisella tarkoitetaan yleisesti sementtipas-
tan jäykistymistä eli tilaa, jossa pasta muuttuu juok-
sevasta jäykäksi. Sitoutumisella on merkitystä be-
tonoinnin eri vaiheiden oikea-aikaistamisessa, jo-
ten sen tunteminen on välttämätöntä.

Sementtiliima muuttuu sementtikiveksi kahdessa
vaiheessa, jotka ovat sitoutuminen ja kovettuminen
(kuva 25).



Kuva 25 Sementtiliiman sitoutuminen ja kovettuminen /12/.

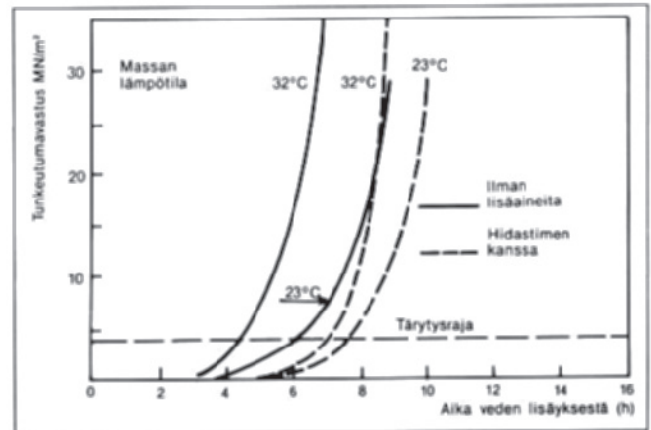
Sitoutumisessa sementtirakeiden ympärille muodostuu kiteisiä hydrataatiotuotteita, jotka saavat massan viskositeettimuutoksen aikaan. Sitoutumisaika on voimakkaasti riippuvainen sekä sementtityypistä että lämpötilasta. Alhainen lämpötila ja seosaineet voivat lisätä huomattavasti sitoutumisaikaa ja siten pidentää lujuudenkehityksen alkamisaikaa. Sitoutumisaikaa voidaan säädellä käyttämällä lisäaineita, jotka hidastavat sementin trikalsiumalumiinaatin reagointia veden ja kipsin kanssa.

Betonin sitoutumisaikaa kuvataan ns. tärytysrajalla, joka määritetään tunkeutumavastuskokeella. Menetelmä soveltuu huonosti korkealujuusbetonille ja itsetiivistyvälle betonille. Betonin tärytysraja katsotaan saavutetun, kun tunkeutumavastus nousee arvoon $3,5 \text{ MN/m}^2$. Betonin kovettumisreaktion katsotaan alkavan sitoutumisen päätyttyä.

Betonin sitoutumista voidaan säädellä hidastavilla lisäaineilla. Notkistavilla lisäaineilla saattaa olla sitoutumista hidastava sivuvaikutus, joka on syytä

tuntea. Ilman lämpötila vaikuttaa luonnollisesti sitoutumiseen (kuva 26).

Sitoutumisvaiheessa olevaa sementtiliimaa ei saa häiritä, koska seurauksena voi olla huomattava lujuuden kato.



Kuva 26. Lämpötilan ja hidastavan lisäaineen vaikutus betonin tärytettävyyteen.

5. BETONIN OMINAISUUDET

5.1 Betonimassan kovettuminen

Sementin hydrataatiossa klinkkerimineraalit reagoivat kemiallisesti veden kanssa. Reaktiossa syntyy morfologisesti erityyppisiä kiinteitä yhdisteitä, jotka muodostavat sementtigeelin.

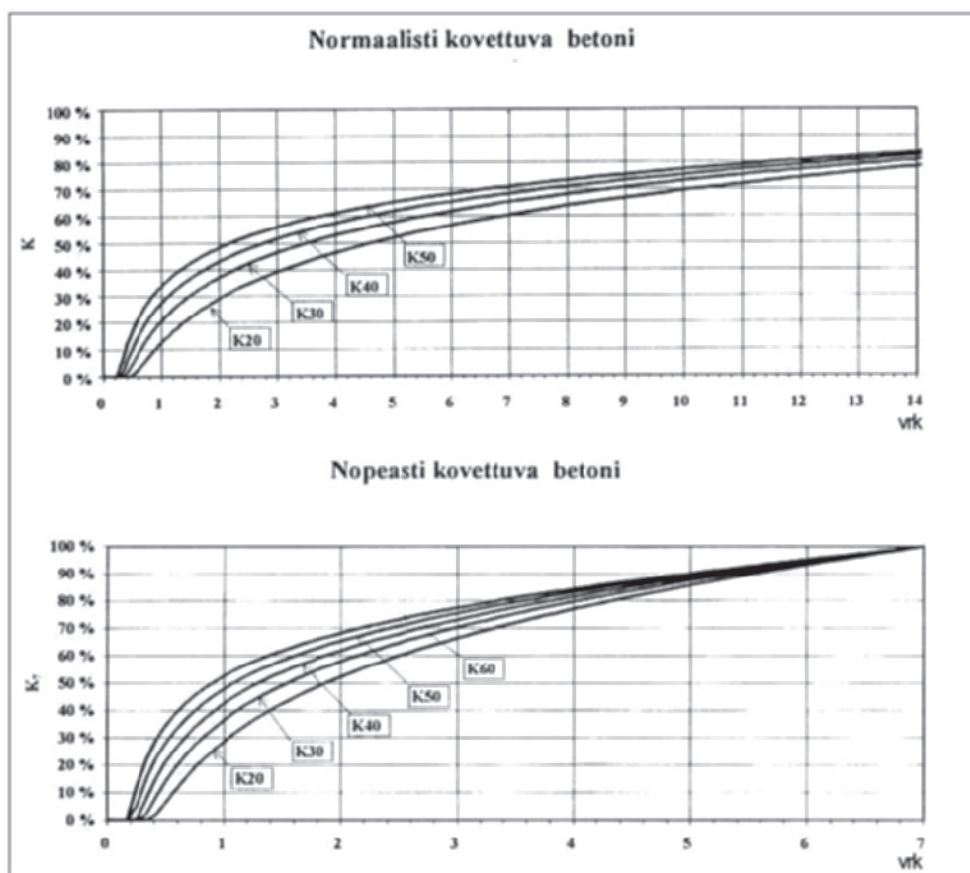
Hydrataatioprosessi jakaantuu neljään päävaiheeseen:

1. Alkureaktio, jossa kipsi muodostaa kalsiumin ja aluminaattien kanssa klinkkerimineraalipartikkeleiden pinnalle muita reaktioita hidastavan trisulfaattikalvon (ettringiittikalvo). Reaktio on nopea ja kestää vain muutamia minutteja, enimmillään noin 10 minuuttia.
2. Lepovaihe, joka kestää 20 minuutista tuntiin, jolloin partikkeleiden pinnalle syntyy hitaasti reaktiotuotteita.
3. Sitoutumisvaihe, jossa CSH-geeli alkaa muodostua ja kasvaa partikkeleiden pintakerroksesta sementtirakeiden välille ja massa jäykistyy. Vaihe kestää 2–6 tuntia.

4. Kovettumisvaihe, jossa CSH-geeli tiivistyy uusien hydrataatiotuotteiden syntyessä sitoen kiviainespartikkelit toisiinsa. Kovettumisvaiheessa lujuus kasvaa ja sementtigeelin ja geelin ja kiviainespartikkeleiden rajapinnan huokoisuus pienenee. Kovettumisvaihe alkaa noin vuorokauden kuluessa ja kestää kunnes kaikki hydrataatiokelpoinen sementti on reagoanut. Kovettumisvaiheessa jää betoniin aina hydratoitumatonta sementtiä; sitä enemmän mitä karkeampaa sementti on. Noin vuoden ikäisenä sementtipartikkeleiden reaktiosyvyys on noin 10 µm, joten vuoden ikäisenä esimerkiksi kuvan 18 sementillä tehdyn betonin hydrataatioaste on vain noin 85 %.

Sementtigeelin muodostumisnopeuteen betonin kovettumisvaiheessa vaikuttavat eniten

- sementin laatu ja hienous
- vesimäärä
- lisäaineet ja
- kovettumislämpötila.



Kuva 27. Eri sementeistä valmistettujen betonien lujuudenkehitys kypsyysikänsä funktiona /3/.

Mitä hienorakeisempaa sementti on ja mitä vaapammin vettä on saatavilla, sitä nopeammin kokonaishydrataatio tapahtuu. Tämä vaikuttaa luonnollisesti myös lujuudenkehityksen nopeuteen. Kun sementti on karkearakeista, lujuus lisääntyy vielä vuosienkin kuluttua, jos hydrataatiolle otolliset olosuhteet vallitsevat.

Lisäaineilla voidaan säätää sekä sitoutumis- että kovettumisvaihetta. Lisäaineista hidasteet nopeuttavat yleensä kovettumista sen jälkeen, kun niiden hidastava vaikutus on lakannut. Sama vaikutus on yleensä notkisteilla ja joillakin huokosteilla. Kovettumisvaiheen nopeutta voidaan kasvattaa kiihdyttävillä lisäaineilla.

Betonimassan kovettuminen voi suotuisissa olosuhteissa jatkua vuosikautia. Betonimassa kovettuu sitä nopeammin, mitä korkeampi sen lämpötila on, mutta betonin lopullinen lujuus on vastavasti pienempi. Betonin lujuudenkehitystä voidaan arvioida laskettavan kypsyysajan ja kuvan 27 avulla ns. Sadgroven menetelmällä *by 50:n /3/* kohdan 4.2.4.5 mukaisella menettelyllä.

Taulukko 9. Kovettumislämpötilan vaikutus betonin kypsyysasteeseen

Kovettumislämpötila [°C]	Kypsyysaika [vuorokausi]	
	Normaalisti kovettuva betoni	Nopeasti kovettuva betoni
5	82	21
10	54	14
20	28	7
30	17	4
40	12	3

Betonimassan kovettumisreaktion edellytyksenä on riittävä vesimäärä. Tämän vuoksi betoni on pidettävä kosteana yleensä vähintään viikon ajan.

Suositeltavin jälkihoitomenetelmä on vesi ja oikein asennettu muovipeite. Tiehallinnon käyttöönsä hyväksymiä jälkihoitoaineita voidaan myös käyttää. Jälkihoitoaine on valittava niin, että se voidaan helposti poistaa seuraavan työvaiheen niin vaatiessa.

Aurinkoisella tai tuulisella säällä ja käytettäessä korkealujuusbetonia valupinnalle levitetään välittömästi tiivistyksen jälkeen, ennen jälkihiertoa, varhaisvaiheen jälkihoitoaine tai muovikalvo veden haihtumisen estämiseksi. Pinnan hiertämisen jälkeen, heti kun pinta kestää vettä, pinta kastellaan sumuttamalla vettä tai ruiskutetaan tehokas, varsinainen jälkihoitoaine ja suojataan pinta uudelleen tiiviillä peitteellä. Tarvittaessa vettä sumutetaan peitteen alle.

Kun rakenne asettuu tasapainokosteuteen ympäristössään, betonin kovettuminen hidastuu ja lakkaa pintaosista alkaen.

Betonin kovettumista seurataan tarvittaessa testaamalla rakenteita kimmovasarella tai laboratoriossa olosuhdekoekappaleiden avulla.

5.2 Lujuus- ja tartuntaominaisuudet

Betoni on komposiittimateriaali, joka koostuu kiviaineksesta, sementtigeelistä ja niiden tartunnasta vastaavasta rajavyöhykkeestä (transitiovyöhykkeestä). Kaikilla kolmella osakomponentilla ja niiden keskinäisellä suhteella on vaikutusta myös betonin lujuusominaisuuksiin. Koska transitiovyöhykkeen vaikutus betonin lujuuteen on vaikeasti määriteltävissä, tarkastellaan sitä yleisimmin sementtigelin osana.

Sementtikiven vaikutus betonin lujuuteen on ratkaiseva. Sen rakenteeseen vaikuttavat eniten vesi-sementtisuhde ja hydrataatioaste. Alhainen vesi-se-

menttisuhde ja korkea hydrataatioaste saavat aikaan huokoisuudeltaan pienimmän ja siten lujuudeltaan parhaimman sementtikiven rakenteen. Tällöin myös betonin lujuus saavuttaa korkeimman tason.

Betonin ominaisuuksia arvioidaan yleensä puristuslujuuden perusteella, koska puristuslujuuden määrittäminen on selväpiirteistä ja koska useimmat betonin ominaisuudet riippuvat jossain määrin puristuslujuudesta. Siltojen korjausrakentaminen poikkeaa yleisestä käytännöstä, koska siinä muut betonin säilyvyyteen vaikuttavat tekijät ovat useimmiten määräävämpiä kuin puristuslujuus.

Taulukko10. Betonin lujuuden kehitykseen vaikuttavia betonin koostumus- ja olosuhdetekijöitä.

Betonin koostumus- ja olosuhdetekijä		Vaikutus
Sementtilaatu	hienous kemiallinen koostumus	hienorakeinen sementti -> nopea lujuudenkehitys korkea C ₃ S-pitoisuus -> lujuudenkehitys nopeutuu korkea C ₂ S-pitoisuus -> lujuudenkehitys hidas; korkea loppulujuus
Kiviaines	raekoko kasvaa	lujuus kasvaa
Vesi-sementtisuhte	pienenee	lujuus kasvaa ja kapillaarihuokoisuus pienenee
Seosaineet	silikajauhe lentotuhka	lujuus kasvaa varhaislujuus ja lämmönkehitys pienenee, loppulujuus kasvaa
	masuunikuona	varhaislujuus ja lämmönkehitys pienenee, loppulujuus kasvaa
Lisäaineet	hidaste notkiste kiihdyte huokoste	lujuudenkehitys hidastuu lujuudenkehitys voi joko hidastua tai nopeutua lujuudenkehitys nopeutuu lujuus pienenee
Lämpötila	korkea alhainen	nopea lujuudenkehitys, mutta loppulujuus voi aleta hidas lujuudenkehitys, mutta loppulujuus kasvaa
Kosteustila ja jälkihoito	ilmasäilytys RH<80%	lujuus laskee noin 25 %
	vesisäilytys RH=100%	lujuus kasvaa
Aika	pitenee	lujuus kasvaa

Mahdollisimman alhaiseen vesi-sementtisuhteeseen pyrkiminen on puristuslujuudenkin kannalta tärkeää, koska reagoimatta jäänyt vesimäärä muodostaa kapillaarihuokosia, jotka pienentävät puristuslujuutta. Betonin säilyvyyden kannalta tarpeelliset lisähuokokset vaikuttavat samalla tavalla, joten huokostusta ja puristuslujuudelle asetettavia vaatimuksia on tarkasteltava rinnakkain.

Lujuudenkehityksen nopeus riippuu sementtilaadusta (kuva 27). Tavallisesti betonin lujuus arvioidaan, kun betoni on 28 vuorokauden ikäistä.

Betoniin syntyy halkeamia, kun betonin vetojännitykset ylittävät vetolujuuden. Betoni halkeilee herkästi, koska betonin vetolujuus on huono, noin 5–10 % sen puristuslujuudesta.

Korjausrakentamisessa uuden betonin tartunnalla vanhaan rakenteeseen on ratkaiseva merkitys.

Jotta saataisiin aikaan mahdollisimman hyvä tartunta, on toimittava seuraavasti:

- Piikkaus on tehtävä niin, ettei vaurioiteta paikalleen jäävän betonin pintaa. Tartuntapinnan tulee olla rosainen, eikä siihen saa jäädä irtonaista ainesta tai epäpuhtauksia.
- Vanhan rakenteen pinnat on kastettava hyvin noin vuorokautta ennen betonointia. Betonoinnin alkaessa pinnan tulee olla kostea muttei märkä (kiiltävä).
- Erityisen tärkeää on se, että tiivistäminen tehdään oikealla tavalla ja huolellisesti.
- Tartuntaa voidaan parantaa käyttämällä nesteytettyä betonia tai betonimassaan sekoitettavia tai tartuntapintaan harjaamalla levitettäviä polymeerituotteita. Polymeerituotteita käytettäessä on noudatettava tarkoin valmistajan käyttöohjeita.

Ruiskubetonointi on tartunnan kannalta hyvä työmenetelmä.

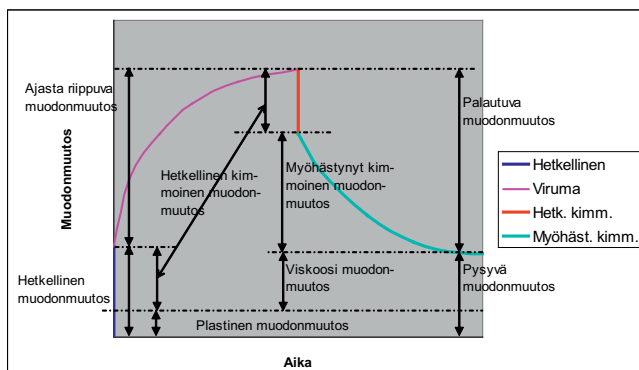
5.3 Muodonmuutosominaisuudet

5.3.1 Hetkellinen muodonmuutos ja viruma

Kuormituksesta ja sen kehosta riippuen voidaan betonissa erottaa hetkellinen muodonmuutos ja ajasta riippuva muodonmuutos (viruma).

Hetkellinen muodonmuutos jaetaan palautuvaan kimmoiseen muodonmuutokseen ja pysyvään plastiseen muodonmuutokseen. Kovettunut betoni käyttäytyy kimmoisasti jännitystason ollessa enimmillään 30–50 %. Tämän jälkeen pysyvä muodonmuutos lisääntyy betonin mikrohalkeilun seurauksena.

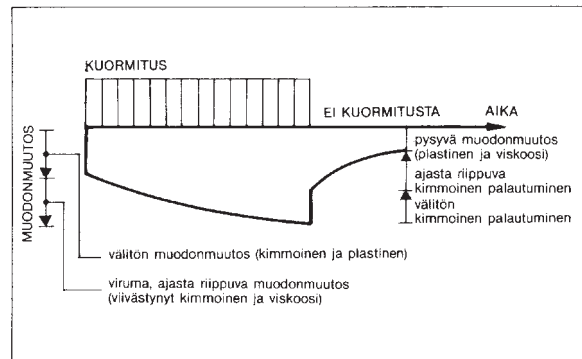
Viruma jaetaan kahteen osaan, joista lineaarinen virumamuodonmuutos kasvaa suhteessa betonin jännitystilaan noin 40–50 % maksimijännitystilasta ja epälineaariseen virumamuodonmuutokseen. Kun kuormitus poistuu, hetkellisen muodonmuutoksen kimmainen osuus palautuu välittömästi ja lineaarinen virumamuodonmuutos ajan kuluessa (kuva 28). Betoniin jää hetkellisen plastisen muodonmuutoksen ja epälineaariseen virumamuodonmuutoksen aiheuttama pysyvä muodonmuutos.



Kuva 28. Betonin ajasta riippuvat muodonmuutokset.

Betonin kuormituksesta aiheutuvia muodonmuutoksia on vaikea määrittää. Jos jännitykset ovat pienehköjä, voidaan käyttää kimmoteoriaa eli muodonmuutos on suoraan verrannollinen jännitykseen. Jos jännitys on suurempi kuin noin puolet betonin murtopuristuslujuudesta, muodonmuutos ei ole enää suoraan verrannollinen jännitykseen. Tällaisessa tapauksessa syntyy myös plastista muodonmuutosta ja muodonmuutos kasvaa nopeammin kuin jännityksen perusteella olisi odotettavissa. Jos jännitys tällöin poistetaan, betoniin jää pysyvä muodonmuutos. Sitä vastoin kimmoiset

kappaleet palaavat alkuperäiseen muotoonsa, kun kuormitus lakkaa vaikuttamasta. Virumalla tarkoitetaan sitä, että kuormitetun betonikappaleen muodonmuutos jatkuu ajan kuluessa (kuva 29).

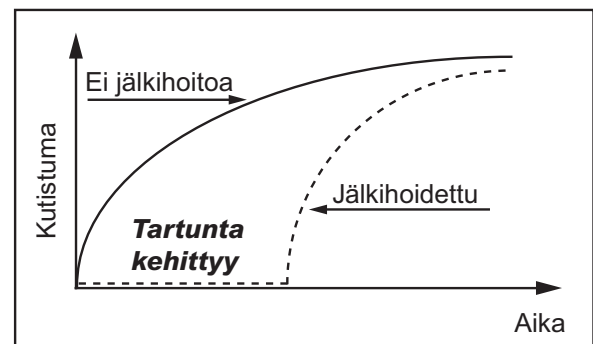


Kuva 29. Kuormituksen aiheuttamien betonin muodonmuutosten periaate.

Virumista esiintyy kaikkien jännitystapausten yhteydessä (puristus, veto, taivutus, leikkaus ja vääntö). Viruman vaikutus kokonaismuodonmuutokseen on huomattava.

5.3.2 Kutistuma

Uuden ja vanhan betonirakenteen liittäminen toisiinsa on ongelmallista, koska kutistumisesta johtuvat jännitykset aiheuttavat halkeamia. Lisäksi on otettava huomioon, että hallitsematon kutistuminen saattaa estää tartunnan syntymisen korjattavan rakenteen ja korjausvalun välille. Tästä syystä on erittäin tärkeää, että jälkihoito tehdään oikein, koska tartuntalujuus kehittyy hyväksi jälkihoidon aikana (kuva 30); jälkihoitamaton valu kutistuu alusta alkaen, mutta jälkihoidettu vasta jälkihoidon päätyttyä.



Kuva 30. Jälkihoidon vaikutus korjausmassan kutistumaan ja sitä kautta tartunnan kehittymiseen /28/.

Betoniin syntyy muodon- ja tilavuudenmuutoksia seuraavista syistä

- kemialliset reaktiot
- lämpötilan muutokset
- kosteuden muutokset
- kuormitukset.

Tärkein betonin muodon- ja tilavuudenmuutoksia aiheuttava kemiallinen reaktio on sementin ja veden hydrataatio, jossa syntyvän sementtigeelin tilavuus on pienempi kuin reaktioon osaa ottaneiden aineiden alkuperäinen yhteistilavuus.

Betoni kutistuu kuivuessaan. Varsinkin uuteen rakenteeseen syntyy jännityksiä, kun betonimassa kovettuu vähitellen asettuu ympäristönsä edellyttämään kosteuteen. Mitä kuivempi ympäristö on sitä enemmän vettä haihtuu ja vastaavasti sitä enemmän betoni kutistuu (katso taulukko 11).

Betonin jälkihoito on tehtävä huolellisesti, ettei betonin vesipitoisuus pääse laskemaan ennen kuin betoni kestää kutistumisesta johtuvat vetojännitykset. Rakenteet on myös suunniteltava siten, että kutistuminen ja lämpötilanmuutoksista aiheutuvat tilavuudenmuutokset pääsevät vapaasti tapahtumaan.

Kuivuminen ja kutistuminen riippuvat ajasta. Massiivinen rakenne kuivuu ja kutistuu hitaammin kuin ohut rakenne. Kun rakenteen eri osat ovat poikkeileikkausmitoiltaan erilaiset, osat kuivuvat eri tahdisa. Tällöin betoniin syntyy sisäisiä jännityksiä.

Rauditus vastustaa kuivumiskutistumista. Rakenne, jossa on tiheä rauditus, kutistuu vähemmän kuin harvaan raudoitettu rakenne. Tiheä rauditus jakaa halkeamat tasaisesti rakenteeseen, jolloin halkeamat jäävät pieniksi.

Koska vanha rakenne estää yleensä uuden valun kutistumisen, on betonin koostumus valittava siten, että kutistuminen jää mahdollisimman vähäiseksi.

Taulukko 11. Betonin kutistuman loppuarvo eri ympäristöolosuhteissa

Ympäristö	Suhteellinen kosteus [%]	Loppukutistuma [%]
Vesi	100	0
Hyvin kostea ulkoilma	90	0,2
Ulkoilma	70	0,4
Kuiva ilma	40	0,6

5.3.3 Lämpömuodonmuutokset

Rakenteen eri osien väliset lämpötilaerot aiheuttavat jännityksiä. Jos vetojännitykset ovat suurempia kuin betonin vetolujuus, syntyy halkeamia.

Siltarakenteen eri osien rajakohdissa esiintyy myös jännityksiä, koska eri materiaalien pituuden lämpötilakertoimet vaihtelevat taulukosta 12 ilmenevällä tavalla.

Rakenteet on suunniteltava siten, että lämpötilan muutoksista aiheutuvat rakenneosien väliset liikkeet pääsevät tapahtumaan.

Pintavalujen halkeilun estämiseksi on edullista, että vanhan alustan lämpötila on valuhetkellä massan lämpötilaa korkeampi.

Taulukko 12. Siltarakenteissa käytettävien materiaalien pituuden lämpötilakertoimia ja kimmokertoimia.

