



Väylävirasto
Trafikledsverket

Väyläviraston ohjeita
41/2020

INFRABETONIEN VALMISTUS



*Kannen kuva: Koivukylän rautatieristeysilta,
Juha Lehto/Taitorakennerekisteri*

Verkojulkaisu pdf (www.vayla.fi)

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelin 0295 34 3000



Väylävirasto
Trafikledsverket

OHJE

16.12.2020

VÄYLÄ/8730/06.04.01/2020

Vastaanottaja
ELY-keskukset L-alue
Väylävirasto

Säädösperusta
Laki Väylävirastosta 2.1 §

Korvaa/muuttaa
Siltabetonien P-lukumenettely,
Liikenneviraston ohjeita 22/2016

Kohdistuvuus
ELY-keskukset L-alue
Väylävirasto

Voimassa
1.1.2021 alkaen toistaiseksi

Asiasanat

Betoni, pakkasenkestävyys, testaus, laatuvaatimukset, sillanrakennus, hankinta

Infrabetonien valmistus

Tätä ohjetta noudatetaan yleisten tie-, rata- ja vesiväylien betonisten siltojen ja muiden taitorakenteiden rakentamisessa sekä niissä yksityisteiden siltabetonirakenteissa, jotka saavat valtion avustusta.

Ohjeessa esitetään infrabetonien valmistuksen laatu-, ennakkokoe- ja suhteitusvaatimukset, laadunvalvonnan ja kelpoisuuden osoittamisen menettelytavat sekä ohjeet betonin P-luvun määrittämiseksi.

Osastonjohtaja,
tekniikka ja ympäristö

Minna Torkkeli

Toimialajohtaja,
liikenneverkkojen suunnittelu

Pekka Rajala

Asiantuntija, sillat

Jussi Vuotari

Ohje on osa Väyläviraston turvallisuusjohtamisjärjestelmää tienpidon ja rautatietoiintojen osalta.

LISÄTIETOJA
Jussi Vuotari
Väylävirasto
etunimi.sukunimi(at)vayla.fi

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI

puh. 0295 34 3000
faksi 0295 34 3700

kirjaamo@vayla.fi
etunimi.sukunimi@vayla.fi

www.vayla.fi

Esipuhe

Ohjeessa esitetään infrabetonien valmistuksen laatu-, ennakkokoe- ja suhteitusvaatimukset, laadunvalvonnan ja kelpoisuuden osoittamisen menettelytavat sekä ohjeet betonin P-luvun määrittämiseksi.

Tätä ohjetta noudatetaan yleisten tie-, rata- ja vesiväylien betonisten siltojen ja muiden taitorakenteiden rakentamisessa sekä niissä yksityisteiden siltabetonirakenteissa, jotka saavat valtionavustusta. Ohjetta voi käyttää myös muussa infrarakentamisessa tai pakkassuolarasitetuissa betonirakenteissa.

Tämä ohje on päivitys ohjeeseen Siltabetonien P-lukumenettely. Ohjeen laadintaa on ohjannut Väyläviraston taitorakenneyksikössä DI Jussi Vuotari. Ohjeen kirjoittamiseen on osallistunut professori tekn. tri Jouni Punkki Betoniviidakko Oy:stä. Ohjetta on valmisteltu osin Aalto-yliopiston, Väyläviraston ja Betoniteollisuus ry:n yhteisprojektissa. Ohjeen laatimista on ohjannut Väyläviraston asiantuntijaryhmä, jonka jäsenenä on toiminut edellä mainittujen lisäksi professori tekn. tri. Anssi Laaksonen A-Insinöörit Civil Oy:stä ja Heikki Lilja Väylävirastosta.

