

Ohjeistus betonin tiivistämiseksi tärysauvalla

Jouni Punkki, professori, Aalto-yliopisto
Teemu Ojala, DI, tohtorikoulutettava, Aalto-yliopisto
Seppo Petrow, DI
Max Vuorio, betoniasiantuntija
Ari Mantila, DI, Betoniteollisuus ry

Tässä ohjeessa esitetään periaatteet betonin tiivistämisestä tärysauvalla. Ohjeistus perustuu Aalto-yliopistossa tehdyn Good vibrations -projektin mittaustuloksiin ja havaintoihin. Lisäksi ohjeessa on hyödynnetty alan asiantuntijoiden osaaminen betonin tiivistämisestä. Betonin tiivistämistä tullaan tarkastelemaan tarkemmin myös lähiaikoina julkaistavassa Betoniyhdistyksen julkaisussa By 73 - Betonin tiivistäminen, 2019.

Tiivistysprosessi

Tiivistettäessä betonia tärysauvalla lopputulokseen vaikuttavat itse tärytyksen lisäksi myös betonin ominaisuudet, muotti sekä raudoitus. Tiivistettävyyden kannalta olennaisimmat betonin ominaisuudet ovat notkeus, ilmamäärä ja kiviaineksen maksimiraeokoko. Tiivistettävyyteen voidaan vaikuttaa lisäaineilla, sementin valinnalla ja seosaineilla. Kiviaineksen ominaisuudet ja betonissa käytettävän kiviainesseoksen rakeisuus vaikuttavat myös hyvin paljon betonin tiivistettävyyteen. Tiivistysprosessi voidaan kuvata seuraavalla nelivaiheisena prosessina:

I Tärysauvan valinta

II Tärytysvälän määrittäminen

III Valukerroksen paksuus

IV Tärytysaika

Tämä prosessi voidaan tiivistää kuvan 1 mukaiseen kaavioon, jossa on esitettyä kunkin vaiheen keskeiset tekijät.

I Tärysauvan valinta

Peruseriaatteena on käyttää niin suurikokoista tärysauvaa kuin raudoitus ja muottirakenne sallivat. Yleisimmät käytettävät tärysauvan (tärypään) koot vaihtelevat noin 30 ja 60 mm:n välillä. Yleensä raudoitus on kriittisin tärysauvan kokoa rajoittava tekijä, sillä täry-

sauvan on mahdollista yläpinnan raudoituksen läpi. Jotta tämä onnistuisi, tärysauvan koko saa olla korkeintaan $\frac{2}{3}$ raudoituksen tankovälistä tärytykskohdalla.

Periaatteessa tärysauvan lisäksi tankojen väliin pitäisi mahtua kiviainesrakeet molemmille puolille. Siten tärysauvan halkaisija voidaan laskea tarkemmin kaavasta:

$$\text{Tärysauvan halkaisija} \leq \text{Tankoväli} + 2 \cdot KA_{max}$$

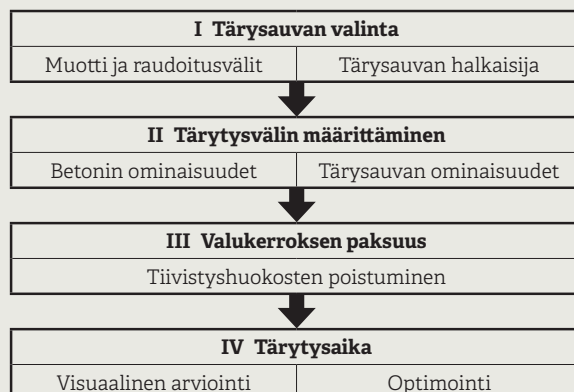
missä

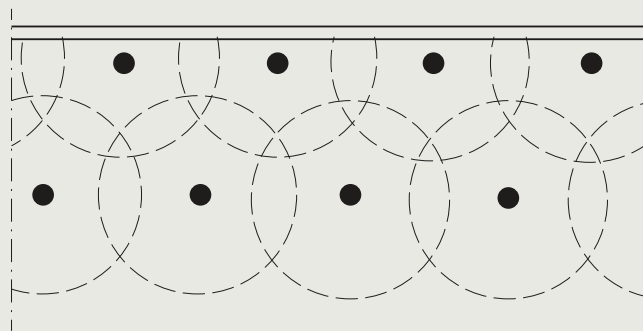
Tärysauvan halkaisija, [mm]

Tankoväli = Raudoituksen tankojen välinen etäisyys, jonka välistä tärytetään, [mm]

KA_{max} = Betonissa käytettävän kiviaineksen maksimiraeokoko, [mm]

Kuva 1 Tiivistyksen valintaa voidaan kuvata nelivaiheisena prosessina tärysauvaa käytettäessä. Kaaviossa on esitetty kunkin vaiheen keskeiset tekijät.