Materiaali	Pituuden lämpötilakertoimen $1/^\circ\text{C} \times 10^{-6}$	Kimmoduuli GPa
Betoni	10	25 – 40
Kevytsoorabetoni	8 – 10	9 – 30
Teräs	10	200
Ruostumaton teräs	16	200
Alumiini	24	71,1
Luonnonkivi	8 – 12	65 – 125
Lasikuitu	7,5 – 9	70 – 80
Hiilikuitu	-0,1...-1,3/18 ¹⁾	190 – 550
Epoksi (EP)	45 – 65	2,5
Polyuretaani (PUR)	100 – 200	0,7 – 7
Polyesteri	55 – 100	2 – 4,5
Akryyli (PMMA)	50 – 90	2,5 – 3,1

¹⁾ Pituussuunnassa/poikkisuunnassa

5.4 Betonin tiiviysominaisuudet

Jos betoni ei ole tiivistä ja jos rakenteissa on paljon halkeamia, pääsevät teräskorroosiota aiheuttavat aineet tunkeutumaan helposti betoniin ja yhä suurempi pinta joutuu niiden vaikutuksen alaiseksi. Lisäksi betonin karbonatisoituminen on voimakkaampaa, jos betoni ei ole tiivistä ja tasalaatuista.

Tavoitteeksi on asetettava mahdollisimman suuri raekoko ja mahdollisimman pieni vesi-sementti-suhde. Tavoitteeksi voidaan asettaa

- kiviaineksen suurin raekoko 32 mm
- vesisementtisuhde 0,40.

Tällöin on otettava huomioon rakenteen mitat, raudoituksen muoto ja tankojen välit, betonin siirtotapa ja työmaan yleiset järjestelyt.

Ruiskubetonin tiiviyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Tarkkailtavia osatekijöitä ovat kiviaineksen laatu ja rakeisuus sekä vesi-sementtisuhde.

Betonin käsittelyyn liittyvät työtekennilliset ongelmat voidaan ratkaista lisä- ja seosaineita käyttämällä esimerkiksi seuraavasti:

- Jos raudoitteet ovat tiheitä, on käytettävä notkistetta. Notkistetta pitäisi käyttää tehonotkisteen tapaan eli pyrkimällä samalla pienentämään vesi-sementtisuhdetta.
- Huokostus parantaa betonimassan muokkautuvuutta, lisää notkeutta ja vähentää osa-aineiden erottumista. Lisäksi betonin vesitiiviys yleensä paranee, koska ilmahuokokset katkaisevat kapillaariverkoston.
- Silika tiivistää betonia, jolloin kapillaarihuokosten osuus sementtikivessä jää tavallista pienemmäksi. Toisaalta silika lisää betonin plastista kutistumista aiheuttaen halkeilua, ellei jälkihoito ole tehokasta.

5.5 Betonin säilyvyys

Betonirakenteiden säilyvyydellä ymmärretään sen kykyä säilyttää toiminnalliset ominaisuutensa ulkoisia rasituksia vastaan läpi ennalta määritetyn ajanjakson eli suunnittelukäyttöiän.

Betonirakenteiden vaurioitumismekanismeja on esitetty taulukossa 13.

Betonin pakkasvauriot ja raudoituksen korroosio ovat Suomessa yleisimmät siltojen säilyvyysohgelmat. Näitä ja betonin koostumuksen vaikutusta vaurioherkkyyteen käsitellään lähemmin seuraavissa kappaleissa.

Taulukko 13. Betonin ja betonirakenteen ulkoisia rasituksia ja niihin liittyvät turmeltumismekanismit.

Turmeltumistekijä	Mekanismi	Vaikutus
Mekaaniset tekijät:		
Staattinen kuorma	muodonmuutos, taipuma, puristuma, venymä	taipuma, halkeilu, murto
Dynaamiset kuormat	väsytyt, muodonmuutos	taipuma, halkeilu, murto
Sysäyskuormat	väsytyt	taipuma, halkeilu, murto
Kemialliset tekijät:		
Pehmeä vesi	liukeneminen	betonin rapautuminen
Happo	liukeneminen	betonin rapautuminen
Happo	neutraloituminen	teräskorroosion aktivoituminen
Happamat kaasut: hiili-, rikki- ja typpi- oksidi	neutraloituminen karbonatisoituminen	teräskorroosion aktivoituminen mikrorakenteen epäedullinen muuttuminen
Kloridit, (jäänsulatusaineet) merivesi	passiivikalvon rikkoutuminen	teräskorroosion aktivoituminen
Aktiivivälillä olevat terästangot+happi+vesi	korrosio	terästankojen paisuminen, pinta-alan ja tartunnan menetys
Jännitys, kloridit	jännityskorrosio (vetyhaurastuminen)	jännneraudoitteiden katkeaminen
Sulfaattit, merivesi, maaperä	kiteytymispaine kemialliset muutokset	betonin paisuminen betonin rapautuminen
Alkalit, silikaattikivi- aines	alkali-piihappo reaktio alkali-silika reaktio	betonin paisuminen betonin rapautuminen
Alkalit, karbonaatti- kiviaines	karbonaattireaktio	betonin paisuminen betonin rapautuminen
Fysikaaliset tekijät:		
Lämpötilan vaihtelu	lämpöliike	estetty ja vapaa muodonmuutos rapautuminen, säröily, halkeilu
Kosteuden vaihtelu	kutistuma, paisuminen	estetty ja vapaa muodonmuutos rapautuminen, säröily, halkeilu
Pakkanen, vesi	jäänmuodostus	betonin rapautuminen, halkeilu, säröily
Liukkaudentorjunta- suolat, pakkanen	osmoottinen paine	betonin rapautuminen ja hal- keilu, kemialliset muutokset
Kelluvat jäälautat	kulutus	halkeilu, rapautuminen
Liikenne	kulutus	urautuminen, kuluminen
Virtaava vesi, pyörteinen vesi	erosio kavitaatio	kuluminen, pinnan vaurioituminen, onkaloituminen

5.5.1 Betonin pakkasenkestävyys

Betonin vaurioituminen pakkasrasituksessa ilmenee lujuuden menetyksenä, tilavuuden kasvuna, läpäisevyyden lisääntymisenä, tilavuuden kasvuna tai pinnan rapautumisena; viime kädessä näkyvinä halkeamina ja lohkeamisina.

Pakkasrapautuminen on lähes aina viime kädessä betonin sisäisten jännitysten ylittymisestä johtuvaa. Pakkas-suolarapautumisessa myös kemialliset tekijät voivat olla mukana. Betonin kapillaarihuokosten vesi on pakkasrapautumisen pääasiallinen aiheuttaja. Betonin pakkasvaurion voi aiheuttaa myös sementtikivimatriisin ja kiviaineksen erisuuruinen lämpölaajeneminen.

Pakkasrasituksen vaikutusta betoniin on yleisimmin selitetty hydraulisen paineen ja jääkiteen kasvun teorioilla. Mikäli veden jäätyminen aiheuttama tilavuudenkasvu ei pääse vapaasti tapahtumaan (hydraulisen paineen teoria) tai jään kiteytymispaine huokosissa ylittää sementtikiven vetolujuuden (jääkiteen kasvun teoria), betoni vaurioituu.

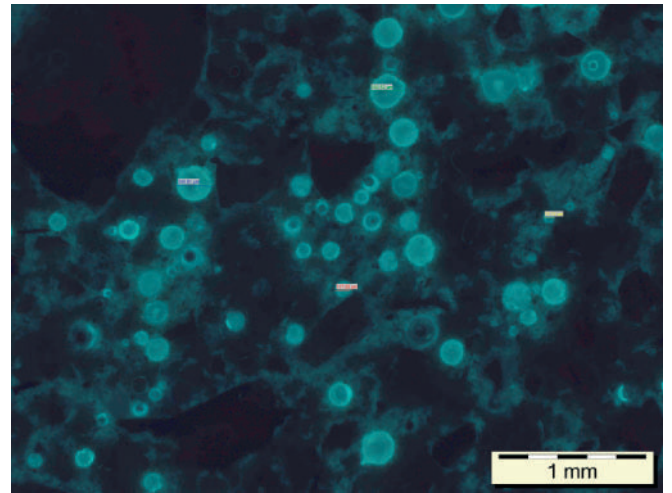
Jäänsulatusaineet lisäävät betonirakenteisiin kohdistuvia pakkasrasituksia. Kloridit nostavat vedelläkyllästysastetta ja laskevat kriittistä kyllästysastetta. Vedelläkyllästysasteen kasvu johtuu siitä, että kloridisuolojen läsnä ollessa kosteuden imeytymistä betoniin voi tapahtua alhaisissa lämpötiloissa rakenteen pinnalta ja ilmasta lähes jatkuvasti. Kriittinen kyllästysaste alenee, koska kloridisuolat kasvattavat jäätympainetta ja lisäksi heikentävät betonin kykyä vastustaa näitä paineita.

Jäänsulatusaineet pitävät betonin sulana, jolloin myös sen mekaaniset ominaisuudet, jotka ovat parhaimmillaan jäätyneessä tilassa, heikkenevät ja betonin vastustuskyky säröjen muodostumista ja rapautumista vastaan heikkenee. Kloridisuolat vaikuttavat sementtikiveen kemiallisesti heikentäen myös tätä kautta betonin pakkasenkestävyyttä.

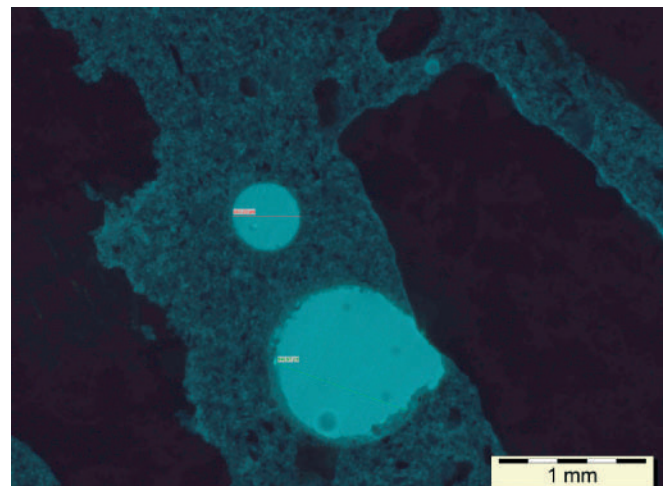
Betonin huokosrakenne ja pakkasenkestävyys

Betonin huokoisuus on tärkein betonin pakkasenkestävyyttä säätelevä tekijä. Kovettuneen betonin huokoisuus vaihtelee välillä 12...18 prosenttia. Suurin osa betonin huokostilavuuden sisältämästä vedestä kykenee jäätymään.

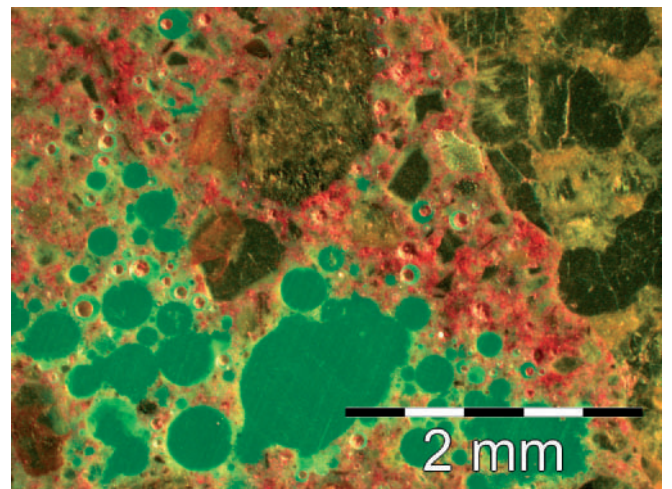
Betonin pakkasenkestävyyden parantaminen onnistuu parhaiten betonin huokosrakennetta säätelemällä (kuvat 31–33).



Kuva 31. Runsas suojahuokostus ohuthieessä (huokosjako 0,12 mm, suojahuukosilma 4,6 %).

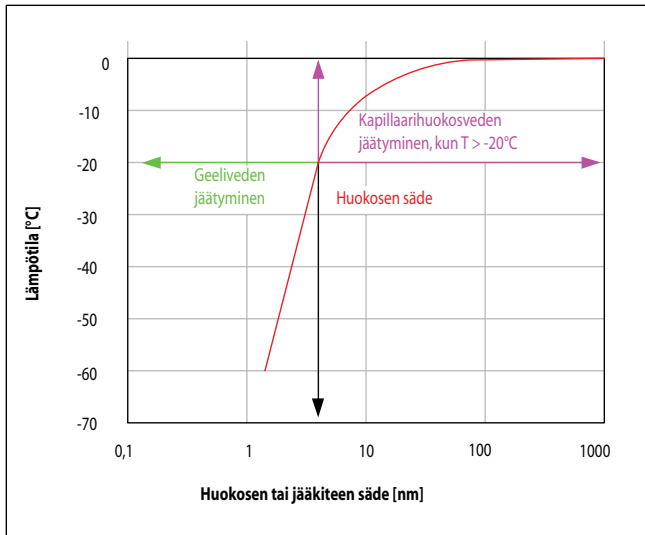


Kuva 32. Epäonnistunut suojahuokostus ohuthieessä (huokosjako 0,39 mm, suojahuukosilma 1,2 %).



Kuva 33. Kasaantunut suojahuokostus betonissa huonontaa pakkasenkestävyyttä, (huokosjako 0,12 mm, suojahuukosilma 3,7 %).

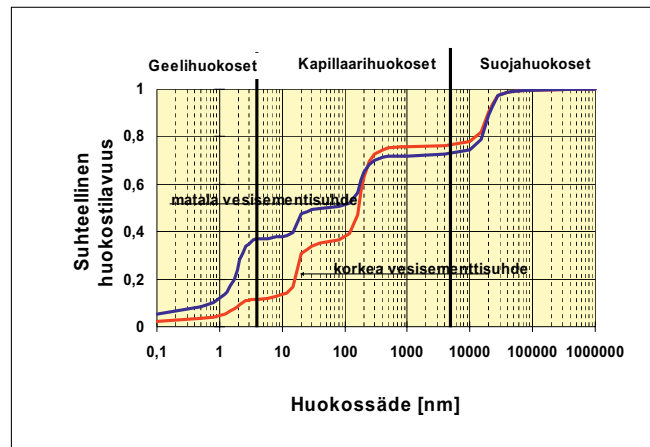
Sementtikivimatriisin pienimmät huokokset, geelihuokokset, ovat normaaliolosuhteissa aina veden täyttämiä. Siitä huolimatta ne ovat pakkasenkestävyyden kannalta ongelmattomia, sillä niissä oleva vesi ei huokoskoon pienen vuoksi yleensä jäädy normaaleissa ulko-olosuhteissa (kuva 34). Suurimpien geelihuokosten vesi alkaa jäätymään noin $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:een lämpötilassa.



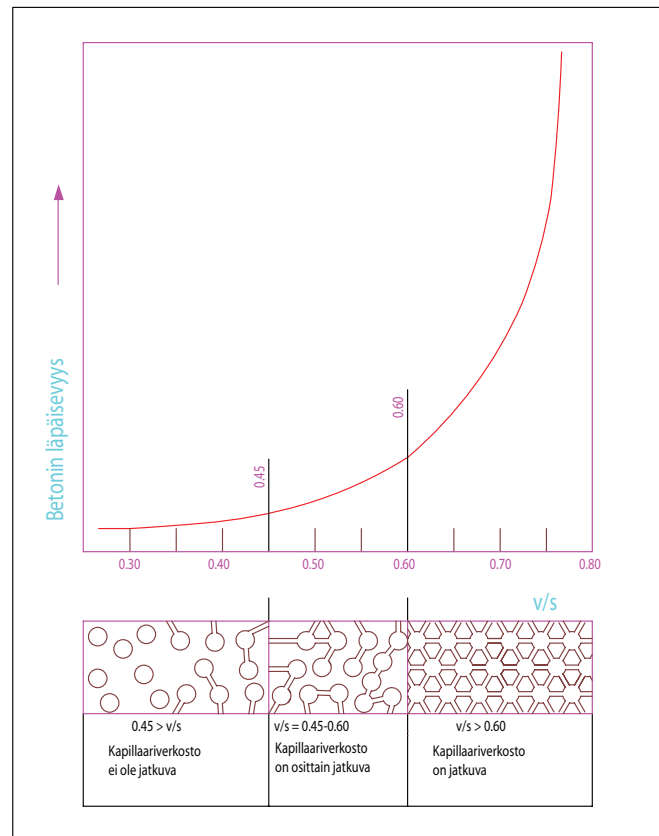
Kuva 34. Kapillaari- ja geelivesien jäätyminen eri lämpötila- ja huokosalueilla.

Kapillaarihuokokset ovat pakkasenkestävyyden kannalta ongelmallisia. Korkea vesi-sementtisuhte saa aikaan betonissa suuren kapillaarihuokoisuuden ja vaikuttaa epäedullisesti huokosjakumaan. Kapillaarihuokosissa oleva tai niihin tunkeutuva vesi jäätyy $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:een alapuolella.

Kapillaarihuokosten tilavuusosuus koko sementtikiven tilavuudesta on sitä suurempi mitä suurempaa vesi-sementtisuhdetta on käytetty (kuva 35) ja mitä alhaisempi on sementin hydrataatioaste. Näin ollen pyrittäessä hyvään pakkasenkestävyyteen, tulee betoni tehdä käyttäen mahdollisimman pientä vesi-sementtisuhdetta, jotta kapillaarihuokoisuus jäisi mahdollisimman alhaiseksi ja hyvää jälkihoitoa, jotta hydrataatioaste saataisiin mahdollisimman korkeaksi. Kun vesi-sementtisuhteen arvo ylittää 0,65 muodostuu kapillaarihuokosverkostosta lisäksi yhtenäinen, mikä alentaa merkittävästi lujuutta, lisää läpäisevyyttä ja heikentää säilyvyyttä. Kuvassa 36 on esitetty kaaviomaisesti kapillaarihuokoisuuden riippuvuus vesi-sementtisuhteesta.



Kuva 35. Kapillaari- ja geelihuokostilojen osuus betonin kokonaishuokostilavuudesta matalalla vesi-sementtisuhteella/korkealla hydrataatioasteella (ylempi käyrä) ja korkealla vesi-sementtisuhteella/matalalla hydrataatioasteella (alempi käyrä).



Kuva 36. Vesi-sementtisuhteen vaikutus betonin huokosrakenteeseen ja läpäisevyyteen /29/.

Kolmas tapa vaikuttaa betonin pakkasenkestävyyteen huokosrakennetta säätelämällä on betonin lisähuokostaminen (suojahuokokset). Huokostavia lisäaineita käyttämällä sementtikiveen saadaan syntymään läpimitaltaan noin 0,01...0,5 mm olevia huokosia, jotka eivät kapillaarisen imun vaiku-

tuksesta täyty vedellä. Näihin täyttymättömiin ilmahuokostiloihin kapillaarihuokosissa olevan veden jäätyessä syntyneiden jääkiteiden kasvun aiheuttama paine pääsee purkautumaan tai jääkiteet voivat kasvaa painetta aiheuttamatta näissä ilmahuokosissa ja, jos ilmahuokosia on riittävän tiheässä, pakkasvaurioita ei pääse syntymään.

Suojahuokostuksen tavoitearvot riippuvat siitä, miten hyvin muu huokosrakenne säätelee pakkasenkestävyyttä. Jos kapillaarihuokoisuus on alhaisella vesisementtisuhteella onnistuttu saamaan vähäiseksi, jäätyvän veden määrä on myös vähäinen ja näin ollen myös alhaisempi suojahuokostuksen määrä on riittävä. Jonkinlaisena nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että yleensä 5 %:n suojahuokostus takaa pakkasenkestävyyden, kun vesisementtisuhte on enintään 0,50.

Betonin huokosrakenne muuttuu ikääntymisen seurauksena. Betonin pintakerrokseen vaikuttavista ikääntymisilmiöistä merkittävimmät ovat betonin karbonatisoituminen ja siitä aiheutuva kutistuminen ja betonin kosteustilan muutokset. Huokosrakenteen muutokset ilmenevät muutoksina sementtikiven geeli- ja kapillaarihuokosalueessa sekä sementtikiven säröilyinä.

Betonin ikääntyessä kapillaarihuokoisuus lisääntyy, vaikka betonin kokonaishuokoisuus pysyisikin samana, betonin keskimääräinen jäätympiste kasvaa ja sen seurauksena pakkasrasitus lisääntyy. Sen vuoksi esimerkiksi silika- ja kuonabetoneiden pakkasenkestävyys ja myös pakkassuolakestävyys heikkenee suhteellisesti enemmän karbonatisoitumisen seurauksena kuin portlandsementti- ja lentotuhkabetonin kestävyys.

Betonin suojahuokosjaon tavoitearvot on esitetty P-lukuohjeessa /30/. Pienin mitattu huokosjako ei sellaisenaan takaa betonin hyvää pakkasenkestävyyttä, vaan suojahuokosten jakauman pitää olla tasainen koko sementtikivialueessa. Kun kovettuneen betonin suojahuokosjako alittaa tason 0,23–0,25 mm ja kun kovettuneen betonin ilmamäärä on tasolla 4–5 %, edellytykset tavanomaisen betonin hyvään pakkasenkestävyyteen ovat olemassa (katso kuvat 31–33).

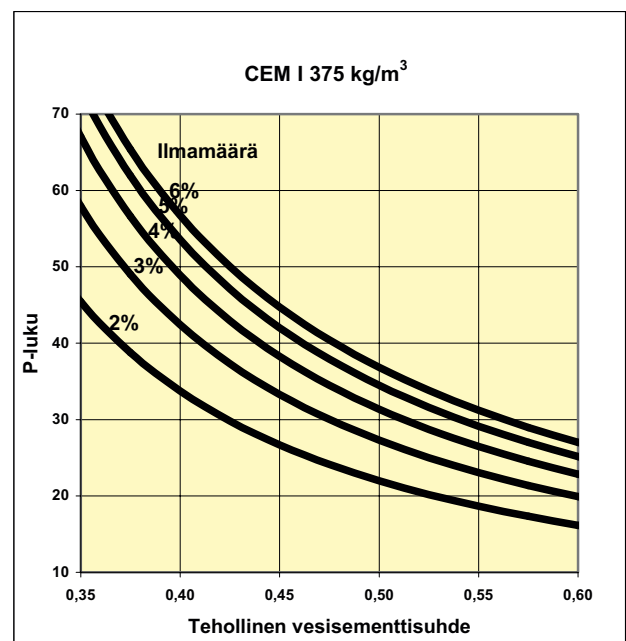
Pakkasenkestävyys P-luvun avulla

Betonin pakkasenkestävyys suolarasitetuissa kohteissa ja myös muissakin sillan osissa arvioidaan P-lukumenettelyn avulla /30/.

P-lukulaskennassa pakkasenkestävyyteen vaikuttavat (kuva 37)

- sideaineen laatu ja määrä
- tehollinen vesimäärä
- ilmamäärä ja
- jälkihoitoaika.

Sillankorjaustöissä P-lukuvaatimukset määräytyvät sillan osan rasitustason mukaan. Kovimpien rasitusten alaiset reunapalkit, ajoradan suolasumuvaiikutuksen alaiset sillan osat, kuten pilarit ja veteen rajoittuvat sillan osat, mitoitetaan pakkasenkestävyysluokkaan P50; harvemmin luokkaan P70.



Kuva 37. Tehollisen vesi-sementtisuhteen ja ilmamäärän vaikutus P-lukuun.

Jälkihoitoajan pidentäminen parantaa betonin pakkasenkestävyyttä. Hyvällä jälkihoidolla päästään korkeampaan hydrataatioasteeseen ja pienempään kapillaarihuokoisuuteen. Keskimäärin jälkihoitoajan pidentäminen 7:stä 28 vuorokauteen vähentää koekiden mukaan pakkassuolarapaumaa noin 10 %.

5.5.2 Betonin kulutuksenkestävyys

Siltarakenteiden pintoja kuluttavat esimerkiksi liikenne ja veden virtaukset. Veden mukanaan kuljettamat kiinteät ainekset aiheuttavat eroosiota vesirakenteisiin. Eroosion nopeus riippuu

- ainesten määrästä, muodosta ja kovuudesta
- veden virtausnopeudesta
- betonipinnan muodosta sekä betonin laadusta.

Vaikka hyvälaatuinen betoni voi kestää tasaisen, pinnansuuntaisen ja nopean virtauksen vaikutusta, voi ns. kavitaation esiintyminen nopeasti virtaavassa ja pyörteisessä vedessä johtaa betonin vaurioitumiseen. Kavitaatiovaurioita esiintyy avoimissa kanavissa, jos veden virtausnopeus on yli 12 m/s, mutta umpinaisissa johdoissa virtausnopeuden ollessa paljon pienempikin. Kavitaation vaurioittama

betonipinta on rosainen päinvastoin kuin eroosion aiheuttama sileäksi kulunut pinta.

Betonipäälysteitä rasittavat erityisesti nastarenkaat ja tela-ajoneuvot. Betonin kulutuksenkestävyys on sitä parempi, mitä suurempi sen puristuslujuus sekä kiviaineksen raekoko, kovuus ja suhteellinen tilavuus ovat.

5.6 Betonin kyky suojata raudoitusta korroosiolta

Raudoituksen korroosio on sähkökemiallinen ilmiö, jossa raudan yhdisteet pyrkivät muuttumaan takaisin niiksi yhdisteiksi, joina niitä luonnossa esiintyy. Betonin teräskorroosiota ehkäisevä vaikutus perustuu sen fysikaaliseen ja kemialliseen suojavaikutukseen. Betoni antaa fysikaalisen suojan raudoitukselle siten, että korroosion kannalta välttämättömien aineiden, hapen ja veden ja korroosiota edistävien aineiden kuten kloridien tunkeutuminen raudoituksen läheisyyteen hidastuu. Fysikaalisen suojan tehokkuus riippuu betonipeitteen tiiviydestä ja paksuudesta.