Tampereella joulukuussa 2020

Väylävirasto
Taitorakenneyksikkö

Sisältö

1	YLEISTÄ	7
1.1	Termit ja määritelmät	7
1.2	Ohjeen rakenne	9
2	LAATUVAATIMUKSET	10
2.1	Infrabetonilaadut	10
3	LAADUNVALVONTA	12
3.1	Tuotesertifiointi.....	12
3.2	Laadunvarmistus työmaalla.....	12
4	VALMISTUS- JA SUHTEITUSVAATIMUKSET	13
4.1	Betonin osa-aineet.....	13
4.1.1	Sementti	13
4.1.2	Kiviaines	13
4.1.3	Seosaineet	13
4.1.4	Vesi ja lisäaineet.....	13
4.2	Suhteitus	14
4.2.1	Betonin ilmamäärä	14
4.2.2	Sideaineet	15
4.2.3	Betonin vesimäärä.....	16
4.2.4	Muut vaatimukset suhteituksessa	16
4.3	Betonin sekoitusaika	17
5	ENNAKKOKOKEET	18
5.1	Tehdaskohtaiset ennakkokokeet	18
5.1.1	Tehdaskohtaisten ennakkokokeiden lukumäärät ja testit	19
5.1.2	Vaatimukset ennakkokokeissa	20
5.1.3	Betonin sekoitusaika ennakkokokeissa.....	21
5.1.4	Tuoreelle betonille tehtävät kokeet.....	22
5.1.5	Laboratoriokoekappaleiden puristuslujuus	24
5.1.6	Betonin pakkassuolakestävyys.....	24
5.1.7	Tehdaskohtaisten ennakkokokeiden voimassaolo	25
5.1.8	Ennakkokokeiden dokumentointi.....	26
5.2	Kohdekohtaiset ennakkokokeet	27
5.2.1	Muotti.....	27
5.2.2	Betoni.....	27
5.2.3	Tuoreen betonin testaukset.....	28
5.2.4	Betonin valu ja tiivistys	28
5.2.5	Kovettuneen betonin testaukset	28
5.2.6	Koetulosten raportointi ja voimassaolo.....	31
6	VALUTYÖN AIKAINEN TOIMINTA BETONIASEMALLA.....	32
6.1	Kiviaineksen kosteuspitoisuus.....	32
6.2	Tuoreen betonin ilmamäärän ja notkeuden mittaaminen	32
6.3	Puristuslujuuden vaatimustenmukaisuuden osoittaminen	33
6.3.1	Kohdekohtaiset valettavat koekappaleet betoniasemalla	34
6.4	Betonin kuljetus.....	34

7	P-LUVUN MÄÄRITTÄMINEN	35
7.1	P-luvun määrittäminen suhteitustietojen ja ilmamäärän perusteella.....	35
7.2	P-luvun määrittäminen suoralla pakkaskokeella.....	37
8	DOKUMENTOINTI.....	38
	KIRJALLISUUSLUETTELO.....	39

1 Yleistä

Tätä ohjetta noudatetaan Väyläviraston kohteissa infrabetonien (P-lukubetonien) valmistuksessa valmisbetoniasemilla sekä betonielementtien valmistuksessa. Ohjeessa esitetään kaksi vaihtoehtoista hyväksyttyä menettelyä P-lukuvaatimuksen täyttämiseksi, joista toinen on tuoreen betonin ominaisuuksiin perustuva menetelmä (kohta 7.1) ja toinen kovettuneen betonin pakkassuolakokeeseen perustuva menetelmä (kohta 7.2).

Infrabetonin lujuus- ja pakkasenkestävyysluokat on määritetty ja merkitty rakennussuunnitelmaan Väyläviraston ohjeen Eurokoodin soveltamisohje - Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2 /1/ mukaisesti.

Betonin pakkasenkestävyysvaatimus esitetään suunnitelmassa pakkasenkestävyysluokana, P-lukuna. Infrarakenteet jaotellaan P-luvun mukaan pakkasenkestävyysluokkiin, esim. P30 tai P50. Betonin pakkasenkestävyys on sitä parempi mitä suurempi pakkasenkestävyysluku on. Jos infrabetonilla ei ole pakkasenkestävyysvaatimusta, merkitään P-luvuksi P0. Silloin betonia ei tarvitse huokostaa.

1.1 Termit ja määritelmät

Tässä ohjeessa käytetään seuraavia termejä ja määritelmiä.

Betonilaatu

Lujuusluokan ja P-luvun yhdistelmä.