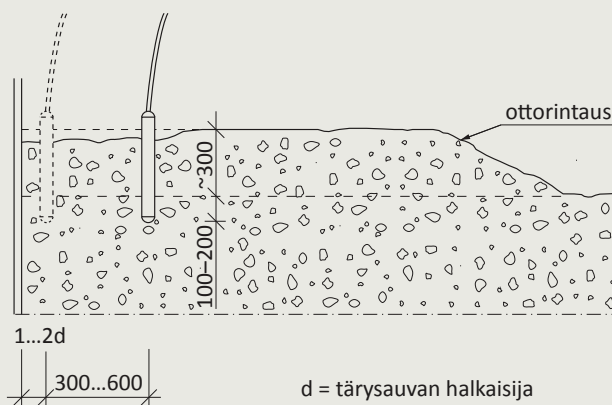




Kuva 2 Tärysauvan koon (vaikutussäteen) sovittaminen rakenteen dimensioihin niin, että riittävä tiivistys saavutetaan joka paikassa rakennetta. (By 201)

Tankojen välisessä etäisyydessä on otettava huomioon harjaterästen todellinen halkaisija harjojen kohdalla (noin 1,1-kertainen verrattuna nimellispaksuuteen).

Tärkeää on, että rakenteen kaikki osat voidaan täryttää. Siten tarvittaessa raudoitukseen tulee tehdä erityiset valu- ja tärytysaukot niin, että tärysauva voi saavuttaa kaikki kohdat. Vaihtoehtoisesti yläpinnan raudoitustangot voidaan asentaa vasta valun edettyä riittävän pitkälle ja näin mahdollistetaan alempien osien tärytys. Myös muotin dimensiot vaikuttavat tärysauvan valintaan. Esimerkiksi 58 mm:n tärysauvaa voidaan yleensä käyttää, kun muotin pienin dimensio on vähintään 250 mm.



Kuva 3 Edellisen valukerroksen yhdistäminen uuteen kerrokseen tärysauvaa käyttäen. By 201

II Tärytysvälin määrittäminen

Tärytysväli määräytyy ennen kaikkea tärysauvan ominaisuuksien mukaan, mutta myös muotin dimensiot ja betonin ominaisuudet vaikuttavat valintaan. Paras lopputulos saavutetaan, kun käytetään pienempiä tärytysvälejä ja lyhyempiä tiivistysaikoja.

Tärytysväli arvioidaan parhaiten koevalun perusteella, jolloin myös tärysauvan, betonin ja rakenteen ominaisuudet voidaan ottaa huomioon. Tyypillisesti tärytysväli on sauvan koosta riippuen noin 300...600 mm, ja yli 800 mm:n tärytysväliä tulee käyttää vain, mikäli rakenteen riittävä tiivistyvyys on osoitettu kokeellisesti.

Tärytysalue voidaan ajatella ympyräksi, jonka halkaisijaa kutsutaan tärysauvan vai-

kutusalueeksi. Vaikutusalueiden tulisi limittyä vähintään noin 5 cm ja lisäksi vaikutusalueiden tulee ulottua kuvan 2 mukaisesti joka paikkaan muotissa, myös nurkkiin.

III Valukerroksen paksuus

Valukerroksen paksuus on olennaisessa roolissa tiivistyshuokosten poistumisen kannalta. Tiivistyshuokokset nousevat betonissa ylöspäin tärytyksen aikana varsin hitaasti. Yleensä nopeus on noin 2...5 cm/s. Jos valukerroksen paksuus on liian suuri, kaikki tiivistysilma ei ehdi poistumaan betonista tärytyksen aikana.

Suosittelavia valukerroksen paksuuksia ovat:

- huokostamattomat betonit: 400 mm
- huokostetut betonit, vesitiiviit rakenteet, XA-rasitusluokkien betonit: 300 mm.

Seuraava valukerros tulisi normaalilämpötiloissa valaa 30...60 min kuluessa edellisestä kerroksesta ja tärytys tulisi ulottaa edelliseen kerrokseen noin 150 mm (100...200 mm), näin estetään valusauman muodostuminen valukerrosten välille.