Kemiallinen suojavaikutus perustuu betonin luontaiseen emäksisyyteen ja raudoituksen kykyyn muodostaa pinnalleen tiivis oksidikalvo emäksisessä ympäristössä. Betonin emäksisyys on peräisin pääasiassa sementin hydrataatiossa syntyneestä kalsiumhydroksidista. Betonin huokosveden pH-arvoa nostavat edelleen sementin sisältämät alkalit. Betonin huokosveden pH-arvo on tavallisesti noin 13...14. Kun betonin emäksisyys laskee arvon 9 alapuolelle, betonin kemiallinen suojavaikutus häviää ja rauditus menettää passiivisuutensa. Tällöin teräksen korroosio voi alkaa. Kloridipitoisessa betonissa raudoitteiden passiivikalvo tuhoutuu vaikka betonin emäksisyys olisikin korkea.

5.6.1 Betonin karbonatisoituminen

Betonin emäksisyyden lasku johtuu sen karbonatisoitumisesta. Karbonatisoitumisella tarkoitetaan ilman hiilidioksidin reagoitua betonin kalsiumhydroksidin ja kalsiumsilikaattihydraattigeelin kanssa. Ilmiö tapahtuu ilmatilassa kaikilla betonipinnoilla ja sen seurauksena betonin pintakerros neutraloituu. Kun neutraloitunut betonivyöhyke etenee raudoituksen läheisyyteen, teräksen korroosio alkaa. Karbonatisoitumisen on havaittu nopeutuvan ilman rikkiyhdisteiden vaikutuksesta.

Karbonatisoitumisen nopeus riippuu monista betonin laatutekijöistä, mutta ennen kaikkea sen tiiviydestä ja kalsiumhydroksidipitoisuudesta. Tiiviydestä riippuu, kuinka helposti ilman hiilidioksidi pääsee tunkeutumaan betoniin. Kalsiumhydroksidipitoisuudesta riippuu, kuinka paljon hiilidioksidia voi betoniin sitoutua. Ulkoisista tekijöistä merkittävin on betonin kosteustila, sillä karbonatisoituminen on nopeimmillaan 50–60 % suhteellisessa kosteudessa. Sateelle alttiina oleva betoni karbonatisoituu samassa ajassa noin neljäsosan siitä mitä sateelta suojattu betoni (taulukko 15).

Taulukko 14. Betonin koostumuksen ja ympäristöolosuhteiden merkitys karbonatisoitumisen kannalta.

Erittäin merkittävät	Merkittävät	Merkitys vähäinen
vesi-sementtisuhde	lujuus, ikä	betonin tiheys
sementin määrä ja laatu	hiilidioksidipitoisuus	kiviaines
betonin huokoisuus	betonin kosteuspitoisuus	rikkidioksidipitoisuus
betonin tiiviys	betonipinnan laatu	lämpötila
ilmasto-olosuhteet	sementin hienous betonin kosteuspitoisuus ja sen vaihtelu	rakenteen geometria

Betonin tiiviys riippuu ennen kaikkea vesi-sementtisuhteesta, sementin laadusta ja betonin kosteustilasta kovettumisvaiheen aikana. Ne määrittelevät kapillaarihuokosalueen, jonka läpäisevyys säätelee diffuuntoituvaa hiilidioksidimäärää.

Suojahuokostuksen vaikutus betonin karbonatisoitumisnopeuteen on kaksijakoinen. Suojahuokostus estää esimerkiksi pakkassäröilyä ja siten parantaa betonin tiiviyttä. Lisäksi suojahuokostuksen on todettu parantavan diffuusiovastusta ja siten hidastavan karbonatisoitumista. Toisaalta jos lähtökohdaksi otetaan sama perusbetoni, joka ainoastaan huokostetaan pitäen alkuperäiset seossuhteet samoina, karbonatisoituminen nopeutuu huokostuksen vuoksi. Jos taas tarkastellaan samaa lujuustasoa olevia huokostettuja ja huokostamattomia betoneita, huokostettu betoni karbonatisoituu hitaammin (vertaa kaavat).

Sideaineen laatu vaikuttaa sitoutuvaan hiilidioksidimäärään. Pozzolaanisten sivutuotteiden (siliika ja lentotuhka) neutraloitumista nopeuttava vaikutus perustuu siihen, että ne hydratoituessaan kuluttavat betonin emäksisyyttä ylläpitävää kalsiumhydroksidia. Toisaalta niiden neutraloitumista hidastava vaikutus johtuu portlandsementtibetonia paremmasta tiiviyydestä, minkä vuoksi hiilidioksidin diffuuntoituminen betoniin hidastuu. Vastaavasti masuunikuonaa tai lentotuhkaa sisältävä betoni karbonatisoituu nopeammin kuin portlandsementtobetoni.

Betonin emäksisyysreservi ja sitä kautta sen kyky vastustaa karbonatisoitumista on sitä suurempi mitä enemmän kalsiumhydroksidia sementin hydratoituessa syntyy. Syntyvän kalsiumhydroksidin määrä on sitä suurempi mitä korkeampi sementin määrä on ollut ja mitä korkeampaan hydrataatioasteeseen on onnistuttu hyvällä jälkihoidolla pääsemään. Betonirakenteiden pitkäaikaiskestävyyden varmistamiseksi normeihin ja ohjeisiin on sisällytetty minimisementtimäärävaatimus.

Taulukko 15. Olosuhteiden vaikutus karbonatisoitumisnopeuteen verrattuna sateelta suojassa olevan rakenteen karbonatisoitumiseen.

Betonin säilytysolosuhde	Suhteellinen karbonatisoitumisnopeus
Ulkona sateelta suojassa	1
Sateelle alttiina	0,25
Suhteellinen kosteus 70 %	1,60
Suhteellinen kosteus 45 %	1,80

Betonin karbonatisoitumisnopeus voidaan arvioida sekä vesi-sementtisuhteeseen että betonin puristulujuuteen perustuvilla laskentamalleilla.

Portlandsementistä CEM I tehdyn betonin karbonatisoitumisnopeus voidaan keskimääräisesti arvioida vesisementtisuhteen ja ilmamäärän perusteella sateelta suojatuissa ulko-olosuhteissa kaavasta, jonka TkT Seppo Matala on johtanut tutkimustensa pohjalta.

$$d = A + B \cdot \sqrt{t}$$

Kaavassa A ottaa huomioon nopean alkukarbonatisoitumisen ja B on vesi-sementtisuhteesta ja ilmamäärästä riippuva kerroin seuraavasti:

$$A = 3 \cdot (v/s - 0.25)$$

ja

$$B = 8,7 \cdot (v/s)^{1,9} + 0,3 \cdot (a - 4)$$

d = karbonatisoitumissyvyys [mm]

v/s = vesi-sementtisuhte

a = ilmamäärä [%]

t = karbonatisoitumisaika vuosina.

Kun vesi-sementtisuhdetta ei tunneta, voidaan sementtilaadusta CEM I tehdyn betonin karbonatisoitumisnopeus arvioida keskimääräisesti lujuuden ja ilmamäärän perusteella sateelta suojatuissa ulko-olosuhteissa kaavasta

$$d = k \cdot \sqrt{t}$$

k on lujuudesta ja ilmamäärästä riippuva kerroin seuraavasti:

$$k = \frac{7140 \cdot (K + 25)^{-1,85}}{0,98 + 0,02 \cdot a} - 1,04$$

d = karbonatisoitumissyvyys [mm],

K = betonin K-lujuus 28 vuorokauden iässä,

a = ilmamäärä [%]

t = karbonatisoitumisaika vuosina.

Seossementeillä tehtyjen betonien karbonatisoituminen on nopeampaa kuin edellä lasketuilla kaavoilla määritetty CEM I:n karbonatisoitumisnopeus. Seossementtien vaikutusta karbonatisoitumiseen voi arvioida muun muassa ohjeen by 50 /3/ mukaan

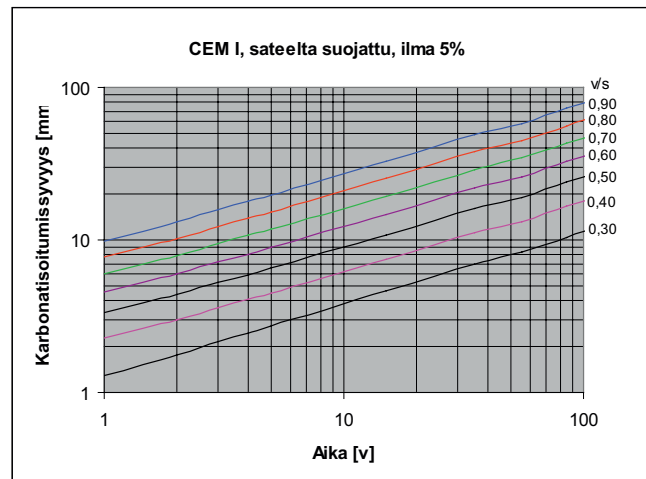
5.6.2 Kloridien tunkeutuminen betoniin

Kloridi-ionit (Cl^-) pääsevät vapaasti kulkeutumaan betoniin kosteuden mukana, mutta betonin huokokset hidastavat niiden tunkeutumista. Rakenteiden pinnoille, joihin suolainen vesi pääsee vaikuttamaan, syntyy kloridipitoisuusgradientti ts. kloridipitoisuus alenee tasaisesti syvyyden funktiona.

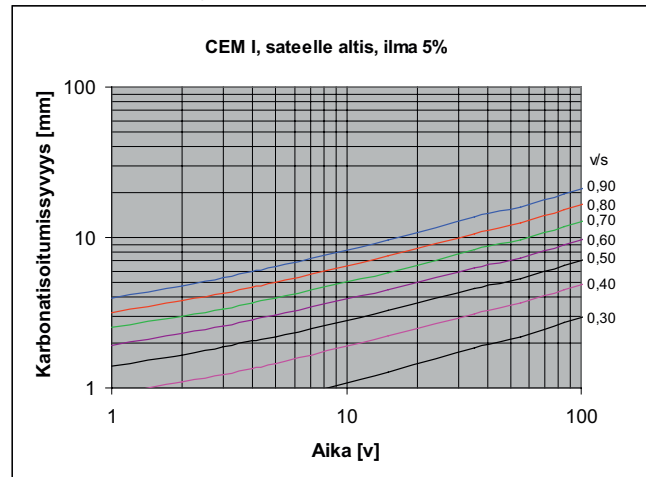
Kloridipitoisen ja kloridittoman betonin välillä ei ole jyrkkää rajaa, niin kuin on karbonatisoituneen ja karbonatisoitumattoman betonin välillä. Siksi on oleellista tietää, mikä on kriittinen kloridipitoisuus eli kloridipitoisuuden kynnyksarvo, jota suurempi kloridipitoisuus rikkoo passiivikalvon ja käynnistää korroosion. Korroosion alkamisajankohtana voidaan pitää hetkeä, jolloin raudituksen syvyydessä oleva betoni saavuttaa kriittisen kloridipitoisuuden.

Betonin kloridipitoisuuden kriittiset arvot on esitetty kohdassa 1.3.

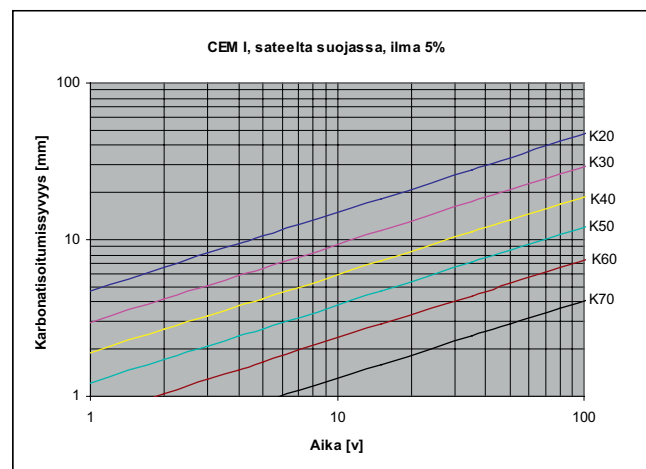
Kloridikorroosion estämisessä betonirakenteen tiiviys on ensiarvoisen tärkeä. Se saavutetaan käyttämällä alhaista vesisementtisuhdetta ja esimerkiksi silikajauhetta. Tällöin myös notkistavien lisäainesten käyttö on yleensä välttämätöntä. Suoja kloridikorroosiota vastaan edellyttää myös halkeilun estämistä. Kloridikorroosion eteneminen halkeilleen betonin raudotteissa on niin nopea, että suolaroiskeille ja suolasumulle alttiina olevien rakenteiden sallittua suuremmat halkeamat tulee imeyttää, injektoida tai muuten suojata klorideilta.



Kuva 38. Tehollisen vesisementtisuhteen ja ajan vaikutus karbonatisoitumisnopeuteen huokostetussa sateelta suojatussa portlandsementtibetonissa.



Kuva 39. Tehollisen vesisementtisuhteen ja ajan vaikutus karbonatisoitumisnopeuteen huokostetussa sateelle alttiissa portlandsementtibetonissa.



Kuva 40. Puristuslujuuden ja ajan vaikutus karbonatisoitumisnopeuteen huokostetussa sateelta suojatussa portlandsementtibetonissa.

5.7 Betonin kemiallinen kestävyys

Kemialliset rasitukset aiheuttavat betoniin joko sisäistä tai ulkoista korroosiota. Esimerkkejä sisäisestä korroosiosta ovat kiviaineksen sisältämä humus, alkalirunkoainesreaktion ja joko runkoaineesta tai sementistä peräisin olevan sulfaatin aiheuttamat paisumisreaktiot.

Betonin ulkoista kemiallista korroosiota aiheuttavat erilaiset aineet joutuessaan kosketuksiin betonin ja betonirakenteiden kanssa. Tällöin ne saattavat reagoida betonin osa-aineiden kanssa tai liuottaa niitä ja siten vaurioittaa betonirakennetta. Näistä aineista hapot ja sulfaatit ovat betonia syövyttäviä.

Yleisimmät betonia vaurioittavat yhdisteet joko happamina aineina liuottavat sementin hydrataatiotuotteita, heikentävät hydrataatiotuotteiden ominaisuuksia ioninvaihdon kautta tai paisuttavat hydrataatiotuotteita ja sitä kautta vaurioittavat rakennetta /31/.

Sulfaatti reagoi sementin sisältämän trikalsiumalumiinaatin (C_3A) ja sen hydrataatiotuotteiden kanssa muodostaen ettringiittiä joka suuren tilavuutensa vuoksi paisuttaa betonia. Kovettunut betoni ei tällaista paisumista kestä, vaan vaurioituu. Ensimmäisessä vaiheessa ettringiitti täyttää huokostetun betonin suojahuokosia heikentäen betonin pakkasenkestävyyttä. Sulfaatinkestävän betonin käyttö on varmin tapa välttää vaurioilta. Haitallinen ettringiitti-reaktio voi aiheutua joko ulkoisesta sulfaattilähteestä tai sisäisesti esimerkiksi korkean hydrataatiolämpötilan vuoksi.

Hapot liuottavat sementtiä sekä sementin hydrataatiossa syntyviä yhdisteitä. Kiviaineksenä mahdollisesti käytetty kalkkikivi liukenee myös happoihin. Luokitus tehdään liuoksen happamuusasteen,

eli pH:n mukaan. Vesiliuos on sitä happamampaa ja samalla aggressiivisempaa, mitä alhaisempi pH on.

Aggressiivisen CO_2 vahingollisuus perustuu hiilidioksidin vesiliuoksen kykyyn liuottaa sementin kalsiumyhdisteitä. Samalla tavalla toimiva, mutta paljon yleisemmin varsinkin jätevesissä esiintyvä yhdiste on ammonium-ioni (NH_4^+). Magnesium-ioni (Mg^{2+}) muuttaa kalsiumyhdisteitä ioninvaihdon kautta vastaaviksi magnesiumyhdisteiksi, joilla ei ole enää alkuperäisiä sideaineominaisuuksia. Näin magnesium myös itse saostuu betonin huokosiin $Mg(OH)_2$:na.

Standardin SFS-EN 206-1:n mukaan betonirakenteille sovelletaan maaperän ja pohjaveden aiheuttaman kemiallisen rasituksen suhteen seuraavaa luokitusta:

- vähän aggressiivinen kemiallinen ympäristö (XA1)
- kohtalaisen aggressiivinen kemiallinen ympäristö (XA2)
- hyvin aggressiivinen kemiallinen ympäristö (XA3).

Luokituksen mukaiset raja-arvot on esitetty standardissa SFS-EN 206-1. Kemiallisessa rasituksessa virtaavan veden vaikutus korostuu.

Tyypillisimmät betonille vahingolliset aineet on luokiteltu pitoisuutensa perusteella eri luokkiin. Julkaisussa *Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007 /31/* on esitetty kemiallisten aineiden luokitus niiden aggressiivisuuden mukaan ja taulukko yhdyskuntajätevesien tyypillisistä fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista.

6. ERIKOISBETONIT

6.1 Erikoisbetonien käyttö

Siltojen betonirakenteet korjataan pääsääntöisesti sementtipohjaisella materiaalilla, jotka vastaavat mahdollisimman hyvin ominaisuuksiltaan alkupe-
räistä betonia. Työtapa, työskentelyolosuhteet tai betonimassalta vaadittavat ominaisuudet saattavat kuitenkin olla sellaiset, että polymeerien kalleu-
des-
ta huolimatta niiden käyttö on perusteltua.

Jos vaurioitunut alue on laaja tai jos betonia tarvi-
taan paljon, vaurioitunut betoni korvataan uudel-
leen valamalla. Valettavan betonikerroksen pak-
suuden tulee yleensä olla vähintään 75 mm. Jos
käytetään tehonotkistetta tai suhteitetaan betoni-

massa oikein, valettavan kerroksen paksuus voi ol-
la 40 mm. Erikoistapauksissa voidaan päästä jopa
25 mm:n valupaksuuteen. Tällöin on kiinnitettävä
erityistä huomiota alustan kosteustilaan ja nope-
aan jälkihoitoon. Korjausbetoneissa käytetään ylei-
sesti useita lisäaineita, mikä edellyttää kokemusta
ja asiantuntemusta.

Ruiskubetonointi on tehokkain menetelmä, jos be-
tonipeitettä vahvennetaan laajalla alueella. Pieni
laastipaikkaus voidaan tehdä ejektorilla ruiskutta-
malla.

6.2 Polymeerien käyttö korjaustöissä

Tartunta vanhaan betoniin voidaan varmistaa po-
lymeeripohjaisella tartunta-aineella, joka sekoite-
taan korjausmassaan tai sivellään tartuntapintaan.
Lisäksi korjausmassan ominaisuuksia voidaan
muuttaa käyttämällä polymeeriä sideaineena joko
sementin kanssa tai yksin.

Pienissä paikkauksissa voidaan käyttää epoksi,
polyesteri- ja akryylipohjaisia paikkausmassoja.
Nämä massat ovat kalliita, joten kustannusvertailu
on yleensä tarpeen.

Jos suuremmassa korjaustyössä on tarpeen val-
mistaa lujuusominaisuuksiltaan ja tiiviydeltään ta-

vallista betonimassaa parempaa massaa, voidaan
käyttää lateksia. Lateksilla tarkoitetaan veteen se-
koitettua orgaanista polymeeria. Vain muutamat la-
teksit sopivat käytettäväksi sementtipastan kans-
sa. Lateksia sisältävää betonia käytetään esimer-
kiksi reunapalkkeihin, liikuntasaumalaitteiden tuki-
kaistoihin, kansilaatan muotoiluvaluihin ja betoni-
siin ajotielaahtoihin.

Muovien ja muiden polymeerien käyttöä sillan kor-
jaustöissä on käsitelty erillisessä ohjeessa /22/.

6.3 Vakiobetoni

Korjattavat kohteet ovat usein pieniä ja työn tulee
edetä nopeasti vaiheesta toiseen. Tällaisessa ta-
pauksessa on pyrittävä siihen, että betonimassa
kovettuu nopeasti ja laadunvarmistus on vaivaton-

ta. Tähän on sillankorjaustöissä päästy kehittämäl-
lä vakiobetoneita, joita on saatavana kuivatuotteina
ja joihin lisätään työmaalla vain vesi.

6.4 Itsetiivistyvä betoni

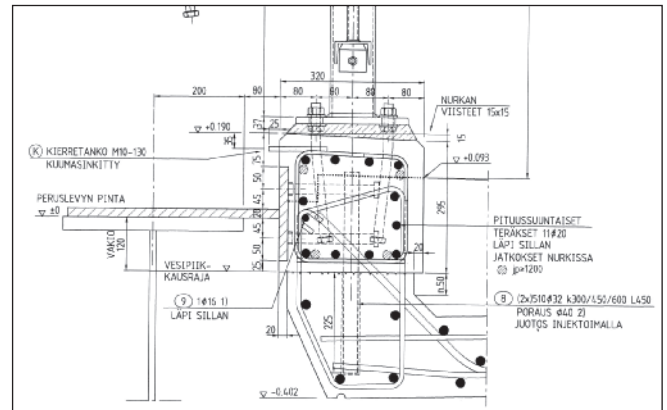
Itsetiivistyvällä betonilla (ITB) tarkoitetaan betonia, joka on erittäin hyvin valuva ja leviävä stabiili betoni ja joka erottumatta täyttää muotit ja ympäröi täysin raudotteet ilman mekaanista tiivistystä. Itsetiivistyvä betonimassa eroaa tavanomaisista täryttämällä tiivistettävistä betoneista juuri muokkautuvuudeltaan. Hyvän itsetiivistyvän betonin muokkautuvuusominaisuuksista keskeisimmät ovat hyvä valuvuus, hyvä läpäisykyky ja erottumattomuus.

Itsetiivistyvän betonin koostumus eroaa mekaanisesti tiivistettävistä betoneista suuremman käytetyn hienoainesmäärän ja tehokkaampien tehonotkisteiden osalta. Suuren hienoainesmäärän tarkoituksena on vähentää karkean kiviaineksen erottumista nostamalla massan kiintoaineksen määrää ja siten myös viskositeettia kuitenkin niin, ettei massan valuvuus heikkene liikaa. Tehonotkisteilla aikaansaadaan itsetiivistyville betoneille hyvät muokkautuvuusominaisuudet, kuten suuri painuma-leviämisen arvo ja pieni viskositeetin arvo. Massan viskositeettiominaisuuksien hallitsemiseksi itsetiivistyvissä betoneissa voidaan käyttää myös stabilisointoreita, joilla on massan koossapysyvyyttä lisäävä vaikutus.

Itsetiivistyvän betonin suurempi hienoainesmäärä saavutetaan käyttämällä tavallista betonia suurempaa sementti- ja fillerimäärää. Riittävän hienoainesmäärän saavuttamiseksi käytetään usein myös muita jauhemateriaaleja kuten kalkkikivijauhetta, lentotuhkaa tai masuunikuonajauhetta.

Itsetiivistyvän betonin puristuslujuudet ovat usein lähellä korkealujuusbetonien lujuutta (vähintään K70). Tämä johtuu itsetiivistyvissä betoneissa käytetyistä suuremmista jauhemateriaali- ja usein myös sementtimääristä. Muiden kovettuneen betonin ominaisuuksien suhteen ITB ei poikkea oleellisesti tavanomaisesta betonista.

Itsetiivistyvän betonin parhaita käyttökohteita sil-lankorjaustöissä ovat mekaanisesti tiivistettävillä betoneilla vaikeasti valettavat rakenteet. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi ahtaat ja tiheästi raudoitettut rakenteet (kuva 41), kuorirakenteet ja erilaiset mantteloinnit. Itsetiivistyvä betoni sopii myös kohteisiin, joissa asetetaan korkeita vaatimuksia muotipinnan laadulle, tiiviydelle sekä säilyvyydelle.



Kuva 41. Tiheästi raudoitettu reunapalkin uusiminen (Sääksmäen silta)

Itsetiivistyvän betonin valmistuksen ja käytön laatuvaatimukset poikkeavat tavanomaisen betonin laatuvaatimuksista mm. ennakkokokeiden, betonin valmistuksen, betonin valun ja vaatimuksenmukaisuuden toteutukseksi tehtävien kokeiden suhteen. Laadunvalvontakokeiden koemenetelmät poikkeavat tavanomaisista laadunvalvontamenetelmistä. Ne on esitetty SYL 3:n /1/ liitteessä 4.

Itsetiivistyvä betoni on koossapysyvyyden ja erityisesti ilman pysyvyyden suhteen herkkä. Sen vuoksi ennakkokokeilla tulee varmistaa massan ominaisuudet ja työnaikaisella laadunvalvonnalla niiden säilyminen koko betonointivaiheen ajan.

ITB:n käyttökohteet on valittava harkiten, koska betonin valmistus, valu ja laadunvarmistus vaativat kokemusta ja ITB:n erikoisominaisuuksien tunteusta.

SYL 3:ssa /1/ on annettu itsetiivistyvää betonia koskevat lisävaatimukset kohdissa:

- 3.3 Betonimassa ja betoni, betonimassan valmistaminen, laadunvalvonta ja pakkasenkestävän betonin valmistus ja laadunvalvonta.
- 3.4 Telineet ja muotit, betonityöt, betonointi, jälkihoito, betonitöiden laadunvalvonta ja betonitöiden vaatimustenmukaisuuden osoittaminen.