Erillishyväksyntä

Väylävirasto voi myöntää sementille kokeisiin perustuen erillishyväksynnän. Tällöin P-lukua laskettaessa sementin määränä (Q_{sem}) voidaan käyttää todellista sementin määrää ilman seosainekertoimia ($k_A=1$).

Infrabetoni

Tie-, rata- tai vesiväylien betonisten taitorakenteiden rakentamisessa käytettävä betoni, jonka valmistuksessa noudatetaan tätä ohjetta. Ks. taulukko 1 suositelluista käytettävistä infrabetoneista.

Kuutiopuristuslujuus $f_{ck,cube}$

Betonin puristuslujuus, joka on määritetty 150 mm kuutiomaisten koekappaleiden avulla.

Kovettunut betoni

Betoni, joka on kiinteässä olomuodossa ja joka on saavuttanut tietyn lujuuden.

Laskennallinen tiheys

Betonin laskennallinen tiheys, joka lasketaan reseptitietojen perusteella. Laskennallinen tiheys lasketaan Tehdaskohtaisten ennakkokokeiden Excel-lomakkeella.

Lieriöpuristuslujuus $f_{ck,cyl}$

Betonin puristuslujuus, joka on määritetty halkaisijaltaan $d = 150$ mm ($h = 300$ mm) lieriömäisten koekappaleiden avulla.

Nimellislujuus

Rakenteen suunnittelun perustaksi valittu betonin ominaispuristuslujuus.

Ominaispuristuslujuus $f_{ck} (= f_{ck,cyl})$

Tässä ohjeessa käytetään ominaispuristuslujuutena lieriölujuutta, joka on lujuusluokan ensimmäinen lukema. Esim. lujuusluokan C35/45 ominaispuristuslujuus f_{ck} on 35 MPa. Ominaispuristuslujuus määritetään lieriömäisistä koekappaleista ($h = 300$ mm ja $d = 150$ mm).

P-luku

Betonin pakkasenkestävyysvaatimus esitetään suunnitelmassa pakkasenkestävyyssluokana P. Infrarakenteet jaotellaan P-luvun mukaan pakkasenkestävyyssluokkiin, esim. P30 tai P50. Betonin pakkasenkestävyys on sitä parempi mitä suurempi pakkasenkestävyyssluuku on. Pakkaskestävyys tarkoittaa tässä yhteydessä pakkasuolakestävyyttä. P0-merkintä tarkoittaa sitä, että kyseessä on tämän ohjeen piiriin kuuluva infrabetoni, mutta varsinaista pakkasenkestävyysvaatimusta ei ole.

Rakennekoekappaleilla testattu puristuslujuus $f_{ck,is}$

Rakenteesta irrotettujen rakennekoekappaleiden perusteella määritetty betonin puristuslujuus.

Seosaine

Sementin (SFS-EN 197-1) /2/ ja betonin valmistuksen yhteydessä mahdollisesti lisättävät standardin SFS-EN 206 /5/ mukaiset II-luokan seosaineet kuten lentotuha, masuunikuonajauhe ja silika.

Sideaineen kokonaismäärä

Sementin ja betoniin valmistuksen yhteydessä lisättyjen seosainemäärien yhteismäärää. Sideaineen kokonaismäärää laskettaessa ei sementin eikä seosainemääriä kerrota seosainekertoimilla.

Tavoiteilmamäärä

Betonin valmistajan valitsema suhteituksen mukainen tuoreen betonin ilma-määrä. Tavoiteilmamäärän valinnassa on huomioitava P-luvusta ja tehollisesta vesi-sideainesuhteesta riippuva vähimmäis- ja enimmäisilmamäärä.

Tehollinen sementtimäärä Q_{sem}

Seosainekertoimella kerrottu sementin määrä. Tehollista sementtimäärää laskettaessa sementin valmistuksen yhteydessä lisättävät seosaineet otetaan huomioon taulukon 4 mukaisilla seosainekertoimilla.