Normaalilämpötiloissa nousunopeuksien tulisi olla korkeintaan:

- huokostamattomat betonit: 800 mm / h
- huokostetut betonit, vesitiiviit rakenteet, XA-rasitusluokkien betonit: 600 mm / h.

IV Tärytysaika

Tärytysaika riippuu lukuisista tekijöistä kuten tärysauvasta, betonin ominaisuuksista, raudoituksen tiheydestä ja muottirakenteesta. Myös käytettävä tärytysväli vaikuttaa olennaisesti tärytysaikaan. Tärytysaika on aina jonkinasteinen kompromissi; liian lyhyt tärytysaika jättää betoniin tiivistysilmaa ja siten heiken-

Laskennallisesti tärytysväliä voidaan arvioida:

$$\text{Tärytysväli} = 1,4 \cdot \text{Vaikutussäde} = (0,7 \cdot \text{Vaikutushalkaisija})$$

Nyrkkisääntönä voidaan myös käyttää:

$$\text{Tärytysväli} = 8 \dots 10 \cdot \text{Tärysauvan halkaisija}$$

Vaikutussäteellä ja -halkaisijalla tarkoitetaan etäisyyttä tärysauvasta, jossa tärysauva pystyy poistamaan tiivistyshuokosia. Osa tärysauvan valmistajista ilmoittaa vaikutussäteen tai -halkaisijan.



Kuva 4 Betonin tiivistys ei ole vielä riittävä. Muotin nurkat ja raudoituksen viereiset alueet eivät ole täyttyneet betonilla.



Kuva 5 Tiivistys on lähellä optimia. Pinnan kupliminen on vähentynyt, kiviainesrakeita on vielä lähellä pintaa ja sementtipastaa ei ole erottunut betonipinnalle.



Kuva 6 Betonin optimitiivistysaika on ylitetty. Sementtipasta on erottunut betonipinnalle, tämä näkyy myös vaaleampana "vaahtona" pinnan keskiosassa. Tiivistysilman poistuminen jatkuu vielä tässäkin vaiheessa. Erityisesti huokostetuilla betoneilla erottuminen voi alkaa jo ennen kuin kaikki tiivistysilma on saatu poistettua betonista.

Taulukko 1	Betonin ohjeellinen tiivistysaika (s/m ³) erilaisilla betoneilla. Sulkuihin on merkitty vastaava tärytysaika sekunneissa yhtä tärytyskohdasta kohden keskimääräistä tiivistysväliä käyttäen. Tiivistysajoissa on huomioitu sekä betonin tiivistysaste että betonin erottumisherkyys.	Notkeusluokka		
		Betoni	S2, F1	S3, F2
Huokostamaton		400...800 (8...16 s)	200...400 (5...8 s)	200...400 (5...8 s)
Huokostettu		200...400 (5...8 s)	180...300 (4...6 s)	150...250 (3...5 s)

Huom. 1. Esitetyt tiivistysajat eivät sisällä tärysauvan nostoaikaa. Nostoaika voi joissakin tapauksissa lisätä merkittävästi tehollista tärytysaikaa.
Huom. 2. Esitetyt arvot pätevät uudelle tärysauvalle, mahdollista käytöstä aiheutuvaa kulumaa ei ole huomioitu. Tärysauvan säännöllinen huoltaminen on tärkeää.

tää lujuusominaisuuksia. Toisaalta liian pitkä tärytysaika voi aiheuttaa betonin erottumista.

Oikea tiivistysaika joudutaan arvioimaan käytännössä silmämääräisesti. Tärytysaika on riittävä, kun tiivistyshuokosten poistuminen valupintaan on olennaisesti vähentynyt. Tärkeää on kiinnittää huomiota myös siihen, että betoni täyttää raudoituksen ja muotin välisen raon erityisesti nurkissa. Samalla on kuitenkin arvioitava betonin erottumisriskiä. Erityisesti notkeilla ja huokostetuilla betoneilla erottumisvaara on selkeästi suurempi.

Taulukossa 1 on esitetty ohjeellisia tiivistysaikoja eri tyyppisille betoneille. Arvoja voidaan käyttää esimerkiksi arvioitaessa tarvittavia työmenekkejä.