6.5 Kuitubetoni

Kuitubetonia käytetään, kun halutaan estää kuitumishalkeamien syntyminen ohuissa valuissa. Sillankorjaustoissa tällaisia kohteita ovat kansilaa-tan muotoiluvalu, reunapalkin uusiminen ja liikunta-saunalaitteiden tukipalkit. Kuituja voidaan käyttää myös ruiskubetonissa, mutta kuivamenetelmässä tarvitaan erikoislaitteita.

Kuidut on sekoitettava betonin valmistuksen aika-na tuotekohtaisia ohjeita noudattaen niin, että kuidut jakaantuvat massassa tasaisesti. Muovikuidut ovat helppokäyttöisimpiä, mutta ne ovat lujuusominaisuuksiltaan heikompia. Kuidut nostavat beto-nin hintaa.

Muotoiluvaluissa ja reunapalkeissa voidaan käyt-tää halvempia muovikuituja, jos kuiduilla pyritään estämään vain halkeilua. Jos betonilta vaaditaan lujuutta ja kulutuksenkestävyyttä, on syytä yleen-sä käyttää teräskuituja. Pintaan jäävät teräskuidut ruostuvat ja osa niistä jää koholle, mikä on otetta-va huomioon ulkonäköseikkana ja pintaan jäävinä piikkeinä.

Kuitutyyppi ja kuitujen annostus on harkittava huo-rellisesti noudattaen tuotekohtaisia ohjeita ja asian-tuntijoiden neuvoja, koska useimmat kuidut nosta-vat betonin hintaa merkittävästi.

6.6 Kevytsorabetoni

Kansilaattojen yläpintoja joudutaan usein muotoile-maan, jotta viettokaltevuudet saadaan nykyisiä vaa-timuksia vastaaviksi. Usein joudutaan myös täyttä-mään syntyneitä onkaloita. Koska sillan oman painon lisääminen ei tällöin yleensä ole suotavaa, voidaan käyttää kevytsorabetonia. Puristuslujuusluokkaan

K30 voidaan päästä, jos kevytsorabetonin tiheys on 1600–1700 kg/m³.

Kevytsorabetonin koostumus on suunniteltava huo-rellisesti ja ennakkokokeita tehden, koska epäön-nistumisia on sattunut melko paljon. Asiantuntijan käyttö on välttämätöntä.

6.7 Huuhtoutumaton betoni

Huuhtoutumatonta betonia käytetään korjattaessa sillan alusrakenteita veden alla tai vesirajaan teh-tävillä valuilla (kuva 42).

Huuhtoutumaton betoni valmistetaan joko lisäainei-den avulla tai valmiista kuivatuotteesta. Lisäaineet parantavat betonin koossapysyvyyttä vähentämäl-lä veden ja kiviaineksen erottumista ja notkistavat massan. Sementtiliima ei huuhtoudu merkittävästi. Jos korjaus tehdään vedenpinnan vaikutusalueel-le, on massa lisäksi huokostettava.



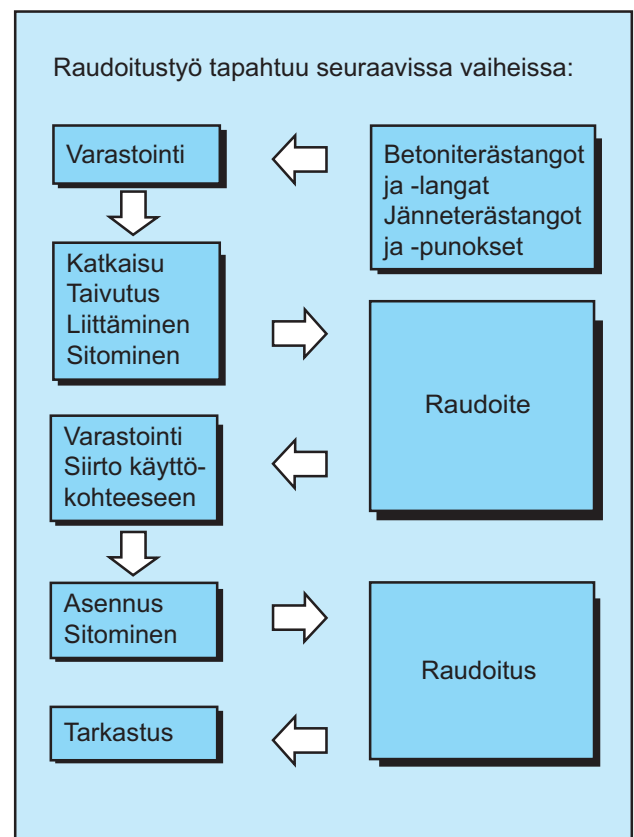
Kuva 42. Veden pinnan vaikutusalueen rapautu-misvaurio on korjattu huuhtoutumattomalla beto-nilla.

7. RAUDOITUS

7.1 Raudoitustyön vaiheet

Raudoitustyö tapahtuu kuvan 43 esittämissä vaiheissa.

Korjausrakentamisessa on tärkeää, että betonin purkaminen tehdään siten, ettei vaurioiteta paikalleen jäävää raudoitusta. Tästä syystä vesipiikkaus on suositeltavin purkamismenetelmä. Muita menetelmiä käytettäessä on periaate, että raudoitusta lähestyttäessä purkaminen tehdään asteittain kevyemmällä välineillä. Betonia puretaan yleensä siten, että piikkaus ulotetaan vähintään tangon halkaisijan verran betoniterästangon taakse.



Kuva 43. Raudoitustyön vaiheet.

7.2 Teräslajit

Silloissa on käytetty pääasiassa kuumavalssattua betoniterästä. Suomessa käytettävien varsinainen betoniterästen ominaisuudet ovat muuttuneet muutamaa otteeseen. Lujuuden ja sitkeyden lisäksi muun muassa hitsattavuus ja tartunta (pintakuviointi) on eri käytetyillä teräsluokilla erilainen. Vuoden 1965 normien harjateräs A 40H on yhtä lujaa kuin A 400H vuoden 1977 normeissa. 1970-luvulla tuli käyttöön A 600H –harjateräs ja 1980-luvulla A 500H –laatu. Myös sileää terästä on ollut saatavissa. Vuoden 1965 normien mukaan se oli laatua A 22 tai A 32, vuoden 1977 normien mukaan A 220 ja 1980-luvulla laatua Fe 37B. Kuumavalssattuja pyörötankoja koskeva standardi on SFS-EN 10025, jonka mukaan pyörötankojen teräslaatu on S235 JRG2. 1980-luvulla yleisiä teräsluokkia Suomessa olivat A400H, A400HW, A500H ja A500HW. 1990-luvun alusta lähtien alettiin käyttää lähes yksinomaan hitsattavia luokkia A400HW

ja A500HW. 1990-luvun alkuvuosina 400-lujuusluokan käyttö hiipui olemattomiin kun A500HW vei siltä markkinat käytännössä kokonaan vuonna -94. Ylimenokautena sillankansissa käytettiin jonkin verran A500HXW terästä, jonka tartunta oli erityisen korkealla tasolla. Vuoden 2004 normeissa by50 otettiin käyttöikämitoituksen osalta huomioon halkeamaleveyksien vaikutus rakenteen käyttöikään, minkä seurauksena betoniterästankojen tartuntaominaisuudet ja niistä riippuva halkeamaleveys uudestaan tuli ajankohtaiseksi.

Jännitetyissä silloissa on käytetty korkealujuuksisia punoksia. Ne olivat 1960-luvulla laatua St 140/160 (=1400/1600 nykyisin) ja 1990-luvulla yleisin laatu oli St 1630/1860. Jännitystangot olivat 1970-luvulla laatua St 600/900 ja myöhemmin jopa laatua St 1080/1230.

Taulukko 16. Betoniterästen lujuusvaatimukset.

Tuotteen tunnus	Standardin numero	Nimellis-halkai-sija d mm	Vetokoe						Taivutuskoe, tuuman hal-kaisija D
			Myötöraja		Murto-lujuus	Murto-venymä	Kokonais-tasaven-ymä		
			R _{eH} min N/mm ²	R _{p0,2} min	R _m min N/mm ²	A ₁₀ min %	A ₂₀₀ mm	A _{gt} min %	
A500HW	SFS 1215	6	500	—	550	12	—	—	1,7d
		8	500	—	550	12	—	—	1,9d
		10	500	—	550	12	—	—	2,0d
		12—14	500	—	550	12	—	—	2,1d
		16—20	500	—	550	12	—	—	2,5d
		25	500	—	550	—	12	—	3,2d
A700HW	SFS 1216	32	500	—	550	—	12	—	3,1d
		10	700	—	750	9	—	—	2,0d
		12—14	700	—	750	9	—	—	2,1d
		16—20	700	—	750	9	—	—	2,5d
		B500K	SFS 1257	4	—	500	550	—	—
		5—12	—	500	550	—	—	3,5	3d
		B600KX	SFS 1259	3—4	—	600	660	—	—
		5—12	—	600	660	—	—	3,5	3d
		B700K	SFS 1260	4	—	700	770	—	—
		5—12	—	700	770	—	—	3,5	4,5d
		B500S	SFS 1258	3—4	—	500	550	—	—
Teräslaji	Standardin numero	d	R _{eH} min		R _m	A5 min			D
S235JRG2	SFS-EN 10025	≤ 16 < 40	235 225		340... 470	25	—		1d

¹⁾D = 5d kun hitsauskohta on taivutusalueella.

Kuumavalssattuja harjatankoja A500HW voidaan jatkaa ja liittää toisiinsa voima- tai asennusliitoksien, jotka on tehty leimu-, tyssä- tai sulahitsausmenetelmin taikka suojakaasu- tai vastuspistehitsausmenetelmin. Lisäksi niitä voidaan liittää kylmämuokattuihin harjatankoihin B500K näiden hitsattavuusohjeita noudattaen.

Kuumavalssattuja harjatankoja A700HW voidaan jatkaa ja liittää toisiinsa sekä muihin hitsattaviin raudoitteisiin voima- ja asennusliitoksien, jotka on valmistettu leimu-, tyssä- tai sulahitsausmenetelmin taikka suojakaasu- tai vastuspistehitsausmenetelmin. A700HW-tankoja voidaan liittää myös kylmävalssattuihin harjatankoihin B500K, näiden hitsattavuusohjeita noudattaen.

Kylmämuokattuja ruostumattomia harjatankoja B600KX ja kylmämuokattuja harjatankoja B500K voidaan käyttää pistehitsausmenetelmillä tapahtuvaan raudoitteiden valmistukseen. Valmistuksen tasalaatuisuuden täytyy vastata tehdasmaista valmistusta. Ruostumattomia betoniterästankoja käytettäessä on otettava huomioon, että ne eivät saa tulla suoraan kosketukseen muun raudoituksen kanssa. Tarvittaessa muun raudoituksen koske-

tuspintaan on siveltävä 250 µm:n epoksimaalikerros tai muu eriste.

Standardi SFS 1265 koskee jännitetyissä betonirakenteissa käytettävää seitsenlankaista teräksistä jännepunosta, jonka pintalangat ovat sileitä tai kuvioituja sekä jännitystankoja.

Betoniteräsverkot ovat betoniterästangoista, esimerkiksi B500K (SFS 1257) tai A500HW (SFS 1215) hitsaamalla valmistettuja raudoituselementtejä. Hitsausliitosten lujuusluokitus noudattaa standardia SFS 1251. Normaalisti käytetään liitosluokkaa FL20.

Varastoverkot ovat neliösilmaisia raudoitteita, joiden tankojen koko ja jakoväli on verkon molempiin suuntiin sama. Varastoverkkojen ulkomitat ovat 2350 x 5000 mm². Varastoverkot valmistetaan vastuspistehitsaamalla kylmämuokatusta harjatangosta B500K (SFS 1257).

Vakiotuotannoksi katsotaan kaikki betoniterästangoista valmistettavat rauditusverkot, joiden pitkitäistankojen jakoväli on 150 mm, 200 mm tai näiden kerrannainen.

7.3 Kuidut

Kuidut parantavat betonin sitkeyttä, joten niitä käytetään sillankorjaustöissä ensi sijassa kutistumishalkeamien estämiseen. Kuitutyypistä riippuen ne voivat parantaa myös väsyty-, isku- ja leikkauslujuutta sekä vesitiiviyttä ja kulutuksenkestävyyttä.

Kuituja valmistetaan erimuotoisia ja useista materiaaleista (kuva 44). Yleisimmät kuitumateriaalit ja niiden ominaisuudet on esitetty taulukossa 17.



Kuva 44. Erilaisia teräs- ja muovikuituja.

Kuitubetonin ominaisuudet määräytyvät seuraavien osatekijöiden perusteella

- betonin suhteitus
- kuidun ominaisuudet
- kuitujen määrä

Taulukko 17. Kuitumateriaalien ominaisuudet.

Kuitumateriaali	Vetolujuus MN/m ²	Kimmomoduuli kN/mm ²	Murtovenymä%
Teräs	700-1500	200	2
Lasi, alkalinkestävä	2500	80	2
Muovi	400	5	20
Hiili	2000	400	1,5

Kuitujen tartunta betoniin riippuu teräskuitujen muodoista ja väkäsistä sekä muovikuitujen pinnan karheudesta. Silloissa käytetään teräskuituja 50–75 kg/m³ ja muovikuituja 1,0–2,5 kg/m³. Merkittävä ero on kuitumateriaalien murtovenymissä. Kuitubetonin tai -laastin pitää täyttää SYL 3:n /1/ kohdan 3.3.6 vaatimukset.

7.4 Pintakäsittely

Betoniraudoituksen suoja-aineet jaetaan eurooppalaisessa standardissa SFS-EN 1504-9 aktiivisiin (active) ja estäviin (barrier) pinnoitteisiin. Aktiivisia ovat erilaiset korroosionsuojalaastit ja estäviä ovat epoksimaalit. Korroosionsuojalaasteja on käsitelty SILKO-yleisohjeessa 1.231 /4/ ja epoksimaaleja SILKO-yleisohjeessa 1.351.

Tiehallinto hyväksyy käyttöönsä epoksinpinnoituksen SYL 3:n/1/ kohdan 3.3.8 ja liitteen 3 mukaan. Epoksinpinnoitus eristää terästangon ympäröivästä korroosiota aiheuttavista aineista kuten klorideista ja hapestasta ja suojaa täten teräksen korroosiolta, edellyttäen että epoksikalvo valmiilla asennetulla raudoitteella on ehjä. Ongelmana on saada suojakalvo pysymään ehjänä varastoinnin, kuljetuksen, jatkojalostuksen ja asennuksen aikana. Epoksinpinnoite heikentää yleensä betonin ja harjatangon välistä tartuntaa. Pinnoitetun harjaterästangon ja betonin välinen tartunta on selvitettävä tartuntavetokokeella SYL 3:n /1/ kohdan 3.3.8.4.6 mukaan.

Kuumasinkitys on toinen tapa suojata raudoite korroosiolta. Standardi SFS 1266 ”Kuumasinkityt betoniraudoitteet – Vaatimukset pinnoitteelle” vahvistettiin vuoden 2006 lopussa. Sinkki toimii uhrautuvana anodina ja antaa suojaa vaikka pinnoite olisikin paikallisesti vaurioitunut. Sinkin ja teräksen korroosionopeus betonissa on suunnilleen sama. Raudoitteen kuumasinkitys lisää raudoitteen käyttöikää ehjässä ja halkeilleessa karbonatisoituneessa betonissa sekä ehjässä kloridipitoisessa betonissa mutta halkeilleessa kloridipitoisessa betonissa kuumasinkityksellä ei ole vastaavaa vaikutusta. Tartuntaominaisuudet säilyvät kunhan sinkkipinnoite on passivoitunut ennen betonin valua. Muussa tapauksessa sinkki reagoi tuoreen betonimassan kanssa muodostaen pieniä vetykuplia tankoa ympäröivässä betonissa, jolloin betonin lujuus paikallisesti laskee ja tartuntalujuus vastaavasti heikkenee. Yleensä sinkkipinnoite passivoituu riittävästi noin neljän viikon ulkona säilytyksellä.



Kuva 45. Epoksipinnoitettu raudoite.

7.5 Ankkuroinnit

Raudoituksen ankkurointi on eurooppalaisen standardin SFS-EN 1504-9 korjausmenetelmä 4.2. Tartuntateräksen ankkurointia varten on laadittu SILKO-ohje 2.651 /32/.

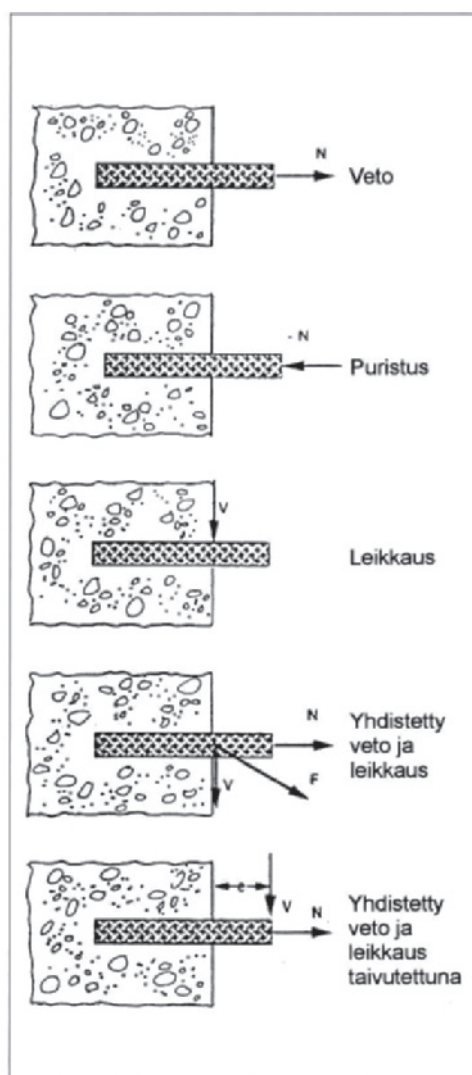
Tartuntaterästankoja tarvitaan, jos sillan raudoitus joudutaan uusimaan tai lisäämään esimerkiksi seuraavissa tapauksissa:

- Reunapalkin kanteen kiinnittävä tai ulokkeen betoniterästanko on syöpynyt niin, että sen poikileikkaus on pienentynyt yli 25 % tai se vaurioituu betonia purettaessa.
- Betonipeitettä paksunnetaan tai rakenteita manteloidaan teräsbetonikerroksella.
- Rakenteen muoto muuttuu; esimerkiksi matala reunapalkki muutetaan korkeaksi.

Ankkurointia varten on laadittava suunnitelma laskelmiseen, jos kysymys on

- rakenteen vahventamisesta
- uuden rakenteen voimia siirtävästä kiinnittämisestä
- erikoisankkureiden käytöstä.

Työtä varten on selvitettävä ankkureiden mitoituksen lisäksi ankkureihin kohdistuvat veto-, leikkaus- ja puristusvoimat ja niiden mahdolliset yhdistelmät (kuva 46) sekä ankkureiden keskinäiset etäisyydet ja reunaetäisyydet. Raudoitustankoihin tavallisimmin kohdistuvia kuormituksia ovat veto ja puristus.



Kuva 46. Tartuntojen kiinnitys vanhaan rakenteeseen

Tartuntateräs sijoitetaan aina raudoituksen sisäpuolelle ja suunnataan siten, ettei se aiheuta lohkeiluvaaraa rakenteen sivupinnassa. Vanhaa raudoitusta vaurioitetaan mahdollisimman vähän, mutta toisaalta tartuntateräs sijoitetaan mahdollisimman lähelle vanhaa raudoitusta. Jos tartuntateräksen ja vanhan raudoitustangon keskinäinen etäisyys $e > 4 \times \emptyset$, jatkospituutta pitää lisätä määrällä $e - 4 \times \emptyset$.

Jos tartuntateräs tai ankkuri jää suojaamattomana 30 mm lähemmäksi betonin pintaa, on käytettävä ruostumatonta materiaalia. Ruostumatonta te-

räs ei saa tulla kosketukseen muun raudoituksen kanssa.

Tarvikkeiden ja työvälineiden hankintaa varten on aina tehtävä työsuunnitelma, jossa määritetään porausmenetelmä, tartuntatyyppi ja kiinnitystapa sekä mahdollinen vetokoe. Jos työryhmä on ankkurointiin harjaantumaton, on syytä tehdä koeankkurointi kohdetta vastaavissa olosuhteissa.

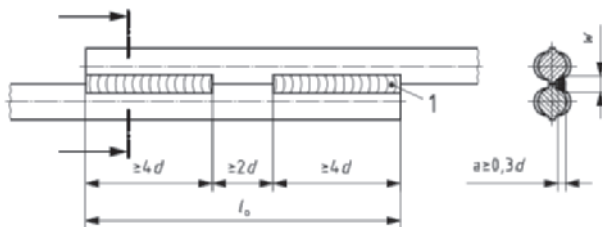
Ankkurointisuunnitelma laaditaan ankkurin valmistajan ohjeiden mukaan. Suunnitteluohjeita on saatavissa ankkureiden valmistajilta.

7.6 Jatkokset

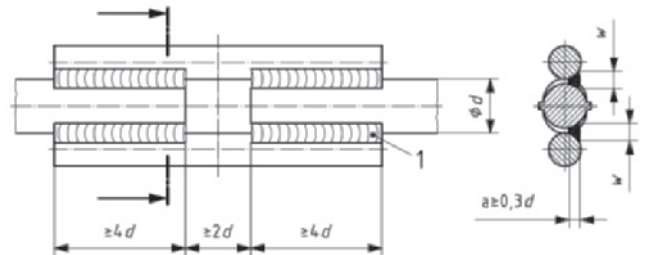
Suomessa käytettyjen hitsattavien betoniterästen hitsattavuus on erikseen osoitettu hitsattavuuskokeella (SFS 1202) materiaalitoimittajan puolesta. Näillä teräksillä on hyvät edellytykset saada aikaiseksi täyden lujuuden hitsattuja limijatkoksia. Teräksiä voidaan myös hitsata yleisiin levymäisiin hitsattaviin rakenneteräksiin limiliitoksilla tai esimerkiksi ankkurointitarkoituksiin poikittain.

Päittäisliitoksilla on erittäin vaikea saavuttaa täyttä lujuutta, joten kannattaa mieluummin käyttää hit-

sattua limiliitosta. Hitsattuja limiliitoksia voidaan tehdä ilman lisätankoja jos rakenteessa on poikittaista raudoitusta (esimerkiksi jakorauditus), joka kompensoi jatkoksen epäkeskisyysovoimat. Käyttämällä kaksoislimiliitosta lisätankojen kanssa saadaan epäkeskisyysoima eliminoitua, mutta hitsien määrä tuplautuu. Hitsattuja voimaliitoksia on käsitelty laajemmin standardissa SFS-EN ISO 17660-1.



Kuva 47. Hitsattu limiliitos.



Kuva 48. Hitsattu kaksoislimiliitos.

7.7 Raudoituksen korjausmenetelmät

7.7.1 Raudoituksen uusiminen

Raudoituksen uusiminen on eurooppalaisen standardin SFS-EN 1504-9 korjausmenetelmä 4.1. Raudoituksen uusimista varten on laadittu *SILKO-ohje 2.652 /33/*.

Teräsbetonirakenteiden raudoitusta joudutaan uusimaan yleensä seuraavista syistä:

- karbonatisoitumisen, liian ohuen betonipeitteen, kloridien tai rakenteellisten halkeamien seurauksena on tapahtunut teräskorroosiota
- raudoitustangot vioittuvat korjaustyöhön liittyviä piikkauksia tehtäessä
- rakenteet ovat murtuneet törmäysten seurauksena
- rauditus on paljastunut pakkassuolakorroosion seurauksena.

Raudoituksen ankkurointi ja jatkokset suunnitellaan ohjeen *by 50 /3/* kohdan 2.2.6 sekä *SILKO-ohjeiden 2.651 /32/ ja 2.652 /33/* mukaan



Kuva 49. Sillan reunan uusittu rauditus välikkeen ja muottikangas.

7.7.2 Rakenteiden vahventaminen

Rakenteiden vahventaminen on tarpeellista joko sillan suunnitellun kantokyvyn ja säilyvyyden ylläpitämiseksi tai sillan kantokyvyn lisäämiseksi.

Betonisilloissa vahventamistyöt kohdistuvat yleisimmin päällysrakenteen kantokyvyn varmistamiseen tai lisäämiseen. Väli- ja maatukirakenteiden ja perustusten kantokykyreservi on yleensä riittävä muuttuvillekin kuormille ja niiden osalta korjaustyöt kohdistuvat yleisimmin rakenteiden saattamiseksi

alkuperäiseen tilaan, siis yleisimmin korroosiovaurioiden korjaamiseen.

Siltarakenteiden vahventamisen suunnittelu edellyttää kokemusta ja ammattitaitoa omaavan suunnittelijan. Suunnittelussa korostuvat erityisesti

- vanhan rakenteen kunnon oikea arviointi
- liittorakenteiden mekaniikan hallinta
- betonin virumasta, kutistumasta ja lämpömuodonmuutoksista johtuvien eriaikaisten muodonmuutos- ja jännitystilojen hallinta
- esijännitystekniikan hallinta
- vahventamisessa käytettävien materiaalien ja menetelmien tuntemus.