Tehollisen sideaineen kokonaismäärä Q_{sid}

Tehollisen sementtimäärän ja betoniasemalla lisättyjen seosainekertoimilla kerrottujen seosainemäärien yhteismäärä.

Tehollinen vesimäärä Q_{vesi}

Tuoreen betonin vesimäärä, joka ei sisällä kiviainekseen imeytynyttä vesimäärää.

Tehollinen vesi-sideainesuhte

Tuoreen betonin tehollisen vesimäärän ja tehollisen sideaineen kokonaismäärän (massamäärien) suhde.

Tuore betoni

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

Seosainekerroin (aktiivisuuskeroi)

Seosaineiden aktiivisuutta kuvaava tämän ohjeen taulukon 4 mukainen kerroin.

1.2 Ohjeen rakenne

Väyläviraston vaatimukset on esitetty normaalissa kappalejaossa. Sisennetyssä kappaleessa on esitetty opastavia tietoja kursivoidulla tekstillä. Kaavojen määrittelyssä käytettävä sisennetty teksti rinnastetaan vaatimukseen.

2 Laatuvaatimukset

Betonin osa-aineiden, tuoreen betonin ja kovettuneen betonin on täytettävä tämän ohjeen, Suomen rakentamismääräyskokoelman sekä standardien SFS-EN 206 ja SFS 7022 vaatimukset. Väyläviraston kohteissa tämän ohjeen vaatimukset ovat määrääviä.

Tuoreella betonimassalla on oltava sellaiset ominaisuudet, että se tarkoitukseen soveltuvia menetelmiä käyttäen tiivistettynä ja jälkihoidettuna täyttää kaikki suunnitelmassa ja tässä ohjeessa betonille asetetut laatuvaatimukset.

Betonin on täytettävä rakennussuunnitelmassa esitetyt puristuslujuus- ja pakkasenkestävyysvaatimukset. Pakkaskestävyysvaatimukset tulee täytyä 28 vuorokauden ikäisenä. Puristuslujuusvaatimus tulee täytyä laadunvarmistuksessa, joka on myös 28 vuorokautta ellei suunnitelmassa ole toisin määritelty.

Pakkasenkestävyyden testaus aloitetaan julkaisun CEN/TS 12390-9 mukaisesti 28 vuorokauden ikäiselle betonille.

Betonin ennakkokokeet tulee tehdä tämän ohjeen luvun 5 mukaisesti. Tässä ohjeessa esitetyt ennakkokokeet täydentävät standardissa SFS-EN 206 esitettyjä betonin laadunvarmistustoimenpiteitä.

2.1 Infrabetonilaadut

Taulukossa 1 on esitetty käyttöön suositellut infrabetonilaadut.

Suosittelavien infrabetonilaatujen määrää on vähennetty, jotta infrabetonin laadunvarmistusta voidaan yksinkertaistaa.

Taulukko 1. Käyttöön suositeltavat infrabetonilaadut.

Infrabetonilaatu
C30/37 P0
C30/37 P30
C35/45 P0
C35/45 P30
C35/45 P50
C45/55 P50

Mikäli betoniasemalta tilataan taulukosta 1 poikkeavaa infrabetonilaatua, pyritään korvaamaan se taulukon 1 mukaisilla infrabetonilaadulla niin, että joko lujuusluokkaa tai P-lukua kasvatetaan. Korvaamisesta toisella infrabetonilaadulla on sovittava betonin tilaajan (urakoitsijan) kanssa. Mikäli tarvitaan korkeampaa lujuusluokkaa kuin C45/55 tai korkeampaa P-lukua kuin P50, tarvitaan oma infrabetonilaatu, jolle on tehtävä ennakkokokeet erikseen (ks. Kappale 5).

Infrabetoneiden merkitsemisessä suunnitelmiin ei esitetä rasitusluokkia. Poikkeuksena ovat kemiallisen rasituksen (esim. sulfaattirasitukset) alaiset rakennosat, jotka merkitään XA rasitusluokalla suunnitelmissa. Tällöin betonin valmistajan on otettava huomioon standardissa SFS-EN 7022 esitetyt vaatimukset sideaineen koostumukselle, vesisementtisuhteelle ja puristuslujuudelle.