Taulukossa esitetyt ajat ovat noin 45 mm tärysauvalle ja kun kyseessä on seinämäinen muotti. Optimitärytysaika voi vaihdella ± 20 % riippuen tiivistyskalustosta, kiviaineksen laadusta sekä raudoituksen tiheydestä. Lisäksi taulukkoa luettaessa on huomioitava, että notkeus- ja leviämäluokat eivät aina vastaa toisiaan. Tämä pätee varsinkin runsaasti notkistetuilla betoneilla, eikä voida sanoa suoraan, että painumana ilmoitettu notkeusluokka vastaisi tiettyä leviämäluokkaa. Esimerkiksi valettaessa betonia, jonka notkeusluokka on S3 leviämän ollessa luokkaa F3, kannattaa todennäköisesti käyttää lyhyempää tärytysaikaa erottumisvaaran takia.

Optimitärytysaika on myös riippuvainen tärysauvan koosta ja siten tärytysvälistä. Käytettäessä > 50 mm suurtaajuustärysauvaa, taulukon arvoja voidaan pienentää 15...20 %. Vastaavasti 30 mm tärysauvalla (tärypään halkaisija) tiivistysaikoja tulee kasvattaa noin 15...20 %.

Huokostetut betonit ovat herkkiä erottumiselle. Siten yhdessä tärytyskohdassa tärytysajan tulisi yleensä olla korkeintaan noin 6 s. Yli 10 sekunnin tärytysaikoja ei suositella betonin erottumisvaaran vuoksi. Erityisesti notkeat ja

huokostetut betonit voivat erottua merkittävästi jo alle 10 sekunnin tärytyksen aikana. Sen sijaan huokostamattomilla betoneilla erottumisriski on vähäinen ja siten tärytysajat voivat olla pidempiä. Huokostamattomilla betoneilla liian lyhyt tärytysaika voi johtaa alhaiseen tiivistysasteeseen ja siten alhaiseen lujuustasoon.

Erikoistilanteissa, esimerkiksi ylöspäin kapenevat muotit, vinot muottipinnat tai leukapalkit, on tiivistys suunniteltava tapauskohtaisesti erikseen.

Pintakerroksen tiivistäminen

Pintakerroksen (valupinnan) osalta riskinä on sementtipastan erottuminen pintaan. Erottumisriskiä voidaan vähentää käyttämällä viimeisessä valukeroksessa pienempää kerrospaksuutta, esim. 100...150 mm. Tällöin tiivistysilma saadaan poistettua betonista lyhyemmällä tiivistysajalla ja ylitiivistyksen vaara pienenee.

Laajoissa vaakavaluissa suositellaan kaksoistärypalkin käyttöä pintakerroksen tiivistämiseen. Kerrospaksuudeksi suositellaan 100 mm, ellei paksumman kerrospaksuuden tiivistyvyys ole ennakkokokein varmistettu. Erottumisvaaran vuoksi tärypalkkia ei saa pysäyttää jättämällä tärytin päälle.

Kulutusrasitetuille betonipinnoille suositellaan konehiertoa.

Pystymuoteissa, joissa raudoitusta on runsaasti ja käytetään huokostettua betonia, suositeltavaa on käyttää lisänä ulkopuolista tärytystä (muottitärytys). Näin varmistetaan riittävä tiivistys ilman ylipitkiä tiivistysaikoja.

Jälkitärytys

Jotta betonin painuma ei aiheuttaisi rakenteisiin halkeilua, tulisi pystyrakenteiden yläosat jälkitäryttää. Sopiva ajankohta jälkitärytykselle on normaaliolosuhteissa 1...2 tuntia valun jälkeen, mutta riippuu merkittävästi betonin lämpötilasta sekä ominaisuuksista. Kun betonia jälkitärytetään, sitoutuminen ei

saa olla vielä alkanut ja tärysauvan tulee upota betoniin omalla painollaan. Myös tärysauvan aiheuttaman kolon tulee täyttyä, kun tärysauva nostetaan pois.

Itsetiivistyvä betoni

Mikäli betonin tiivistäminen on vaikeaa tiheän raudoituksen tai muotin muotojen vuoksi, itsetiivistyvä betoni on hyvä vaihtoehto. Itsetiivistyvä betoni tiivistyy painovoiman vaikutuksesta ja siten itsetiivistyvää betonia ei saa täryttää. Erikoistapauksissa itsetiivistyvän betonin lisätiivistäminen voi olla perusteltua, mutta tällöin tiivistyminen ja erottumisriski tulee selvittää kokeellisesti etukäteen.

Lisätietoja:

Esimerkkivideoita tiivistyksestä on nähtävissä YouTube-kanavalla: [Aalto Concrete Technology](#)

Myös Google-haulla:

[Aalto Concrete Technology youtube](#)