Säilyttävässä korjauksessa raudoituksen vahventamismenetelmistä perinteisin on pahoin korroosion vaurioittamien betoniterästankojen korvaaminen uusilla. Tällöin korvaavat raudoitteet toimivat yleensä vain hyötykuormille, mikäli ei käytetä erikoisjärjestelyjä kuten esimerkiksi esikoroituksia, joiden avulla korvaavat raudoitteet saadaan toimimaan myös ainakin osalle pysyvää kuormitusta.

Perinteisten raudoitetyyppien rinnalle ovat tulleet myös uudet materiaalit kuten hiili- ja lasikuiduista valmistetut tangot ja punokset. Näillä uusilla tuotteilla saavutetaan hyvä korroosionkestävyys, kun ne ovat betonin sisässä. Hiili- ja lasikuitutuotteet ovat varsin kalliita, mikä rajoittaa niiden käyttöä. Samoin niiden käyttö edellyttäisi suunnitteluperusteiden ja laadunvarmistusmenettelyjen kehittämistä.

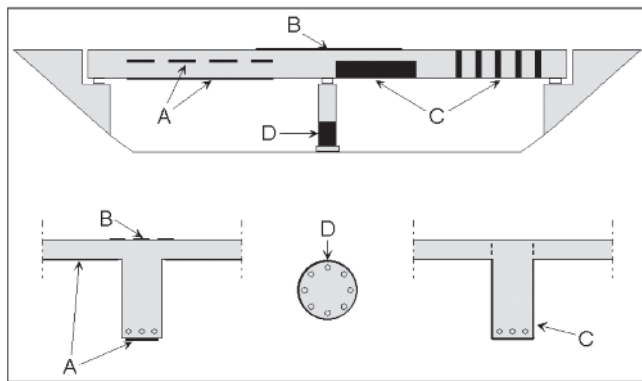
Sillan kantokyvyn lisäämiseksi ja muodonmuutos-tilan, kuten halkeilun rajoittamiseksi tehokkain korjaustapa on esijännitys. Se toteutetaan yleisimmin rakenteen ulkopuolelle asennettavilla suojaputkissa olevilla jänneraudoitteilla.

Liimattavia teräslevyjä on käytetty Suomessa jo 1980-luvun alusta asti sillan vahventamismenetelmänä. Liimausmenetelmän käyttö yleistyi 1990-luvulla palkkirakenteiden vahventamisessa. Teräslevyliimausten rinnalle on viime vuosina tullut samaa periaatetta noudattava hiilikuitunauhojen liimaus. Liimausvahventamismenetelmistä yleisimmät ovat puristusliimaus ja injektointiliimaus. Edellinen sopii sekä teräslevyille että hiilikuitunauhoille ja jälkimmäinen soveltuu teräslevyille.

Vahventamistapana on käytetty myös teräsprofiilien liimausta.

Liimausvahventamisessa on tärkeää selvittää ole-massa olevan rakenteen kunto, sillä vahvikkeille laskettavat voimat siirtyvät rakenteeseen betoni-pinnan kautta. Käytettävien materiaalien (vahvik-keet ja liimat) ominaisuuksista tulee olla luotetta-vaa tutkimustietoa ja liimaustyö toteutetaan liima-usmenetelmän käyttöön perehtyneen urakoitsijan toimesta. Suunnitteluvaiheessa on selvítettävä se-kä materiaalien että työn laatuvaatimukset ja laa-dunvarmistusmenettelyt.

Tiehallinnon julkaisu *Betonirakenteiden liimaus-vahventamisohjeet* /34/ on tarkoitettu suunnittelu-ja työohjeeksi käytettäessä teräslevyä tai hiilikui-tumateriaalia siltojen betonirakenteiden vahventa-misessa. Julkaisussa on esitetty laatuvaatimuksia koskien vahvennettavan rakenteen kuntoa, vah-ventamissysteemin suunnitteluperusteita sekä ma-teriaalin ja vahventamistyön laadunvarmistusta.



Kuva 50. Betonisillan liimausvahventamistapoja (A taivutuksen suhteen kentässä ja Bvälituella, Cleikkauksen suhteen kentäs-sä ja D pilarin vahventaminen) /34/.



Kuva 51. Teräsbetonipalkki on vahvennettu lisä-raudoitteella.



Kuva 52. Hiilikuituvahvennus.

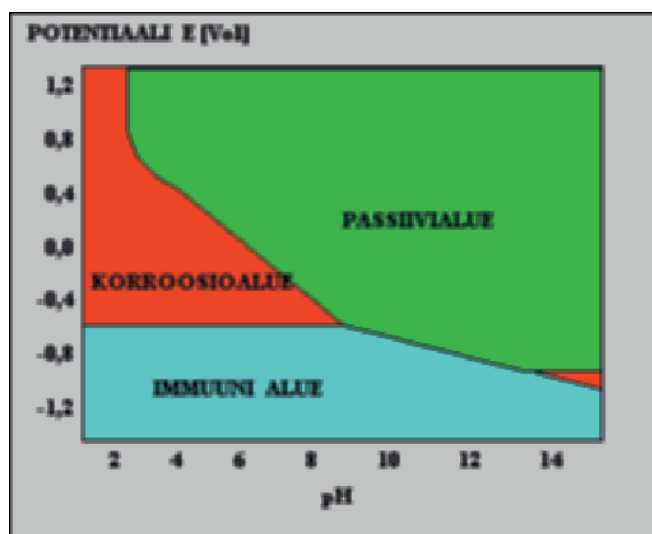
7.8 Rakenteessa olevan raudoituksen suojaaminen

7.8.1 Raudoituksen korroosio ja korroosionesto

Tuore ja alkalinen betoni suojaa raudoitusta korroosiolta. Tämä perustuu niin sanottuun passivoitumisreaktioon. Siinä teräs syöpyy ensin kohtalaisen voimakkaasti, mutta sitten korroosiotuotteet muodostavat raudoituksen pinnalle eristävän oksidikalvon ja korroosionopeus laskee hyvin alhaiseksi. Passiivitilassa olevan teräksen potentiaaliarvo on korkeahko (vihreä alue kuvassa 53a).

Karbonatisoituminen voi kuitenkin alentaa pH-arvoa niin alhaiseksi, että korroosio voi alkaa, kun karbonatisoitumisvyöhyke ulottuu ajan kanssa betoniterästankojen syvyyteen asti. Aktiiviset alueet voidaan löytää potentiaalimittauksin (potential mapping), koska korroosioalueilla potentiaaliarvo laskee. Kuitenkin betonipinnan mahdollisesti suurehkot kosteusvaihtelut tekevät tulosten tulkinnan usein vaikeaksi.

Karbonatisoitumisen aiheuttamaa korroosiota voidaan torjua katodisen suojauksen tai uudestaan alkaloinnin avulla. Korroosioinhibiittejäkin voidaan tietysti varauksin käyttää korroosiota hidastamaan.

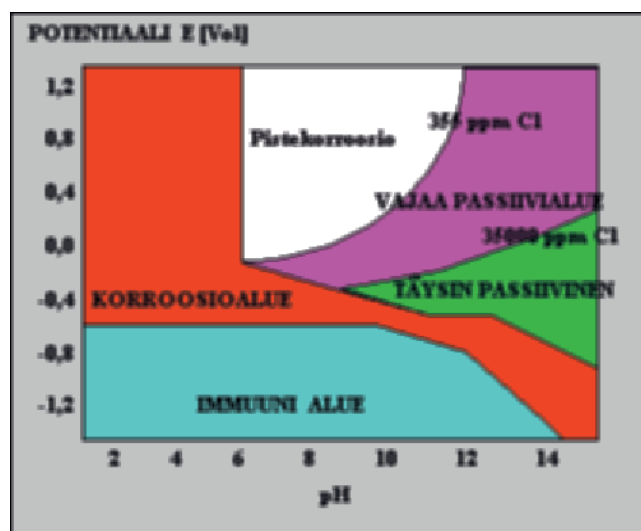


Kuva 53a. Potentiaali-pH-diagrammi ilman klorideja

Katodisessa suojausjärjestelmässä tavoite on laskea teräksen potentiaaliarvo immuunialueelle (sininen alue), jossa korroosio on termodynaamisesti mahdotonta. Uudestaan alkaloinnissa tavoite on kohottaa alkalisuutta, joka puolestaan saa aikaan passivoitumisreaktion ja potentiaaliarvon kohoamisen passiivialueelle (vihreä alue).

Kloridien aiheuttama korroosio on monin verroin voimakkaampaa. Erittäin vaarallista on, että kloridit voivat tuhota passiivikerrosta myös alkalisisessa betonissa aiheuttaen pistekorroosiota, kuten kuvasta 53b selviää. Todellinen korroosioriski riippuu kloridi-ionien ja hydroksidien suhteesta (Cl^-/OH^- -suhde).

Kloridien aiheuttama pistemäinen tai voimakkaasti paikallinen korroosio aiheuttaa raudoituksen ja rakenteen todellista heikkenemistä.



Kuva 53b. Potentiaali-pH-diagrammi, kun betoni sisältää klorideja

Kloridikorroosiota voidaan torjua tehokkaasti katodisen suojauksen avulla. Myös kloridien poisto on mahdollista sähkökemiallisin menetelmin.

Katodisessa suojausjärjestelmässä tavoite on laskea teräksen potentiaaliarvo immuunialueelle (sininen alue), jossa korroosio on termodynaamisesti mahdotonta. Kloridien poistomenetelmä puolestaan vähentää kloridipitoisuutta ja kohottaa alkalisuutta raudoituksen pinnassa. Tavoite on, että nämä muutokset kohottavat alkalisuutta, joka puolestaan saa aikaan passivoitumisreaktion ja potentiaaliarvon kohoamisen passiivialueelle (vihreä alue).

Edellä mainitun lisäksi on todettava, että tehokas (efektiivinen) korroosionopeus riippuu aina myös betonin kosteudesta. Korroosio on voimakkainta, kun betonin suhteellinen kosteus on 80–90 %. Tästä ylös mentäessä syöpyminen heikkenee, koska korroosioreaktiolle oleellisen hapen kulku huo-

kosrakenteessa hidastuu (esimerkiksi upporasituksessa).

Korroosionopeus on myös hyvin pieni, kun betoni on kuivaa. Kriittinen raja-arvo riippuu kloridipitoisuudesta, koska kloridit ja korroosiotuotteet voivat paikallisesti imeä itseensä (absorboida) kosteutta. Markkinoilla on kokeiltu korroosionestomeneelmiä, jotka perustuvat kosteuden alentamiseen, mutta tulokset ovat olleet vaihtelevia.

7.8.2 Betonin alkalointi

Betonin (uudestaan) alkalointi on eurooppalaisen standardin SFS-EN 1504-9 korjausmenetelmä 7.4.

Betonin huokosvedelle on luonteenomaista korkea pH-arvo, joka uudessa betonissa on noin 12...13. Rauditus ei näissä olosuhteissa normaalisti syövy, koska betoniterästankojen pintaan kehittyy korroosiolta suojaava oksidikalvo.

Karbonatisoituminen muuttaa ympäristöä laske-malla betonin pH-arvon alemmaksi kuin 9. Kun reagoanut alue, joka tunkeutuu hitaasti pinnasta syvemmälle betoniin, ulottuu betoniterästankoihin asti, on korroosiolla mahdollisuus alkaa.

Betonin alkalointi perustuu siihen, että elektro-osmoosi siirtää huokosrakenteeseen alkalista nestettä, jonka pH (10,5 tai yli) on riittävä korroosion pysäyttämiseen.

Käytettävä kemikaali on natriumkarbonaatti (sooda), joka ei reagoi hiilidioksidin kanssa niin, että sen pH-arvo putoaisi uudelleen vaarallisen alas. Uudestaan alkalointi pysäyttää alkaneen korroosion ja antaa betoniterästangoille erittäin pitkäaikaisen suojan niin kauan kuin liuos pysyy betonin sisällä.

Käytettävät aineet – soodan vesiliuos ja sanomalehdistä valmistettu kuitu – eivät aiheuta luonnolle pysyviä vaurioita. Menetelmä ei muuta kohteen ulkonäköä eikä lisää sen painoa. Kaikki pinnoitus- ja muut suojaustavat ovat edelleen mahdollisia.

Alkalointi on aina suunniteltava ja toteutettava alan asiantuntijoiden toimesta.



Kuva 54. Karbonatisoituneen betonin alkalointityön valmistelua.

7.8.3 Kloridien poisto

Kloridien poisto on eurooppalaisen standardin SFS-EN 1504-9 korjausmenetelmä 7.5.

Menetelmä perustuu siihen, että sähkökentässä negatiiviset ionit kulkeutuvat positiivisen varauksen omaavaa anodiverkkoa kohti. Korroosiota aiheuttavat kloridit omaavat negatiivisen varauksen Cl^- .

Toteutus muistuttaa uudestaan alkalointia, mutta liuoksena käytetään puhdasta vettä. Pintaan asti kulkeutuva suola huuhtoutuu veden mukana pois kohteesta.

Käsittelyaika on huomattavasti pitempi kuin uudestaan alkaloinnissa, yleensä useita viikkoja, joskus jopa kuukausia. Pitkän käsittelyajan vuoksi ei anodiverkkona voida käyttää syöpyvää teräsverkkoa, vaan käytetään useimmiten metallioksidilla pinnoitettua titaaniverkkoa.

Osa suolasta jää pitkästäkin käsittelyajasta huolimatta betoniin. Korroosioneston kannalta on kuitenkin oleellista, että käsittelyn vaikutus on voimakas raudituksen ympärillä.

Kloridipitoisuus pyrkii ajan myötä tasoittumaan ja osa suoloista kulkeutuu diffuusion myötä takaisin myös raudituksen läheisyyteen. Mikäli suolaveden pääsy rakenteeseen käsittelyn jälkeen estetään, jäävät pitoisuudet kuitenkin niin alhaisiksi, että korroosion käynnistyminen on epätodennäköistä.

7.8.4 Katodinen suojaus

Katodinen suojaus on eurooppalaisen standardin SFS-EN 1504-9 korjausmenetelmä 10.1.

Katodinen suojaus on perinteisin ja laajimmin käytössä oleva suojausmenetelmä vakavien raudoitteiden korroosio-ongelmien hoitamiseksi.

Ruostuvan teräksen potentiaali on yleensä $-0,2 \dots -0,5$ V mitattuna kupari-kuparisulfaattielektrodilla (Cu/CuSO_4). Katodisessa suojauksessa raudoituksen potentiaalia lasketaan syöttämällä siihen tasavirtaa ulkoisesta anodista siten, että raudoitus tulee niin sanotulle immunitaettialueelle (kuvat 53 a ja b), jolloin korroosio estyy.

Jotta suojaus olisi tehokas pitää virran tiheyden katodilla olla riittävä, ja sen pitää vaihdella paikallisen tarpeen mukaan. Suojauksen alkuvaiheessa on vaadittava virran tiheys suojattavissa raudoitteissa tyypillisesti $10\text{--}20 \text{ mA/m}^2$. Suojavirran tarve vähenee ajan mittaan, kun raudoitteet polarisoituvat haluttuun potentiaaliin. Tyypilliset virran tiheydet katodilla vakiintuneessa suojaustilanteessa ovat keskimäärin $2\text{--}8 \text{ mA/m}^2$. Suojavirran tiheys riippuu paitsi kloridipitoisuudesta myös lämpötilasta.

Potentiaalitason lasku eli suojavirran syöttäminen voi tapahtua joko käyttämällä ulkopuolista virtalähdettä, tai niin sanottuja uhrautuvia anodeja. Uhrautuvia anodeja tehokkaampi suojaus saadaan yleensä aikaan ulkoista virtalähdettä käyttäen.

Ulkoisen virtalähteen menetelmä

Tässä menetelmässä tarvittava suojavirta muodostetaan erillisessä tasavirtalähteessä. Suojavirran suuruutta voidaan laitteesta riippuen säätää joko manuaalisesti tai automaattisesti.

Perinteisenä anodimateriaalina voidaan käyttää metallioksidoilla pinnoitettua titaaniverkkoa, joka on hyvin pitkäikäinen. Verkko asennetaan yleensä betonipinnan päälle ja peitetään ruiskubetonikerroksella, jonka paksuus on noin 25 mm. Joissakin tapauksissa voidaan käyttää myös nauhamaisia hienojakoisia anodeja, jotka voidaan asentaa betoniin työstettyihin uriin.

Aiemmin melko yleisesti käytettyjen sähköä johtavat anodimaalien käyttö on vähentynyt, koska ne eivät pysy kiinni betonipinnassa kosteissa olosuhteissa.

Melko uutena menetelmänä käytetään termisesti ruiskutettua sinkkikerrosta, joka vaatii ulkoisen virtalähteen.

Katodisen suojauksen menestyksellä käyttö edellyttää, että suojattavat raudoitteet ovat sähköisessä kontaktissa toisiinsa. Jos jokin betoniterästanke on irrallaan muusta raudoituksesta, tanko voi syöpyä nopeasti sen läpi kulkevan suojavirran johdosta.

Raudoitteet eivät saa olla kosketuksissa anodiin, koska seurauksena voi olla oikosulku; tai irrallisen betoniterästangon ollessa kysymyksessä, sen voimakas syöpyminen. Tästä syystä anodiverkko asennetaan sähköä johtamattomilla kiinnikkeillä rakenteeseen.

Potentiaalin polarisoitumishäviö viittaa suojattavan raudoitteen polarisoitumiseen suojavirran pois kytkemisen jälkeen. Katodisen suojauksen toimivuus tarkistetaan siten, että välittömästi virran katkaisun jälkeen mitataan ”instant off” –potentiaali, jonka jälkeen seurataan potentiaalin kehittymistä ajan funktiona. Neljän tunnin kuluttua mitatun potentiaalin ja ”instant off” –potentiaalin erotuksen tulee olla vähintään 100 mV, jotta suojaus olisi tehokas.

Potentiaalien tarkkailua varten rakenteisiin asennetaan tarkkailuelektrodeja. Niillä ei voida kuitenkaan kokonaan poistaa potentiaalimittausta paikan päällä. Katodisen suojauksen toimivuutta voidaan seurata ja suojavirtaan voidaan säätää etätyönä päätteeltä.

Katodinen suojaus on aina suunniteltava ja toteutettava alan asiantuntijoiden toimesta.



Kuva 55. Anodiverkon asennusta katodista suojauksusta varten.

Uhrautuvat anodit

Uhrautuvalla anodilla tarkoitetaan epäjalosta metallista valmistettua elektrodia (yleensä sinkki- tai alumiiniseos), joka suojatessaan raudoitteen syöpyä itse. Uhrautuva anodi ei tarvitse ulkoista virtalähdettä lainkaan, vaan suojausvirta syntyy kahden toisiinsa kytketyn metallin sähkökemiallisesta virtapiiristä.

Uhrautuvat anodit toimivat vedenalaisissa kohteissa merivedessä tai hyvin kosteassa ja kloridipitoisessa betonissa, muissa olosuhteissa niiden kyky toimia on heikko.

Uhrautuvia anodeja on käytetty muun muassa teräsputkisilloja suojattaessa.

7.8.5 Inhibointi

Betonin inhibointi on eurooppalaisen standardin SFS-EN 1504-9 korjausmenetelmä 11.3.

Korroosioinhibiittori on aine, joka hidastaa tai estää korroosion. Inhibiittori estää korroosioparin

jommankumman tai molempien elektrodien toiminnan muuttamalla teräksen pinnan kemiallisesti tai muodostamalla passiivisen kalvon sen pintaan. Sen mukaan, kumman elektrodin toiminnan inhibiittorit estävät, niitä kutsutaan anodisiksi, katodisiksi tai yhdistetyiksi.

Pisimpään on käytetty betonimassaan sekoitettavia anodisia inhibiittoreita, joista yleisimmät ovat natrium- ja kalsiumnitriitti. Anodisten inhibiittorien annostuksen on oltava riittävän korkea, sillä liian alhaisella annostuksella teräs passivoituu puutteellisesti ja korroosio kiihtyy. Katodiset inhibiittorit eivät ole niin tehokkaita kuin anodiset, mutta ne ovat turvallisempia, koska ne eivät pieninäkään pitoisuuksina voimista korroosiota. Uusimpia käytössä olevia inhibiittoreita ovat yhdistetyt orgaaniset inhibiittorit kuten amiinien ja rasvahappoesterien yhdistelmä. Massaan sekoitettavia inhibiittoreita käytettäessä on otettava huomioon, että ne vaikuttavat sekä tuoreen että kovettuneen betonin ominaisuuksiin.

Betonin pinnalle levitettävät ns. tunkeutuvat inhibiittorit eivät Suomessa tehdyissä kenttä- ja laboratoriotutkimuksissa ole estäneet korroosiota.

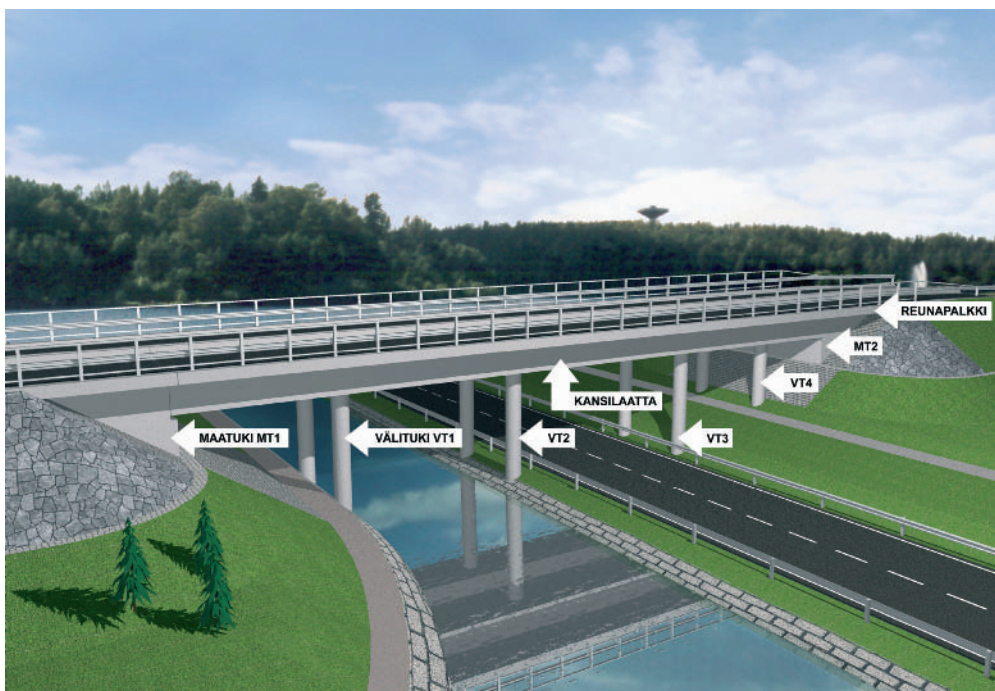
8. BETONIRAKENTEIDEN LAATUVAATIMUKSET

8.1 Rasitusluokat

Sillankorjaustoissa noudatetaan taulukoiden 18 a ja b mukaisia rasitusluokkaryhmiä. Samassa sillassa voi olla erilaisissa rasitusluokkaryhmiä ja rasitusluokissa olevia rakenteita. Tarpeettoman monen

betonilaadun käyttämistä on kuitenkin vältettävä. Sillankorjaustyössä sovelletaan taulukoiden 18 a ja b mukaisia suunnittelukäyttöikävaatimuksia.

Esimerkki



Kuva 56. Esimerkki sillan eri osiin kohdistuvista rasituksista.

- o Maatuki 1 ja maatuki 2 yli 6 metriä alittavasta tiestä
- o Välituki 1 vedessä välillä NW-1 m ... HW +1 m ja välituki 4 yli 6 metriä alittavasta tiestä
- o Välituki 2 ja välituki 3 alle 6 metriä alittavasta tiestä
- o Reunapalkki ja kansilaatan ulkokyljet alle 6 metriä tiestä
- o Sillan ylittävän ja alittavan tien suolausvaihtoehdot on esitetty taulukossa.
Suolattu = tiellä käytetään säännöllisesti suolaa talvihoidossa ja keskivuorokausiliikenne on yli 1500 ajoneuvoa, rasitusluokkaryhmä R1
Ei suolattu = tiellä ei käytetä suolaa, rasitusluokkaryhmä R4
- o x = Suoja-ainekäsittely tai valu muottikangasta vasten tai elementtirakenne K70, P50
- o xx = Suoja-ainekäsittely tai valu muottikangasta vasten tai kuorirakenne
- o xxx = Suojaverhous tai K45, P70

Kuvassa 56 esitettyjen siltarakenteiden rasitusluokkaryhmiä ja suojauksia, kun sillan ylittävää ja alittavaa tietä joko suolataan tai ei suolata

ylittävän / alittavan tien suolaus	Maatuet 1 ja 2	Välituki 1	Välituet 2 ja 3	Välituki 4	Kansilaatan ulkokyljet	Reunapalkki
suolattu / ei suolattu	Ro10, R1	Ro14, R4, xxx	Ro10, R4	Ro10, R4	Ro20, R1	Ro22, R1, xx
suolattu / suolattu	Ro10, R1	Ro14, R4, xxx	Ro11, R1, xx	Ro10, R4	Ro21, R1, x	Ro22, R1, xx
ei suolattu / suolattu	Ro10, R4	Ro14, R4, xxx	Ro11, R1, xx	Ro10, R4	Ro21, R1, x	Ro22, R1, xx
ei suolattu / ei suolattu	Ro10, R4	Ro14, R4, xxx	Ro10, R4	Ro10, R4	Ro20, R4	Ro22, R4

Rasitusluokkaryhmät ellei taulukoissa 18a ja 18b toisin ilmoiteta:

Rasitusluokkaryhmä R1: Päällysrakenteen kansirakenne, maatuet, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat valta- tai kantatiellä tai muulla tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa säännöllisesti (KVL > 1500, esim. kaupunkien sisääntulotiet, talvihoitoluokka Is tai I) sekä betonirakenteet silloissa, joiden alitse kulkee jokin edellä mainituista teistä ja jotka sijaitsevat kuutta metriä lähempänä tien reunaa.

Rasitusluokkaryhmä R2: Päällysrakenteen kansirakenne, maatuet, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa (KVL>350, talvihoitoluokka Ib tai TIb) sekä betonirakenteet silloissa, joiden alitse kulkee jokin edellä mainituista teistä ja jotka sijaitsevat kuutta metriä lähempänä tien reunaa.

Rasitusluokkaryhmä R3: Siltarakenteet meren rannalla

Rasitusluokkaryhmä R4: Silta ei kuulu mihinkään muuhun ryhmään

Taulukko 18a. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset siltaosittain eri rasitusluokkaryhmissä, päällysrakenne.

Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset						Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
				Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Vähimmäissementtimäärä [kg/m ³]	Vesi-sementtisuhteen enimmäisarvo	Betonipeitteen nimellisarvo [mm]	Raudoitustyyppi 1)		
Päällysrakenteen palkkien ja kansilaattojen vedeneristeen alla olevat pinnat sekä muut ei suolasumurasitetut pinnat 2)	Ro20	R1	XC3,XC4,XF2	K35	P30	300	0,50	40 50	tr jr	100	
		R2	XC3,XC4,XF2	K35	P20	300	0,50	40 50	tr jr	100	
		R4	XC3,XC4,XF2	K35	P20	300	0,55	40 50	tr jr	100	
		R1	XC3,XC4,XF2,XD1	K35	P30	300	0,50	45 55	tr jr	100	3)
		R2	XC3,XC4,XF2,XD1	K35	P20	300	0,50	40 50	tr jr	100	3)
		R3	XC3,XC4,XS1,XD1, XF2	K40	P30	300	0,45	40 50	tr jr	100	3)
Päällysrakenteen ja maatukien reunapalkit	Ro22	R1	XC4,XD3,XF4	K45	P50	320	0,45	45 55	tr jr	50	4)
		R2	XC4,XD2,XF4	K40	P50	300	0,50	40 50	tr jr	50	4)
		R3	XC4,XS1,XD3,XF2	K45	P30	320	0,45	45 55	tr jr	50	4)
		R4	XC4,XF2	K35	P30	300	0,55	40 50	tr jr	70	
		R1	XC2,XD1,XF4	K35	P50	300	0,50	40 50	tr jr	50	
		R2	XC2, XD1,XF2	K35	P30	300	0,50	40 55	tr jr	50	
		R3	XC2, XD1,XF2	K35	P30	300	0,50	40 55	tr jr	50	
		R4	XC2,XF2	K35	P30	300	0,55	40 50	tr jr	70	

1) jr = jänneraudoite, tr = tavanomainen raudoite

2) Suolasumun oletetaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle sillan alittavan suolattavan tien reunasta. Päällysrakenteella palkkien ja kansilaatan ajosuunnan puoleisen ulkokyljen pysty- ja vinopinnat (kaltevuus > 1:3). Meren suolasumurasitus vaikuttaa kaikkiin ulkoilman kanssa kosketuksissa oleviin pintoihin.

3) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitetujen pintojen suojausta. Betonin lujuusluokan ollessa vähintään K70 ja P-luvun ollessa vähintään P50 rakennetta ei tarvitse suojata.

4) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitetujen pintojen suojausta. Julkaisun Siltojen reunapalkkien kuoret, TIEH 2000016-05, mukaisien reunapalkkien pintoja ei tarvitse suojata. Tällöin sisäosalle käytetään ei suolasumurasitetun päällysrakenteen rasitusluokkaryhmän R4 mukaisia arvoja. Kuorirakenteen rasitusluokat Ro22 mukaan.

Taulukko 18b. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset siltaosittain eri rasitusluokkaryhmissä, alusrakenne.

Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset						Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus 2)
				Lujuusluokka 6)	P-lukuvaatimus	Vähimmäissementtimäärä [kg/m ³]	Vesi-sementtisuhteen enimmäisarvo	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] 6)	Raudituslaji 1)		
Teräsputken tai muun tiiviin kiinnivaletun kuoren sisävalu tasolta maanpinta – 1 m alas	Ro01	R4	XC2	K30	-	230	-	40	tr	100	
Teräsputken tai muun tiiviin kiinnivaletun kuoren sisävalu tasolta maanpinta – 1 m ylös	Ro02	R4	XC2, XF2	K30	P20	300	0,55	40	tr	100	
Peruslaatta yleensä	Ro03	R4	XC2	K30	-	230	-	50/100 7)	tr	100	
Peruslaatta vedessä	Ro04	R4	XC2	K35	-	230	-	50/100 7)	tr	100	
Peruslaatta meressä	Ro05	R4	XC2, XS2	K40	-	320	0,45	60/100 7)	tr	100	
Rengaskehän peruslaatta	Ro06	R1	XC2, XD1, XF4	K35	P50	300	0,50	50/100 7)	tr	100	
		R2	XC2, XD1, XF4	K35	P30	300	0,50	50/100 7)	tr	100	
		R4	XC2, XF2	K30	P20	300	0,55	50/100 7)	tr	100	
Peruslaatta ajokaistojen välillä ja suolasumurasituksen ulottuma-alueella 2)	Ro07	R1	XC2, XD1, XF4	K35	P50	300	0,50	50/100 7)	tr	100	
		R2	XC2, XD1, XF2	K35	P30	300	0,50	50/100 7)	tr	100	
Maa- ja välituet yleensä 2)	Ro10	R1	XC3, XC4, XF2	K35	P30	300	0,50	45 55	tr jr	100	
		R2	XC3, XC4, XF2	K35	P20	300	0,50	40 50	tr jr	100	
		R4	XC3, XC4, XF2	K35	P20	300	0,50	40 50	tr jr	100	
Suolasumurasitetut maa- ja välituet 2)	Ro11	R1	XC3, XC4, XD3, XF4	K40	P50	320	0,45	45 55	tr jr	100	3)
		R2	XC3, XC4, XD1, XF2	K35	P30	300	0,50	40 50	tr jr	100	3)
		R3	XC3, XC4, XS1, XF2	K35	P30	300	0,50	40 50	tr jr	100	
Maatukien ja päällysrakenteen siipimuurit ja siirtymälaattojen yläpuoliset osat (ulkopinta maatukien mukaan)	Ro12	R1	XC3, XC4, XD2, XF2	K35	P30	300	0,50	45 55	tr jr	100	4)
		R2	XC3, XC4, XD1, XF2	K35	P20	300	0,50	40 50	tr jr	100	
Tukirakenteet vedessä tasolta NW - 1 m alaspäin	Ro13	R4	XC2	K35	-	300	0,50	50 60	tr jr	100	
Tukirakenteet vedessä tasolta NW - 1 m ylöspäin	Ro14	R4	XC3, XC4, XF4	K40	P50	320	0,45	50 60	tr jr	100	5)
Tukirakenteet meressä tasolta NW - 1 m alaspäin	Ro15	R4	XC2, XS2	K40	-	320	0,45	60 70	tr jr	100	
Tukirakenteet meressä ilman suojaverhousta tasolta NW - 1 m ylöspäin	Ro16	R4	XC4, XS3, XF4	K45	P70	320	0,45	60 70	tr jr	100	5)

1-2) Ks. taulukko 1a.

3) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Suojauksena voidaan käyttää myös julkaisun Siltapilareiden kuoret, TIEH 2000007-03, mukaisia kuorirakenteita. Betonisen kuorirakenteen rasitusluokat Ro11 mukaan.

4) Suunnittelukäyttöikä edellyttää maata vasten olevien kloridirasitettujen pintojen suojausta.

5) Suunnittelukäyttöikä edellyttää julkaisun Siltapilareiden kuoret, TIEH 2000007-03, mukaisen tai muun vastaavan suojaverhouksen käyttöä vähintään tasolle HW + 1 m. Meressä tasolle HW + 2 m. Avomerirakenteissa ulottuma arvioitava tapauskohtaisesti. Betonisen kuorirakenteen P-lukuvaatimus P70. Rasitusluokat Ro14/16 mukaan. Käytettäessä sillan osassa Ro14 betonia K45, P70, voidaan suojaverhouksesta luopua.

6) Betonipeitteen nimellisarvo vedenalaisessa valussa on 150 mm. Vaadittaessa huuhtoutumisen estävän lisäaineen käyttöä betonin suhteituksessa, voidaan teräsputken sisävalussa käyttää 50 mm:ä betonipeitteen nimellisarvona. Betonin lujuusluokaksi valitaan vedenalaisessa valussa 5 MPa suunnittelulujuutta suurempi arvo.

7) Muottia vastaan valettu tai laatan yläpinta / maata tai kalliota vastaan valettu. Peruslaatan betonipeitteen vähimmäisarvo halkeilulaskennassa on 35 mm muutoin, paitsi peruslaatoille meressä se on 45 mm.

8.2 Rakenneluokka ja lujuusvaatimukset

Siltarakenteissa tulevat kysymykseen rakenneluokat 1 ja 2 *Betonirakenneohjeen* /35/ mukaan.

Jos siltaa levennetään tai vahvennetaan tai sillan rakenneosia uusitaan tai siltaan tehdään uusi rakenneosa tai jokin muu korjaustyö, joka vaikuttaa sillan kantavuuteen, rakenneluokka on 1. Muuten sillan korjaustyössä ja sen suunnittelussa rakenne-
luokka on yleensä 2.

Betonin lujuusluokka määräytyy taulukoiden 18a ja 18b mukaan, ellei rakenteen alkuperäinen suunnittelulujuus ole korkeampi. Tästä on oltava maininta suunnitelma-asiakirjoissa.

Betonin lujuusvaatimuksen vaatimustenmukaisuuden täytyminen osoitetaan SYL 3:n /1/ kohdan 3.3.1.5 mukaan.

8.3 Pakkasenkestävyysvaatimukset

Betonin pakkasenkestävyysvaatimukset esitetään P-lukuvaatimuksina, jotka on esitetty taulukoissa 18a ja 18b.

Pakkasenkestävän betonin valmistuksessa, laadunvalvonnassa ja vaatimustenmukaisuuden osoittamisessa noudatetaan SYL 3:n /1/ kohdan 3.3.2 ja *P-lukuohjeen* /30/ menettelyä.

8.4 Tiiviysvaatimukset

Betonin tiiviysvaatimukset täyttyvät, jos vesi-sementtisuhde ja lujuus ovat taulukoiden 18a ja 18b mukaiset.

Jos työsauman päälle ei tule vedeneristystä, sauma on tiivistettävä saumanauhalla.

Valmiissa vesitiiviiksi tarkoitetussa rakenteessa ei saa olla rakenteellisia halkeamia.

8.5 Betonipeite

Raudoituksen betonipeitevaatimukset on esitetty taulukoissa 18a ja 18b.

8.6 Ulkonäkö ja tasaisuus

Siltojen betonirakenteiden pintojen korjaustöissä noudatetaan *Tiehallinnon julkaisuja* /11/, jossa viitataan laatuvaatimusten osalta *Betoniyhdistyksen julkaisuun* /36/. Siltojen korjaustöissä on yleensä muottia vasten valetun pinnan laatuvaatimuksena luokka A ja puuhierretyn pinnan luokka AA /36/.

Muottia vasten paikalla valetun betonipinnan laatu-
tekijät on määritelty *Betoniyhdistyksen julkaisussa* /36/ seuraavasti: nystermä, syvennys, hammastus, valupurse tai valuhaava, pinnan huokoisuus, valuvika, pinnan käyryys ja aaltoilu sekä väri-
vaihdtelu.

Näkyvät pinnat voidaan erikoistapauksessa tehdä pesubetonista, harjata, rimoittaa tai valaa rosoista

kumimattoa vasten. Tällaista pintakerrosta ei lasketa kuuluvaksi betonipeitteeseen.

Muottikangas on kiinnitettävä siten, ettei se pääse poimuttumaan valun aikana.

Vedeneristysten alustassa ei saa olla kolmea millimetriä suurempaa epätasaisuutta puolentoista metrin oikolaudalla mitattuna. Pinnan pitää vastata puuhierrettyä pintaa. Pinta suihkupuhaldistetaan, jos päälle tulevan materiaalin työtapaa sitä vaatii.

Näkyviin jäävästä pinnasta tehdään tarvittaessa mallityö, jonka tilaaja hyväksyy.

9. TYÖTURVALLISUUS

9.1 Turvallisuusasiakirja

Betonirakenteiden korjaamista valmistellessaan tilaajan (rakennuttajan) on laadittava työn suunnitelua ja valmistelua varten turvallisuusasiakirja /38/. Se sisältää sillan korjaushankkeen ominaisuuksista, olosuhteista ja luonteesta aiheutuvat ja sen toteuttamiseen liittyvät tarpeelliset turvallisuustiedot. Näitä tietoja käytetään lähtökohtana suunnitelmaessa vaarojen ja haittojen ehkäisyä sekä turvallisuustoimenpiteiden toteutusta. Tällaisella asiakirjalla ilmoitetaan työsuojelullisia erityistoimenpiteitä vaativia kohteita urakkalaskentaa varten.

Sillan korjaustyön turvallisuusasiakirjan laadinnassa voidaan soveltaa Tiehallinnon urakka-asiakirjamalleihin kuuluvaa turvallisuusasiakirjamallia /38/.

Tilaaja voi antaa turvallisuusasiakirjan laadinnan suunnittelijan tehtäväksi. Tilaaja kuitenkin vastaa siitä, että asiakirja laaditaan. Jollei tilaaja määrää esimerkiksi pääurakoitsijaa toimimaan sillankorjausurakan päätoteuttajana, joutuu hän itse hoitamaan päätoteuttajalle lainsäädännössä määrätyt velvoitteet.

9.2 Työmaan yleisjärjestelyt

Kun sillan korjaustyö tehdään liikennealueella, on työmaasta oltava hyväksytty, kirjallinen liikenteenohjaussuunnitelma. Työmaalla on myös oltava liikenteenjärjestelyistä vastaava henkilö, jolla on oltava Tieturva 2 -koulutus. Vastaava pätevyys edellytetään myös työmaan työnjohtajilta ja valvojilta.

Tiellä työskentelevillä on oltava Tieturva 1 -koulutus.

Tiellä tehtävässä työssä on käytettävä CE -merkittyä 2.luokan ja liikenteenohjaustehtävissä 3.luokan standardin SFS-EN 471 mukaista varoitusvaatetusta.

Jos sillan korjaustyöt vaikuttavat radan rakentisiin, turvalaitosten toimintaan tai voivat vaarantaa rautatieliikennettä eli ovat niin sanottua ratatyötä, pitää ratatyötä tekevien ja ratatöitä tarkastavien ja hyväksyvien henkilöiden täyttää Ratatyön yleiset ja erityiset kelpoisuusvaatimukset /39/.

Vesistö sillalla on vesiliikenteelle varattava esteetön kulku telinerakenteista huolimatta. Silta-aukon ja väylän merkinnässä korjaustyön aikana voidaan käyttää aukossa vesiliikennemerkkejä, väylässä viittoja tai muita merenkulun turvalaitteita. Silta-aukon ja väylän väliaikaisesta merkinnästä tehdään esitys paikalliselle merenkulkupiirille. Merkintäsuunnitelman voi tilata myös merenkulkupiiriltä.

Työturvallisuuden sekä työn onnistumisen ja laadunvalvonnan kannalta kohteessa on oltava riittävä ja sopiva yleisvalaistus. Tarvittaessa on käytettävä yleisvalaistuksen lisänä sopivia kohdevalaisimia. Erityisesti kulku- ja kuljetusteillä on oltava riittävä ja sopiva yleis- ja paikallisvalaistus. Suuria äkillisiä valaistuseroja ja häikäisyä on vältettävä. Valaisimet on suunnattava siten, etteivät ne häikäise kohteen ohi kulkevaa liikennettä.

9.3 Betonitöiden työturvallisuus

Betoni ei ole työturvallisuuden kannalta erityisen vaikea materiaali, joskin sementti saattaa aiheuttaa allergiaoireita. Silmät ja hengityselimet on tarvittaessa suojattava sementtipölyltä.

Työturvallisuutta on käsitelty tarkemmin *SILKO-yleisohjeessa 1.111 /40/*.

Työpaikalla pitää olla aakkosellinen luettelo siellä käytettävistä kemikaaleista /41/. Kaikista työpaikalla käytössä olevista kemikaaleista on oltava myös suomenkielinen ja tarvittaessa ruotsinkielinen käytöturvallisuustiedote.

Jos työstä aiheutuvia terveysvaaroja ei voida poistaa teknisin toimenpitein tai ainevalinnoilla, työnantajan on hankittava työntekijöiden käyttöön henkilönsuojaimia estämään työntekijöiden altistuminen kemiallisille tai fysikaalisille haittatekijöille. Tällainen työvaihe betoninkorjaustöissä on esimerkiksi suihkupuhdistus hiekkapuhaltamalla, jolloin työntekijän on käytettävä hiekkapuhaltajan kypärää. Muista esikäsittelytöistä kuten piikkauksesta aiheutuu melua, jolloin työntekijöiden on käytettävä kuulonsuojaimia.

Korjaustyömaan päätoteuttajan on suunniteltava putoamisvaaran torjunta *rakennustöiden turvallisuusmääräysten /37/ §:n 26* mukaan.

Työtelineiden mitoituksessa on otettava huomioon mahdollisen purkujätteen aiheuttama lisäkuorma. Työ- ja suojatelineitä ei saa ottaa käyttöön ennen kuin niille on tehty käyttöönottotarkastus. Käyttöön ottotarkastuksessa varmistaudutaan siitä, että teline on suunnitelman mukainen. Tarkastuksesta on tehtävä merkintä telinekorttiin /37/ § 25a. Telineet tarkastetaan myös työmaan viikoittaisen kunnossapitotarkastuksen yhteydessä. Lisäksi tarkastukset on tehtävä telineiden purkamisen aikana.

Vesistösiltojen betonitöissä on aina hukkumisvaara. Vaara voidaan estää esimerkiksi kaiteella, suojaverkolla, turvavaljailla tai pelastusliiveillä. Veden varaan joutuneita varten on varattava riittävä määrä pelastuslaitteita (veneitä, köysiä, pelastusrenkaita, pelastushakoja) sekä pelastustaitoisia henkilöitä *rakennustöiden turvallisuusmääräysten /37/ § 22:n 3. momentin* mukaan.

Henkilöiden nostaminen on sallittua vain tähän tarkoitukseen valmistetulla nostolaitteella, henkilönostimella (katso *Vnp /42/ § 32*).

10. YMPÄRISTÖNSUOJELU

10.1 Ympäristövaikutukset

Betonin korjaustöiden ympäristönsuojelutoimenpiteet on suunniteltava etukäteen *ympäristönsuojeluohjeen /43/* mukaan. Tilaaja esittää tarjouspyyntövaiheessa pintakäsittelyn ympäristönsuojeluväitimet ja mahdollisesti alustavan ehdotuksen toimenpiteeksi. Urakoitsija voi esittää tarjouksessaan tästä poikkeavan, mutta vähintään vastaavan ehdotuksensa. Työn aikana urakoitsija vastaa kaikesta ympäristön suojaukseen tarvittavista toimista.

Betonin korjaustöissä suihkupuhdistus ja muut esikäsittelytyöt aiheuttavat melua ja saattavat levittää pölyä ympäristöön. Tällaisista töistä on tehtävä meluilmoitus kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle. Tarvittaessa työkohte huputetaan.

Betonitöiden yhteydessä on huolehdittava siitä, ettei sementtiliimaa kulkeudu tarpeettomasti vesiin.

10.2 Jätehuolto

Korjaustyössä syntyneitä jätteitä ei saa jättää silta- paikalle tai maastoon vaan ne on kuljetettava kierrätykseen, kaatopaikalle tai ongelmajätelaitokseen. Työmaalla pitää olla keräilypiste.

Paikallinen jätehuoltoviranomainen antaa tarkemmat ohjeet kullakin paikkakunnalla noudatettavista määräyksistä. Vaaraton suihkupuhdistus- ja

muu purkujäte voidaan käyttää esimerkiksi ekobetonin osa-aineena. Kun suihkupuhdistustöissä käytetään kierrätettävää raemateriaalia, haitallisia aineita sisältävä hienoaines voidaan imuroida pois. Suihkupuhdistus voidaan tehdä myös suurpainevesipuhalluksella, jolloin vesi siivilöidään jätteestä erikseen.

10.3 Ongelmajätteet

Purettava betoni ei ole yleensä ongelmajätettä. Sen sijaan ongelmajätteitä ovat yleensä pinnoitteina tai vedeneristysmateriaaleina käytetyt polymeeripitoiset aineet, jotka on toimitettava hävitettäväksi ongelmajätelaitokselle.

Alueellinen ympäristökeskus antaa tarvittaessa lisätietoja ongelmajätteeksi luokitelluista aineista. Asiaa on käsitelty myös ympäristönsuojelua /43/ ja polymeerejä /22/ käsittelevissä *SILKO-yleisohjeissa*.

11. LAADUNVARMISTUS

11.1 Laadunvarmistuksen tavoitteet

Laadunvarmistuksella tarkoitetaan kaikkia niitä ennalta suunniteltuja ja järjestelmällisiä toimenpiteitä, joilla varmistetaan mahdollisimman tasalaatuinen ja riittävän hyvä lopputulos.

Siltojen korjausrakentamisessa on betonin valmistuksen laadunvarmistuksen tavoitteena

- ominaisuuksiltaan mahdollisimman hyvin vanhaan rakenteeseen ja käyttötarkoitukseen sopivan betonin valmistaminen

- riittävän hyvän tartunnan aikaansaaminen alusbetonin ja korjausbetonin välille.

Laadunvarmistuksen tavoitteisiin pyritään ensisijaisesti suunnittelun, työnopastuksen ja työnaikaisten kokeiden avulla. Testaustulokset taltioidaan laatu-
raportin yhteyteen kohdan 11.5 mukaisesti.

11.2 Urakoitsijan laadunvarmistustoimet

Urakoitsijalla on oltava toimiva laadunhallintajärjestelmä.

11.2.1 Työnopastus ja mallityöt

Työvälineiden, koneiden ja laitteiden käyttöä varten on annettava tarpeellinen määrä työnopastusta. Tarvittaessa tehdään ennakkokoe/mallityö korjaustyötä vastaavissa olosuhteissa. Näin työntekijöille muodostuu havainnollinen käsitys työssä huomioon otettavista seikoista. Samalla työntekijät motivoituvat tekemään työn oikein ja vastuuntuntoisesti.

11.2.2 Laadunohjaus ja laaduntarkastukset

Urakoitsijan pitää toteuttaa laaduntarkastus ja laatumittaukset hyväksytyn työvaihekohtaisen laatu-

suunnitelman mukaan ja siinä esitetystä laajuudessa.

Urakoitsijan laadunohjaukseen ja laaduntarkastukseen kuuluu

- työntekijöiden perehdyttäminen tilaajan asettamiin laatuvaatimuksiin, työ- ja laatusuunnitelmien sisältöön sekä työn laaturiskeihin
- olosuhteiden seuranta työvaiheiden aikana
- laaduntarkastus työn aikana ja ennen seuraavan työvaiheen aloittamista (muun muassa silmä määräiset tarkastukset ja tartunnan varmistaminen koputtelemalla)
- vaatimustenmukaisuuden osoittaminen tarkastusten ja mittauksen perusteella ja raportointi tilaajalle
- laatupoikkeamien raportointi, virheiden korjaaminen ja tarvittavat toimenpiteen virheiden toistumisen estämiseksi.

11.3 Työnaikainen valvonta ja mittaukset

11.3.1 Mittausvälineet

Urakoitsijalla pitää olla asianmukaiset ja kunnossa olevat työvälineet, koneet sekä kalibroidut, laaduntarkastukseen ja vaatimustenmukaisuusmittauksiin soveltuvat mittalaitteet.

11.3.2 Olosuhteiden mittaus

Ilman lämpötila mitataan työkohteen välittömässä läheisyydessä työvuoron alussa ja lopussa ja tarvittaessa yli neljä tuntia kestävä työvuoron aikana kalibroidulla lämpötilamittarilla.

11.3.3 Silmämääräinen tarkastus

Kaikki valmiit työvaiheet tarkastetaan silmämääräisesti. Silmämääräisessä tarkastuksessa todetaan muun muassa

- pintojen puhtaus
- pintojen virheet, kuten huokoisuus ja halkeilu
- vaikeiden kohteiden, kuten särmien onnistuminen
- pinnan värisävy ja tasaisuus.

Tarkastuksista laaditaan pöytäkirja.

11.3.4 Työnaikaiset mittaukset

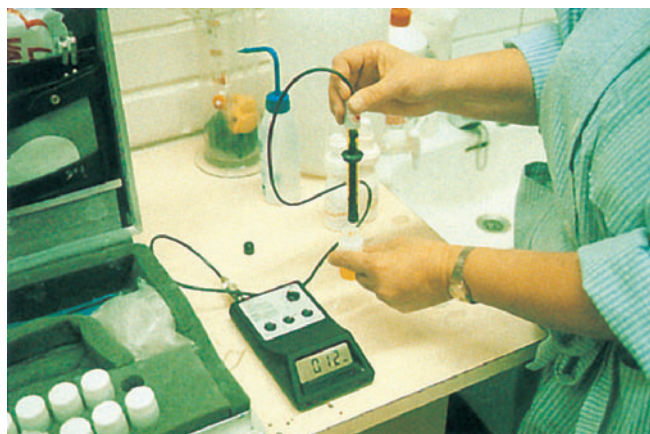
Betonirakenteita purettaessa on tarkastettava silmämääräisesti ja vasaralla koputtelemalla, ettei tartuntapintaan jää rapautunutta tai muuten vaurioitunutta betonia. Tarvittaessa paikalleen jäävän tartuntapinnan kelpoisuus selvitetään pinta- tai ohut-hieellä ja tartuntavetokokeella, jos purkamismenettelmä on muu kuin vesipiikkaus.

Jos raudoituksen ympäriltä tai muualta on poistettava karbonatisoitunut tai kloridipitoinen betoni, tehdään kokeet *Sillantarkastusohjeen* /16/ mukaan siltapaikalla seuraavasti:

- Betonin karbonatisoituminen määritetään fenoltaleiniikokeella (kuva 57) standardin SFS-EN 14630 mukaan
- Betonin kloridipitoisuus määritetään porajauheesta laboratoriossa (kuva 58) standardin SFS-EN 14629 mukaan
- Raudoituksen korroosiotila määritetään potentiaalimittauksella (kuva 59) standardin ASTM C876-91 (1999) mukaan.



Kuva 57. Karbonatisoitumaton betoni värjäytyy punaiseksi, kun pintaan suihkutetaan fenoltaleinia.



Kuva 58. Kloridipitoisuus määritetään laboratoriossa.



Kuva 59. Raudoituksen potentiaalimittaus tehdään betonin kostutetusta pinnasta.

Ennen betonointia tarkastetaan ainakin

- muottien tiiviys, tuenta ja puhtaus
- raudoituksen asema ja tuenta
- raudoitustankojen taivutukset, jatkokset ja sidonta
- varaukset ja kiinnikkeet
- kontaktitappien kiinnitys raudoitukseen.

Betonimassan ilmamäärä on aina mitattava työmaalla standardin SFS-EN 12350-7 mukaisella painemenetelmällä (kuva 60); poikkeuksena itsetiivistyvä betoni, jonka ilmamäärä mitataan SYL 3:n /1/ liitteessä 4 esitetyllä menetelmällä. Kokonaisilmapitoisuus mitataan betonista kaikkien siirtovaiheiden jälkeen. Mittari on tarkistettava kerran vuodessa. Mittaajalla pitää olla betonilaborantin pätevyys tai vastaavat tiedot ja kokemus.



Kuva 60. Ilmamäärämittaus.

Ilmapitoisuus on mitattava jokaisesta betonikuor-
masta. Mittauksia on tehtävä aina vähintään kol-
me.

Itsetiivistyvän betonin muut laadunvalvontatoimet
on esitetty SYL 3:ssa /1/.

Betonimassan lämpötila ja notkeus mitataan laatu-
vaatimusten mukaan.

Betonoinnin aikana tarkistetaan, että

- muotit ja tartuntapinnat on käsitelty työselityk-
sen mukaan
- betonimassa ei erotu muotteihin siirrettäessä
- raudoitus pysyy paikallaan
- betonimassa tiivistyy riittävästi
- jälkihoito tehdään asianmukaisesti.

Pakkasenkestävän betonin valmistusta valvotaan
SYL 3:n /1/ kohtien 3.3.1.4 (yleinen laadunvalvon-
ta) ja 3.3.2.3 (pakkasenkestävyys) mukaan.

Työstä laaditaan betonointipöytäkirja, joka liitetään
laaturaporttiin kohdan 11.5 mukaisesti.

11.4 Vaatimustenmukaisuuskokeet

Vaatimustenmukaisuuskokeilla tarkoitetaan kor-
jaustyön aikana valmistettujen tai valmiista raken-
teesta irrotettujen koekappaleiden avulla tehtäviä
tutkimuksia tai testejä sekä valmiista rakenteesta
tehtäviä mittauksia tai rakenteen pinnasta tehtäviä
tarkastuksia.

Vaatimustenmukaisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat
betonin pakkasenkestävyys, puristuslujuus ja tiivi-
ys sekä tartunta vanhaan betoniin ja raudoituksen
betonipeite.

11.4.1 Pakkasenkestävyys

Jos betonoinnissa käytetään tämän ohjeen mukais-
ta vakiobetonia, tarkistetaan vain ilmapitoisuus työ-
maalla kohdan 11.3.4 mukaisesti.

Jos käytetään muuta pakkasenkestävää betonia,
on todettava, että betonin ennakkokokeet on tehty
SYL 3:n /1/ kohdan 3.3.2.3 mukaan ja vaatimusten-
mukaisuus osoitetaan SYL 3:n /1/ kohdan 3.3.2.4
mukaan. Betonin suhteitustiedot pitää liittää laatu-
raporttiin.

Pakkasenkestävyysluku (P) lasketaan julkaisun
Siltabetonien P-lukumenettely /30/ mukaan.

Jos pakkasenkestävyys osoitetaan standardin SS
137244 mukaisella 56 kierroksen pakkassuolako-

keella (laattakokeella), käytetään vaatimustenmu-
kaisuuskoeappaleina kuutioita, joiden särmän pi-
tuus on 150 mm (4 kpl) tai rakenteesta porattuja
vähintään 100 mm:n pituisia lieriöitä (6 kpl), joiden
halkaisija on vähintään 100 mm.

11.4.2 Puristuslujuus

Puristuslujuuden määrittämistä varten valmiste-
taan betonityön yhteydessä kolme koekappale-
ta standardin SFS-EN 12390-2 mukaan (kuva 61).
Rakennekoekappaleet porataan standardin SFS-
EN 12504-1 mukaan.



Kuva 61. Koekappaleen valmistusta työmaalla.

Betonin puristuslujuus määritetään standardin SFS-EN 12390-3 mukaan. Rakennekoekappaleet testataan standardin SFS-EN 12504-1 ja PC-, PCC- ja HCC-laasteista valmistetut koekappaleet standardin SFS-EN 12190 mukaan. P-lukubetonin kimmovasaramittaus tehdään *Kimmovasaran käyttäjän ohjeen /44/* mukaan.

Jos kelpoisuuskoekappaleella määritetty puristuslujuus alittaa vaatimuksen, on tarvittaessa tehtävä lisäkokeita rakenteesta porattavilla näytteillä standardin SFS-EN 12504-1 mukaan.

Pienissä, enintään 10 m³ :n korjausvaluissa, koekappaleiden testaus voidaan tehdä betonin valmistajan laboratoriossa.

11.4.3 Betonin tiiviys

Betonin tiiviys voidaan tarvittaessa arvioida testamalla betonin vedenpitävyys standardin SFS-EN 12390-8 mukaan laboratoriossa.

11.4.4 Tartunta

Korjausbetonin tartunta vanhaan betoniin todetaan aluksi vasaralla koputtelemalla. Tartunnaltaan heikot kohdat voidaan erottaa äänen perusteella.

Jos tartuntalujuudelle on asetettu vaatimus, on tehtävä tartuntavetokoe joko rakenteesta standardin SFS 5446 (kuva 62) mukaan tai rakenteesta irrotetuilla näytteillä laboratoriossa standardin SFS 5445 mukaan. Molemmissa tapauksissa tehdään lieriöporaus kohtisuoraan betonipintaa vastaan siten, että poraus ulottuu tutkittavan sauman ohitse matkan, joka on likimain puolet lieriön halkaisijasta. Ennen porausta määritetään raudoitustankojen paikat, jotta poraus ei osu niihin.

11.4.5 Betonipeitteen paksuus

Korjaustyön aikana tarkistetaan raudoituksen sijainti ja valvotaan, että raudoitus pysyy paikallaan.

Valun jälkeen mitataan betonipeitteen paksuus sähkömagneettisella betonipeitemittarilla standardin BS 1881 osan 204 mukaan (kuva 63) tai muulla vastaavalla menetelmällä, ja tuloksia verrataan asetettuihin vaatimuksiin. Ruostumattoman raudoituksen sijaintia ei voida mitata betonipeitemittarilla.



Kuva 62. Betonin tartuntalujuuden testaus tartuntavetokokeella.



Kuva 63. Betonipeitteen mittaus.

11.5 Sillan laaturaportti

Urakoitsijan velvollisuus on osoittaa tilaajalle tekemänsä sillan korjaustyön vaatimustenmukaisuus. Sitä varten urakoitsija laatii korjaustyöstä kaksiosaisen sillan laaturaportin julkaisun *Sillan laaturaportti, Laatimisohe /45/* mukaan. Betonitöiden laaturaportti on yleensä osa koko sillan korjaustyön laaturaporttia. Laaturaportti luovutetaan tilaajalle viimeistään kaksi viikkoa ennen urakan vastaanottotarkastusta.

Laaturaportin osassa 1 esitetään yleistiedot korjattavasta sillasta ja korjaustyöstä, yhteenveto korjaustyön kokonaislaadusta, poikkeamaraporttiluettelo, poikkeamaraportit ja poikkeamien korjaussuunnitelmat, luettelo käytetyistä materiaaleista ja tarvikkeista, tärkeimmät materiaalitodistukset, laboratoriotutkimus- ja mittaustulokset, olosuhderaportit, työvaihekohtaiset laatuylennykset, työn aikana otetut digitaaliset valokuvat sekä tarvittaessa toteutumapiirustukset ja sillan päämittojen ja sijainnin mittauspöytäkirjat. Pienissä ja yksinkertaisissa töissä työvaiheen laatuylennykset toimii myös silmämääräisen tarkastuksen pöytäkirjana.

Betonitöiden työvaihekohtaisessa laatuylennyksessä ja siinä liitteinä olevissa dokumenteissa esitettäviä asioita:

- betonin valmistaja sekä ennakkokokeiden ja suhteituksen tiedot
- kuivatuotteiden tuoteselosteet ja käyttöturvallisuuksiedotteet
- betonointipöytäkirja; betonointi, työsaumat, jälkihoito ja suojaus
- silmämääräisten tarkastusten pöytäkirjat, joista tulee ilmetä mm. pinnan (ja sen mahdollisten korjausten) huokoisuus, halkeilu ja värisävyin vaihtelu
- puhdistuslujuus-, tartuntaveto- ja ilmamäärämittausten sekä pakkasenkestävyyden määrittelyn tulokset
- betonipeitteen paksuus
- jäljellejäävän betonin kloridipitoisuus ja karbonatisoituminen
- olosuhteiden seurannan raportti
- tarvittaessa rakenteiden dimensioiden ja muodon mittaustulokset

Laaturaportin osassa 2 esitetään korjaustyön laadunvarmistussuunnitelma, työvaiheiden laatusuunnitelmat ja tekniset työsuunnitelmat tai niiden yhdistelmät sekä mittaus- ja tarkastusraportit

12. RINNAKKAISET OHJEET

12.1 Standardit

SFS 1202

Betoniterästen hitsattavuuskokeet. 5 s.

SFS 1215

Betoniteräkset. Hitsattava kuumavalssattu harjatanko A500HW. 6 s.

SFS 1216

Betoniteräkset. Hitsattava kuumavalssattu harjatanko A700HW. 5 s.

SFS 1251

Raudoitteiden hitsausliitosten lujuusluokitus. 3 s.

SFS 1257

Betoniteräkset. Kylmämuokattu harjatanko B500K. 6 s.

SFS 1258

Betoniteräkset. Kylmämuokattu ohuttanko B500S. 3s.

SFS 1259

Betoniteräkset. Kylmämuokattu ruostumaton harjatanko B600KX. 5 s.

SFS 1260

Betoniteräkset. Kylmämuokattu harjatanko B700K. 6 s.

SFS 5445

Betoni. Vetolujuus. 2 s.

SFS 5446

Betoni. Tartuntalujuus. 2 s.

EN 197-1+A1

Sementti. Osa 1: Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. 27 s.

SFS-EN 206-1

Betoni. Osa 1: Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus. 73 s.

SFS-EN 471

Näkyvä varoitusvaatetus ammattikäyttöön. Testausmenetelmät ja vaatimukset. 49 s.

SFS-EN 1504-9 ja SFS-ENV 1504-9

Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Määritelmät, vaatimukset, laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden arviointi. Osa 9: Suojaus- ja korjausaineiden ja niiden yhdistelmien periaatteet.

SFS-EN 10025

Kuumavalssatut rakenneteräkset

SFS-EN 12190

Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Testausmenetelmät. Korjauslaastin puristuslujuuden määrittäminen. 9 s.

SFS-EN 12350-7

Tuoreen betonin testaus. Osa 7: Ilmamäärä. Paine-
menetelmät. 17 s.

SFS-EN 12390-1

Kovettuneen betonin testaus. Osa 1: Muoto, mitat ja muut koekappaleiden ja muottien vaatimukset.

SFS-EN 12390-2

Kovettuneen betonin testaus. Osa 2: Koekappaleiden valmistus ja säilytys lujuustestejä varten. 7 s.

SFS-EN 12390-3

Kovettuneen betonin testaus. Osa 3: Koekappaleiden puristuslujuus. 16 s.

SFS-EN 12390-8

Kovettuneen betonin testaus. Osa 8: Paineellisen veden tunkeutumasvyvyys. 7 s.

SFS-EN 12504-1

Betonin testaus rakenteista. Osa 1: Poratut koekappaleet. Näytteenotto, tutkiminen ja puristuslujuuden testaus. 7s.

SFS-EN 12620

Betonikiviainekset. 49 s.

SFS-EN 14629:en

Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Determination of chloride content in hardened concrete. 11 s.

Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Testausmenetelmät. Kovettuneen betonin kloridipitoisuuden määrittäminen.

SFS-EN 14630

Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Testausmenetelmät. Kovettuneen betonin karbonatisoitumissyvyyden määrittäminen fenolftaleinimenetelmällä.

SFS-EN ISO 17660-1

Hitsaus. Betoniterästen hitsaus. Osa 2: Kiinnitysliitokset. 19 s.

ASTM C876-91 (1999)

Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.

BS 1881 osa 204

Testing Concrete – Part 204: Recommendations on the use of electromagnetic Covermeters.

SS 137244

Swedish standard, SS 13 72 44, Edition 3 (1995), Concrete testing – Hardened Concrete – Scaling at freezing.

12.2 Muut ohjeet

- /1/ Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Betonirakenteet – SYL 3. Helsinki: Tiehallinto 2005. 79 s. ISBN 951-803-434-6. TIEH 2200034-05.
Päivityssivu www.tiehallinto.fi/sillat
- /2/ Suomen rakentamismääräyskokoelma RakMK B4. Betonirakenteet, Ohjeet 2005 Helsinki: Ympäristöministeriö 2005. 83 s.
- /3/ Betoninormit 2004. by 50. Jyväskylä: Suomen Betoniyhdistys r.y. 240 s.
ISBN 952-5075-60-5.
- /4/ Betonirakenteet. Betonin paikkaus. Helsinki: Tiehallinto 1996. 28 s. (Silko 1.231) TIEL 2230095-Silko 1.231
- /5/ Betonirakenteet. Betonointi ruiskuttamalla. Helsinki: Tiehallinto 1994. 23 s. (Silko 1.232) TIEL 2230095-Silko 1.232
- /6/ Betonirakenteet. Halkeamien korjaaminen. Helsinki: Tiehallinto 2003. 44 s. (Silko 1.233) TIEH 2230095-Silko 1.233
- /7/ Betonirakenteet. Betonin suojaaminen. Helsinki: Tiehallinto 1998. 43 s. (Silko 1.251) TIEL 230095-Silko 1.251
- /8/ Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Yleinen osa - SYL 1. Helsinki: Tiehallinto 2005. ISBN 951-803-430-3.
TIEH 2200032-05.
- /9/ Siltojen reunapalkkien kuoret. Helsinki: Tiehallinto 2005. 34 s. ISBN 951-803-425-7.
TIEH 2000016-05
- /10/ Siltapilareiden kuoret. Helsinki: Tiehallinto 2003. 24 s. ISBN 951-803-056-1. TIEH 2000007-03.
- /11/ Siltojen betonirakenteiden pinnat. Suunnittelu. Helsinki: Tielaitos 2000. TIEL 2170012. ISBN 951-726-607-3
Siltojen betonirakenteiden pinnat. Siltakohtaisten laatuvaatimusten ja työtapaehtotusten mallit. Helsinki: Tielaitos 2000. TIEL 2170013. ISBN 951-726-608-1
- /12/ Betonitekniikan oppikirja. by 201. Suomen Betoniyhdistys r.y. 2004. 570 s.
ISBN 952-5075-61-3
- /13/ Suomalainen sementti. Rakennusaineteollisuus r.y. 33 s.
- /14/ Betoni Suomessa 1860-1960. Suomen Betoniyhdistys r.y. 1991. 195 s. ISBN 951-9365-48-6.
- /15/ Sillat 1.1.2006. Tiehallinnon sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Helsinki: Tiehallinto, asiantuntijapalvelut 2006. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 35/2006. 62 s. ISSN 1457-991X, TIEH 4000472
- /16/ Sillantarkastusohje. Helsinki: Tiehallinto 2004. 96 s ja 4 liitettä. ISBN 951-883-195-9.
TIEH 2000008-04.
- /17/ Rappeutumisen vaikutukset betonisillan kantokykyyn. Espoo: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2005. Tutkimusselostus nro RTE758/05. 29 s.
- /18/ Tiehallinnon teiden ja siltojen kunto 2006. Tiehallinnon selvityksiä (vuosijulkaisu). TIEH 3200992
- /19/ Sillantarkastuskäsikirja. Helsinki: Tiehallinto 2006, 78 s ja 4 liitettä. ISBN 951-803-705-1.
TIEH 2000020-v-06.

- /20/ Aschan, Nils, *Betoniteknikka RIL 119*. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, K.J. Gummerus Oy. Jyväskylä 1979. s. 113–115.
- /21/ *Purkamis- ja esikäsittelymenetelmät*. Helsinki: Tiehallitus, 1991. 30 s. SILKO 1.203. TIEL 2230095-SILKO 1.203.
- /22/ *Polymeerit sillankorjausmateriaalina*. Helsinki: Tiehallitus, 1990. 33 s. SILKO 1.202. TIEL 2230095-SILKO 1.202
- /23/ *Betonipinnan purkamisohje*. www.tiehallinto.fi/sillat
- /24/ *Yleisohjeet. Ohjeiston käyttötarkoitus, käyttö ja tilaaminen*. Helsinki: Tiehallinto, 2002. 5 s. SILKO 1.101. TIEH 2230095-1.101.
- /25/ *Betonin kiviainekset 2007*, by 43. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry. 64 s. ISBN 978-952-5075-70-0.
- /26/ Bache, H., *Densified Cement / Ultra-Fine Particle-Based Materials. Proceedings 2. Int. Conference on Superplasticizers in Concrete*, Ottawa, June 1981
- /27/ *Betoninormien edellyttämiä käyttöselosteita koskevat ohjeet*. BY 22. Helsinki: Suomen betoniyhdistys r.y. 1985. s. 1–42.
- /28/ Professori Ralf Lindbergin luennot Tampereen teknillisessä yliopistossa.
- /29/ Soroka, I., *Concrete in Hot Environments*. Oxford 1993. ISBN 0 419 15970 3.
- /30/ *Siltabetonien P-lukumenettely*. Helsinki: Tiehallinto, lokakuu 2006. Tiehallinnon selvityksiä 30/2005.
- /31/ *Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007*, by 51. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry. 99 s. ISBN 978-952-5075-86-1.
- /32/ *Betonirakenteet. Tartuntateräksen ankkurointi*. Helsinki: Tiehallinto, 1999. 7 s. (SILKO 2.261) TIEL 2230096-SILKO 2.261.
- /33/ *Betonirakenteet. Raudoituksen uusiminen*. Helsinki: Tie- ja vesirakennushallitus, 1983. (SILKO 2.262) TIEH 2230096-SILKO 2.262.
- /34/ *Betonirakenteiden liimausvahventamisohjeet*. Helsinki: Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut, 2007. 41 s. TIEH 2000013-07
- /35/ *Betonirakenneohjeet*. Helsinki: Tiehallinto 2006. 33 s. TIEH 2100037-v-06. ISBN 951-803-580-6.
- /36/ *Betonirakenteiden pinnat, luokitusohjeet*, 2003. by 40. Suomen Betoniyhdistys r.y. 168 s.
- /37/ Valtioneuvoston päätös (629/94) rakennustöiden turvallisuudesta.
- /38/ *Sillankorjaustöiden turvallisuusasiakirja*
- /39/ *Ratahallintokeskuksen määräys RHK 304/623/06*
- /40/ *Yleisohjeet. Työturvallisuus* Helsinki: Tiehallinto 2000. (SILKO 1.111) TIEL2230095-1.111.
- /41/ Asetus 59/99 vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista.
- /42/ Valtioneuvoston päätös työssä käytettävien koneiden ja muiden työvälineiden hankinnasta, turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta (856/98).
- /43/ *Yleisohjeet. Ympäristönsuojelu*. Helsinki: Tiehallinto 1999. 15 s. (SILKO 1.112) TIEL2230095-1.112.
- /44/ *Kimmo-vasaran käyttäjän ohje*. Helsinki: Tiehallinto 2006. Tiehallinnon selvityksiä 28/2006. TIEH 3201004-v.
- /45/ *Sillan laaturaportti. Laatimisohje*. TIEH 2200044-v-06. ISBN 951-803-656-X.

13. HAKUSANAT

- ankkuri 53, 79
 betonimassa 3, 17–20, 24–30, 32–34, 36, 37, 46, 47, 51, 59, 68, 69, 76, 79, 80, 82
 betonipeite 5, 17, 46, 52, 63, 69, 70, 79
 betoniterästanko 10, 49, 50, 52, 54, 56–58, 79
 ennakkokoe 67, 79
 eroosio 39, 41, 42
 erottuminen 79
 ettringiitti 20, 21, 32, 45
 fenolftaleiini 79
 geelihuokonen 40
 halkeilu, halkeama 5, 6, 24, 28, 35–38, 44, 48, 49, 54, 62, 68, 71, 79
 hidaste 11, 27, 33, 34, 79
 huokoste 3, 5, 11, 26, 28, 30, 33, 34, 37, 39–41, 43–45, 48, 76, 79, 81
 huuhtoutumattomuus 4, 48, 79
 hydrataatio 20–24, 31–33, 36, 40–43, 45, 79, 81
 ilmapitoisuus 30, 68, 69, 79
 itsetiivistyvä betoni 4, 47, 68
 jälkihoito 17, 25, 33–37, 40, 41, 46, 47, 69, 76, 80
 jänneraudoite 60
 jäätymislaajenema (dilaatio) 80
 jäätymislujuus 80
 kapillaarihuokonen 3, 30, 34, 37, 39–41, 43
 karbonatisoituminen 5, 17, 37, 38, 41–43, 56, 57, 68, 71
 kevytsorabetoni 20, 36, 48
 kiihdyte 11, 34, 76, 80
 kiviaines 2, 19, 20, 23, 28, 32, 34, 38, 42, 76, 79, 80, 81
 kloridit 5, 27, 38, 39, 44, 56, 57
 koekappale 18, 33, 69, 70, 72, 80
 koossapysyvyys 29, 79
 korroosio 5, 6, 10, 15, 17, 28, 37, 38, 42, 44, 45, 51, 54, 56–59, 68
 kovettuminen 17, 22, 23, 30, 32, 33
 kuitubetoni, kuidut 48, 51, 80
 kulutuksenkestävyys 5, 41, 42
 kutistuma 17, 24, 35, 36, 38, 54, 76, 80
 käyttöikä 14, 15, 17, 45, 49, 51, 60–62, 74, 82
 käyttöseloste 25, 74, 76, 80
 laaturaportti 13, 17, 18, 69, 71, 74
 lateksi 46
 lentotuhka 19, 23, 24, 27, 34, 41, 43, 47
 lisäaine 4, 11, 18, 22–34, 40, 44, 46, 48, 62, 76, 78, –81
 lämpöastevuorokausi
 lämpötila 5, 21, 22, 31–34, 36, 38, 40, 42, 45, 58, 67, 69
 masuunikuona 10, 11, 19, 21, 23, 24, 34, 43, 47, 80
 muodonmuutosominaisuus 35
 muokkautuvuus 17, 29, 47, 79
 nimellislujuus (lujuusluokka) 76, 80
 notkiste 11, 26, 27, 29, 33, 34, 37, 46, 47, 76, 80
 olosuhdekoekappale 33, 81
 osa-aine 3, 5, 19, 21, 26–29, 37, 45, 66, 76, 79, 80, 81
 pakkasenkestävyys 11, 15, 26, 39, 41, 63, 69, 81
 pakkassuolakoe 69
 pituuden lämpötilakerroin 36
 plastinen muodonmuutos 35
 polymeeri 10, 23, 27, 34, 46, 66, 74, 76
 pozzolaani 10, 23, 24, 43, 81
 pumppaus 26
 puristuslujuus 5, 19, 22, 33, 42, 48, 69, 70–72, 80
 pätevyysvaatimus 12, 64, 68
 rakeisuus 19, 29, 37, 81
 rakennekoekappale 69, 71
 rakenneluokka 63, 81
 rapautuminen 5, 6, 17, 38, 39
 rasitusluokka 10, 60
 rasitusluokkaryhmä 10, 17, 60, 61
 raudoite 27, 36, 47, 51, 52, 54, 61, 76, 80, 81
 raudoitus 3, 5, 6, 26, 36, 42, 49, 50, 52–54, 56–58, 61, 62, 69, 70, 79–81
 reseptibetoni
 ruiskubetoni 19, 28, 37, 48, 58
 sementti 3, 4, 10, 11, 20–34, 41, 45, 46, 61, 62, 65, 72, 73, 76, 79, 81
 sementtikivi 39, 40, 41, 79
 sementtiliima 3, 19, 29–31, 48, 66, 79, 80
 sementtipasta 3, 24, 27, 30, 46, 81
 seosaine 3, 11, 22, 23, 31, 34, 37, 76, 79–81
 sideaine 20, 23, 24, 41, 43, 45, 46, 80, 81
 silika 21, 23, 24, 27, 29, 34, 37, 38, 41, 43, 44
 sitoutuminen 22, 30
 suhteitus 51, 69, 81
 suojahuokonen 5, 26, 30, 40, 45, 81
 suojahuokossuhde
 suurhuokonen
 säilyvyys 28, 30, 37, 79, 80
 talvihoitoluokka 61
 tartunta 6, 18, 19, 23, 33–35, 46, 49, 51–53, 68, 69
 tehonotkiste 11, 26, 27, 29, 37, 46, 47, 70–72, 74
 tiivistävyys (tiiviyys) 17, 26, 29
 työsauma 63, 71
 työturvallisuus 17, 64, 65, 74, 76
 ulkonäkö 15, 48, 57, 63
 vaatimustenmukaisuuskoe 17, 18, 25, 27, 67, 69
 vakiobetoni 19, 46, 69
 valmisbetoni 18, 82
 vedenpitävyys (tiiviyys) 70, 82
 vertailulujuus 82
 vetolujuus 5, 34, 36, 51, 72
 vesi 3, 5, 10, 11, 18, 20, 22, 25–38, 41, 44, 6, 48, 66, 79–82
 vesi-sementtisuhte 3, 4, 1, 25, 26, 30, 33, 34, 37, 40, 42, 43, 63, 82
 viruma (hiipuma) 35, 54
 värisävy 28, 68, 71
 ympäristöluokitus
 ympäristönsuojelu 17, 18, 66, 74, 76

TERMIT JA MÄÄRITELMÄT

LIITE 1/7

Termitietueet

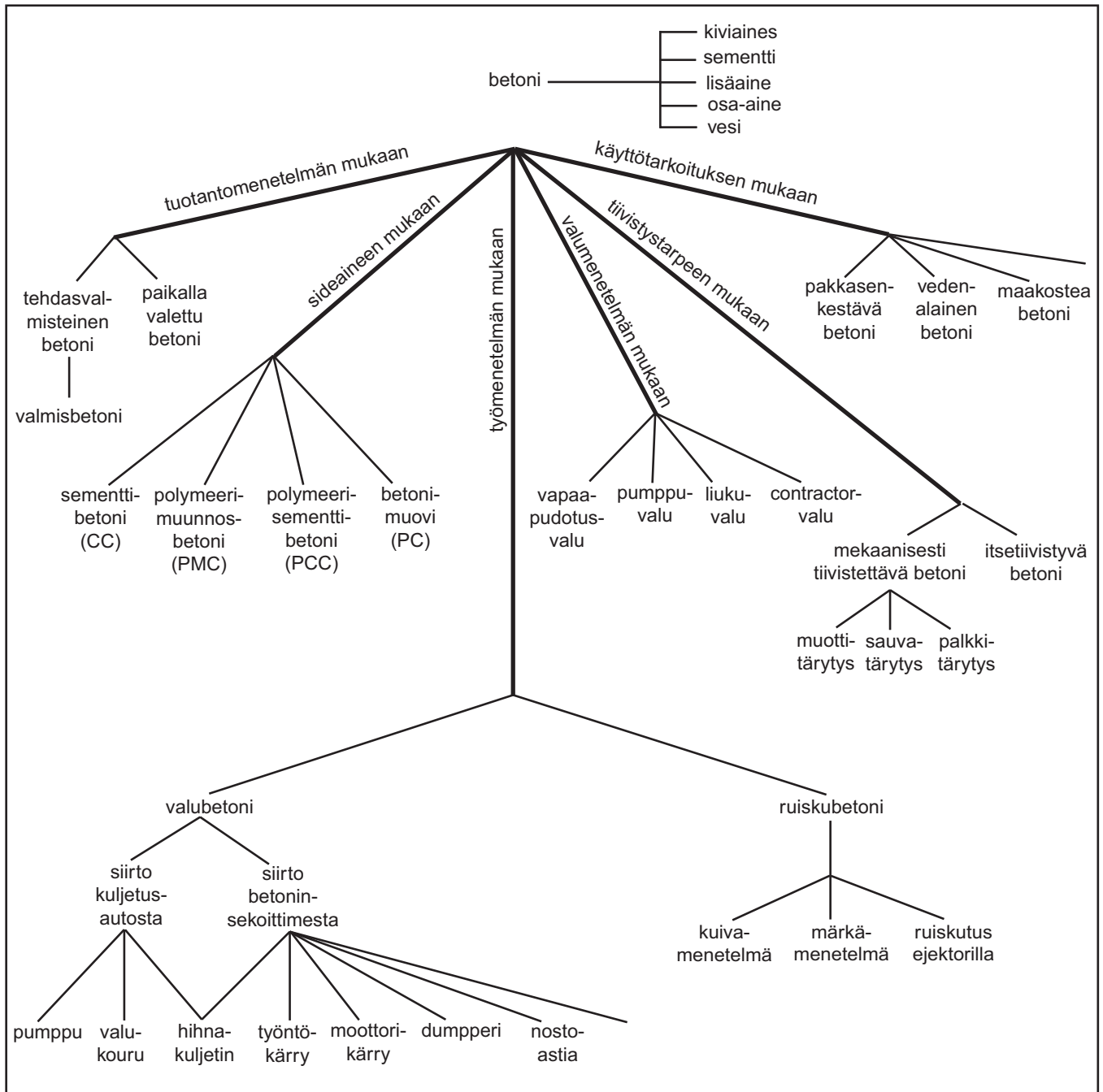
Termit, määritelmät ja selitteet on esitetty ns. termitietueina. Suositeltavat termit on esitetty **liha-voituina**. Mieluummin kuin –merkinnällä on merkitty toissijaiset, mutta ei kuitenkaan täysin hylättävät termit. Määritelmän jälkeinen kapeammalla rivinleveydellä kirjoitettu osa on selite, joka antaa lisätietoja termin käytöstä.

Betonin korjaamiseen liittyviä termejä on esitetty myös seuraavissa SILKO-ohjeissa:

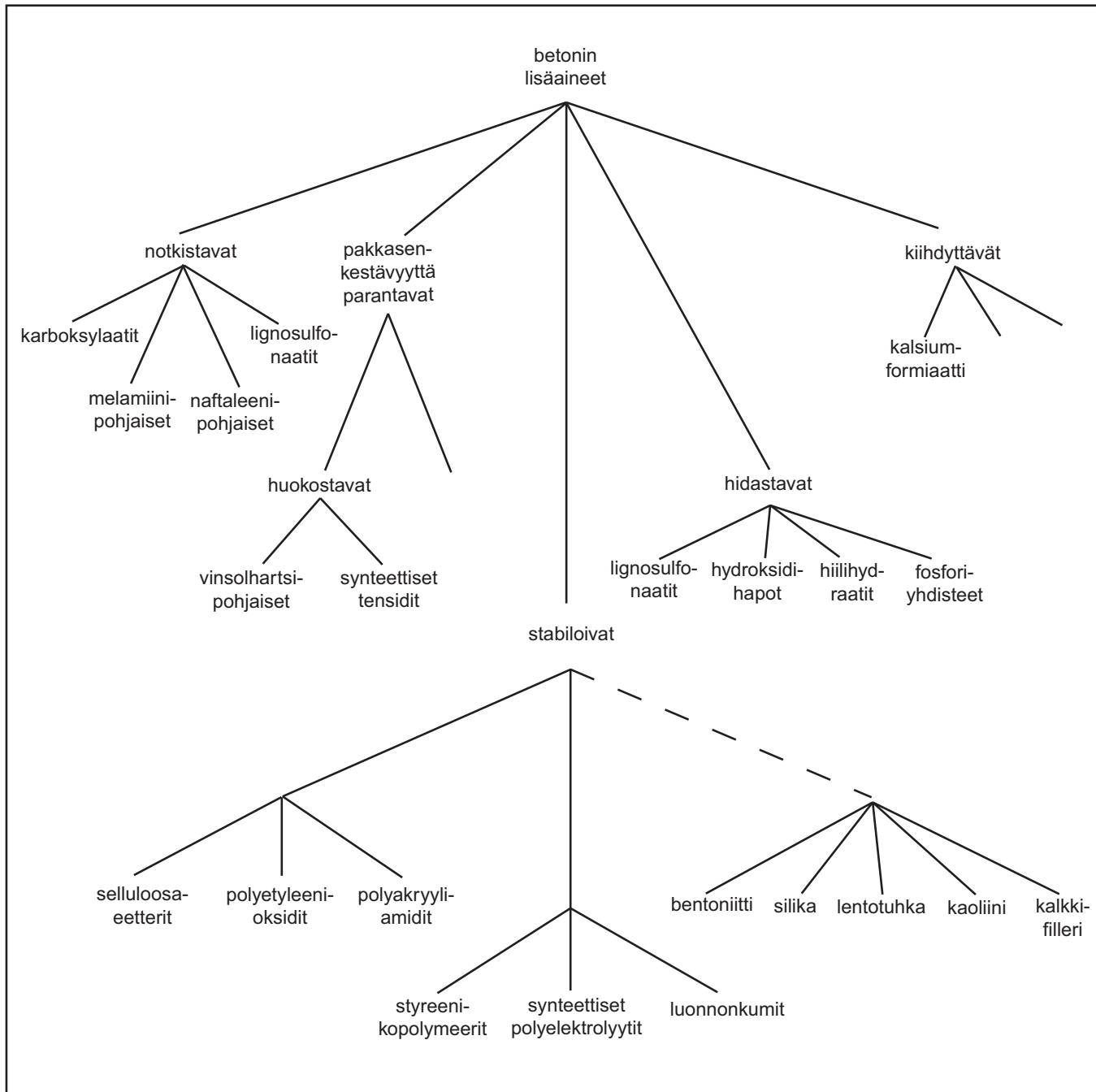
- Yleisohjeet. Työturvallisuus. Helsinki: Tiehallinto 2000. 42 s. SILKO 1.111. TIEH 2230095-1.111.
- Yleisohjeet. Ympäristönsuojelu. Helsinki: Tiehallinto 1999. 15 s. SILKO 1.112. TIEH 2230095-1.112.
- Betonirakenteet. Polymeerit sillankorjausmateriaalina. Helsinki: Tiehallinto 1990. 330s ja 2 liitettä. SILKO 1.202. TIEL 730095-1.202. Tähän ohjeeseen on otettu termit: polymeeri, polymeeripitoinen betoni, polymeeri-sementtibetoni, polymeerimuunnosbetoni, betonimuovi, notkiste, nesteyte, huokoste, kiihdyte, stabilointiaine (eräät termit kuten betoni on esitetty toisin).
- Betonirakenteet. Purkamis- ja esikäsittelymenetelmät. Helsinki: Tiehallinto 2002. 30s. SILKO 1.203. TIEH2230095-1.203.
- Betonirakenteet. Betonin paikkaus. Helsinki: Tielaitos 1996. 29 s. SILKO 1.231. TIEL2230095-1.231.
- Betonirakenteet. Betonointiruiskuttamalla. Helsinki: Tielaitos 1994. SILKO 1.232. TIEL2230095-1.232.
- Betonirakenteet. Betonin suojaaminen. Helsinki: Tiehallinto 1998. 43 s. SILKO 1.251. TIEL2230095-1.251.

Pääosa betoniin liittyvistä termeistä on esitetty seuraavissa yleisissä määräyksissä ja ohjeissa:

- Suomen rakentamismääräyskokoelma RakMK B4. Ympäristöministeriö 2005. 83 s. Tähän ohjeeseen on otettu termit: betoni, betonimassa, betonipeite, betoniteräs, jälkihoito, jänneteräs, jäätymislujuus, kiviaines, kutistuma, käyttöseloste, lisäaine, nimellislujuus, osa-aine, pakkasenkestävyys, raudoite, sementti, seosaine ja vesi-sementtisuhde.
- SYL 1. Osassa on määritelty laatua, laadunhalintaa, suunnitelmia, urakan toteuttamista sekä tilaajan ja urakoitsijan organisaatioita määrittelevät termit.



Kuva 1. Betonia kuvaava käsitejärjestelmä.



Kuva 2. Betonin lisäaineita kuvaava käsitejärjestelmä.

ankkuri

laite tai raudoitustanko, jonka avulla rakenneosat kiinnitetään toisiinsa tai alustaan

betoni

materiaali, joka on valmistettu sekoittamalla sementtiä, karkeaa ja hienoa kiviainesta ja vettä ja mahdollisesti lisäaineita ja seosaineita ja jonka ominaisuuksien kehittyminen aiheutuu siitä, että sementti kovettuu (hydratoituu) veden avulla.

betonimassa

täysin sekoitettu betoni, joka on edelleen sellaisessa tilassa, että sitä voidaan tiivistää valitulla menetelmällä

betonimassan koossapysyvyys

betonimassan kyky säilyä homogeenisena kuljetuksen, siirtojen ja käsittelyn aikana

betonimassan muokkautuvuus

betonimassan notkeuden, tiivistyvyyden ja koossapysyvyyden yhteisnimitys

betonimassan notkeus

betonimassan kyky muuttaa muotoaan niin, että massa siirtyy haluttuun paikkaan muotissa ja täyttää muotin

betonin tiivistyvyys

betonimassan kyky täyttää muotit ja ympäröidä rauditus tiiviisti siten, että betoniin ei jää tiivistyksen jälkeen onkaloita.

betonipeite

rauditusta suojaavan betonikerroksen paksuus. Betonipeitteen nimellisarvo on betonipeitteen vähimmäisarvon ja sallitun mittapoikkeaman summa. Betonipeitteen nimellisarvoa käytetään lujuuslaskelemissa, vähimmäisarvoa käytetään säilyvyyslaskelemissa ja halkeilutarkasteluissa. Betonipeitteen vähimmäisarvo ei saa alittua valmiissa rakenteessa.

betoniteräs; ei: raudoitustanko, betoniterästanko
betonirakenteen jännittämättömän raudituksen perusmateriaali

ennakkokoe

testaukset, joilla osoitetaan ennen tuotteen valmistusta tuotteen ominaisuudet

erottuminen

karkeiden kiviainesrakeiden erottuminen sementtiliimasta tai veden nousu betonimassan pintaan ja raskaampien osa-aineiden painuminen alaspäin

fenolftaleiini

reagenssiaine, joka ilmaisee betonin neutraloitumisen

Fenolftaleiini ilmaisee likimain, että pH on yli tai alle 8.

hidaste; mieluummin kuin: hidastin
lisäaine, joka hidastaa kemiallista reaktiota

huokoste; mieluummin kuin: huokostin, huokoistin, huokoistusaine
lisäaine, joka muodostaa betoniin pieniä ilmakuplia

Huokostettu betoni kestää halkeilematta toistuvia jäätymisiä ja sulamisia, sillä huokosteen muodostamissa ilmakuplissa vesi voi laajeta aiheuttamatta halkeilua.
Huokostin-termi esiintyy Betoninormeissa.

huuhtoutumaton betoni; ei: uppobetoni
vedenalaisissa valuissa käytettävä betoni, johon on lisätty sementin ja hienoaineksen huuhtoutumista estävä lisäaine

hydrataatio

sementin ja veden välinen kovettumisreaktio, jossa samalla kehittyy lämpöä

hydraulinen ominaisuus

aineen kyky reagoida veden kanssa siten, että kiinteää vedenkestävää reaktiotuotetta muodostuu sekä vedessä että ilmassa

ilmapitoisuus; mieluummin kuin ilmamäärä
betonin ilmapitoisuudella tarkoitetaan tiivistetyn betonimassan sisältämää ilmamäärää

ilma-vesisuhde

tuoreesta massasta mitatun ilmamäärän ja massaan sekoitetun veden tilavuuden suhde

injektointilaasti

suojauputkien, suurten halkeamien ja kiviaineksen tyhjätilojen injektoinnissa sekä ankkuroinnissa käytettävä laasti

jälkihoito

betonoinnin jälkeen tehtävät toimenpiteet betonin lujuuden ja muiden ominaisuuksien saavuttamiseksi

jänneteräs

betonirakenteen jännitetyn raudituksen perusmateriaali

jännebetonirakenne, jännitetty betonirakenne

raudoitettu betonirakenne, jonka rauditus on osaksi tai kokonaan jännitetty

jäätymislaajenema (dilaatio)

pakkasenkestävyyden mittasuure, joka ilmoittaa vedessä säilytetyn koekappaleen jäädytysvaiheen pituudenmuutoksen poikkeaman lämpötilakertoimen mukaan lasketusta pituudenmuutoksesta

jäätymislujuus

puristuslujuus, joka kovettumisensa alkuvaiheessa olevan betonin on saavutettava, jotta se vahingoittumatta kestäisi jäätymisen vaikutukset

keinotekoinen kiviaines

savesta poltettu kevytsora tai mineraalinen seosaine

kevytsora

savesta pyörivässä uunissa polttaen paisuttamalla valmistettu sintrautunut pyöreärakeinen aine, jonka rakeet ovat täynnä pieniä suljettuja ilmahuokosia

kiihdyte; ei: kiihdytin

lisäaine, joka nopeuttaa kemiallista reaktiota

kiviaines; ei: runkoaine

betonin rakeinen, mineraalinen osa-aine, joka sementtiliiman yhteen liittämänä muodostaa betonin

korkealujuusbetoni

betoni, jonka puristuslujuusluokka on suurempi kuin K60 (C50/60)

kuitubetoni

betoni, johon on lisätty teräs-, muovi- tai hiilikuituja valmistusvaiheessa ominaisuuksien parantamiseksi

kutistuma

betonin kuivumisesta ja kemiallisista muutoksista aiheutuva tilavuuden pieneneminen, joka on riipuvainen ajasta ja kuivumisolosuhteista

käyttöseloste

testaukseen perustuva, varmennettu selvitys betonirakenteiden valmistamiseen käytettävän materiaalin (lisäaineet, jänneteräkset yms.) ominaisuuksista, käyttökelpoisuudesta ja käyttötavoista taikka tietyn menetelmän käyttöön liittyvistä seikoista

lajite

seulomalla tai muulla vastaavalla tavalla erotettu kiviaineksen osa, jossa rakeiden koko vaihtelee tiettyjen rajojen välillä

lisäaine

betoniin pieninä määrinä lisättävä osa-aine, jota käytetään sementin, kiviaineksen ja veden ohella ja joka vaikuttaa fysikaalisesti tai kemiallisesti betonimassan tai betonin ominaisuuksiin

luonnonkiviaines

luonnon muokkaama tai mekaanisesti murskattu kiviainesmaalajeista tai kalliosta saatu kiviaines

mallityö

työnäyte, jonka avulla osoitetaan vaatimustenmukaisuus

Työnäyte käsittää kaikki työvaiheet esikäsitte-lystä viimeistelyyn asti.

mineraalinen seosaine

betonin valmistukseen käytettävä osa-aine, joka voi reagoida sideaineen tavoin

nesteyte; mieluummin kuin: nesteytin

lisäaine, jonka avulla parannetaan betonin työstettävyyttä

Nesteyte voi toimia samalla myös notkisteena.

nimellislujuus (lujuusluokka)

rakenteen suunnittelun perustaksi valittu betonilautua kuvaava puristuslujuus

notkiste; mieluummin kuin: notkistin

lisäaine, jonka avulla voidaan vähentää betonimassan veden määrää tai parantaa betonin työstettävyyttä

olosuhdekoekappale

betonin kovettumisasteen määrittämiseksi valmistettu rakenteen olosuhteissa säilytettävä koekappale

Koekappaleita käytetään puristuslujuuden ja säilyvyysominaisuuksien määrittämisessä.

osa-aine

sementti, seosaine, kiviaines, vesi, lisäaine ja betonissa mahdollisesti käytettävä muu aine

pakkasenkestävyys

kovettuneen betonin kyky säilyttää alkuperäiset ominaisuutensa toistuvan jäätymisen ja sulamisen vaikutuksen alaisena

piilevä hydraulinen ominaisuus

aineen kyky muuttua hydrauliseksi heräteaineiden, esimerkiksi portlandsementin vaikutuksesta

pozzolaani

aine, joka muodostaa esimerkiksi portlandsementin hydraatiossa vapautuvan kalsiumhydroksidin kanssa sementtikiven kaltaisia pysyviä reaktiotuotteita

rakeisuus

seulomalla tai muulla vastaavalla tavalla lajitellun kiviainesnäytteen kaikkien lajitteiden keskinäiset painosuhteet kuivana

rakenneluokka

rakenteen suunnittelun ja rakennustyön vaativuuksia osoittava luokka

raudoite; ei: raudoitus

betoni- tai jänneteräksestä valmistettu raudoituksen osa

raudoitus

betonirakenteen raudoitteiden muodostama kokonaisuus

sementin hydraataatio

klinkerimineraalien kemiallinen reaktio veden kanssa

Reaktiossa syntyy morfologisesti erityyppisiä kiinteitä yhdisteitä, jotka muodostavat sementti-geelin.

sementin kokonaismäärä

aktiivisuuskertoimella kerrotun rakennussementin ja tehokkuuskertoimilla kerrottujen seosaineiden yhteismäärä

sementin seosaine

sementin aineosaksi soveltuva masuunikuona, pozzolaani tai kalkkikivi, joka lisätään sementin jauhatuksen yhteydessä

sementin sitoutumisaika

aika veden lisäyksestä siihen hetkeen, jolloin sementtipasta saavuttaa tietyn jäykkyyden

Sementin sitoutumisaika määritetään standardin SFS 3167 mukaan.

sementti

hydraulinen hienoksi jauhettu epäorgaanista materiaalia sisältävä sideaine, joka veden kanssa sekoitettaessa muodostaa pastan, joka sitoutuu ja kovettuu hydrataatioreaktioiden ansiosta

sementtigeeli

hydratoituneesta sementistä syntynyt kiinteä massa

sementtikivi

sementin ja veden kovettunut reaktiotuote

sementtipasta

sementin ja veden notkeahko seos

seosaine

hienojakoinen materiaali, jota käytetään parantamaan tai saamaan aikaan betonin tiettyjä ominaisuuksia

Standardissa SFS-EN 206-1 käsitellään kahden tyyppisiä epäorgaanisia seosaineita

- lähes reagoimattomia seosaineita (tyyppi I)
- pozzolaanisia tai latentteja hydraulisia seosaineita (tyyppi II).

sideaine

betonin kiviainesta yhteen sitova osa

stabilointiaine

lisäaine, joka vaikuttaa materiaalin fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien säilymiseen muuttomattomina työstön ja käytön aikana

suhteitus

betoniin käytettävien osa-aineiden määrien keskinäisten suhteiden valitseminen

suojuhuukonen

ilmatäytteisenä säilyvä betonin pakkasenkestävyyttä parantava pallomainen huukonen

Suojuhuukosten läpimitta on 20–800 µm .

suunnittelukäyttöikä

ajanjakso, jonka ajan betonirakenteen ominaisuudet säilyvät rakenteelta vaadittavalla tasolla edellyttäen, että sitä pidetään asianmukaisessa kunnossa

Korjausrakentamisessa noudatetaan taulukoissa 18a ja 18b esitettyjä suunnittelukäyttöikävaatimuksia. Suunnittelukäyttöikä oletetaan saavutettavan 95 %:n todennäköisyydellä (by 50 /3/ kohta 3.1).

tehollinen vesimäärä

betonimassassa olevan vesimäärän ja kiviainekseen imeytyneen (absorptoituneen) vesimäärän erotus

vaatimustenmukaisuuden osoittaminen; ei: kelppoisuuden osoittaminen urakoitsijan tai valmistajan tekemien vaatimustenmukaisuuskokeiden tulosten esittäminen tilaajalle

valmisbetoni

betonitehtaassa sekoitettu betonimassa

vedenpitävyys

betonin kyky vastustaa toispuolisen vedenpaineen vaikutuksesta tapahtuvaa veden kulkua betonin läpi

vertailulujuus

testisuure, jonka lujuuskokeiden tuloksista laskettua arvoa verrataan nimellislujuuden arvoon betonin vaatimustenmukaisuutta arvioitaessa

vesi-sementtisuhte

betonimassan tehollisen vesimäärän ja tehollisen sementtimäärän (massamäärien) suhde