Sulfaattirasituksen alainen betonilaatu merkitään esimerkiksi C30/37 P30 XA1.

3 Laadunvalvonta

Infrabetonin valmistuksen laatua valvotaan julkaisun BY65 Betoninormit /3/, standardien SFS-EN 206 /5/ ja SFS 7022 /6/ ja tämän ohjeen mukaisesti. Väyläviraston kohteissa tämän ohjeen vaatimukset ovat määrääviä.

3.1 Tuotesertifiointi

Betoniasemalla tulee olla tuotesertifiointi Väyläviraston vaatimusten mukaisen betonin valmistukseen kattaen tämän ohjeen vaatimukset. Tuotesertifiointi varmentaa, että infrabetonien valmistuksen laadunvalvonnassa noudatetaan valmisbetonin valmistusta koskevien vaatimusten (BY65 Betoninormit, SFS-EN 206 ja SFS 7022) lisäksi tämän ohjeen vaatimuksia.

Kiwa Inspectan myöntämät Väyläviraston vaatimukset kattavat infrabetoneita koskevat voimassaolevat tuotesertifikaatit on nähtävillä internet-sivuilta www.kiwa.com/fi

Sertifioijalla on velvollisuus toimittaa infrabetonien laadunvalvonnassa havaitut vakavat poikkeamat Väyläviraston tietoon.

3.2 Laadunvarmistus työmaalla

Työmaalla tehtävässä laadunvarmistuksessa ja betonirakenteiden kelpoisuuden osoittamisessa noudatetaan InfraRYLin vaatimuksia.

Työmaalla tehtävä betonin laadunvarmistus ja betonirakenteiden kelpoisuuden osoittaminen kuuluvat urakoitsijan tehtäviin. Tämä ei kuitenkaan estä betonin valmistajaa osallistumaan ko. tehtäviin.

Työmaalla otetut näytteet eivät kuulu kappaleen 3.1 mukaisen betonin valmistajan tuotesertifiointiin piiriin.

Betonin kelpoisuus osoitetaan työmaalla tuoreesta betonista mitatulla ilmamäärällä, lujuuden määrittämisellä työmaakoekappaleiden avulla ja laskemalla P-luku työmaalla mitatun ilmamäärän, suhteitustietojen sekä jälkihoitoajan perusteella. Laskelman laatimisesta vastaa urakoitsija.

Betonin valmistaja on velvollinen toimittamaan suhteitustiedot urakoitsijalle.

Suhteitustiedoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä suhteituksessa tavoiteltua määrää, ei punnittuja määriä.

4 Valmistus- ja suhteitusvaatimukset

4.1 Betonin osa-aineet

4.1.1 Sementti

Betonin valmistuksessa käytetään standardin SFS-EN 197-1 mukaisia sementti-laatuja. Sementin ja kaikkien seosaineiden tulee olla CE-merkittyä.

Mikäli Väylävirasto on myöntänyt sementille erillishyväksynnän, P-lukua laskettaessa sementin määränä (Q_{sem}) voidaan käyttää todellista sementin määrää ilman seosainekerrointa ($k_A=1$).

Sementtien seosainemäärinä käytetään sementin valmistajan laatuinformaatiosta saatuja arvoja.

Sementin sisältämiä seosaineita koskevat kappaleessa 4.2.2 esitetyt rajoitukset.

Sementin kalkkikivipitoisuus saa olla enintään 20 %. Kalkkikivifillerin seosainekerroin sementissä on 0,0.

4.1.2 Kiviaines

Käytettävän kiviaineksen tulee olla standardin SFS-EN 12620 /8/ mukaista ja sen tulee olla CE-merkittyä. Kiviainekselta edellytetään tuotantoeräkohtaista rakeisuuskäyrää tai kiviaineksen seulontaa tehtaalla. Lisäksi tulee noudattaa SFS 7003 /9/ mukaisia suosituksia betonikiviainesten suoritusasoilmoituksessa ilmoitettavista ominaisuuksista kuten rakeisuuskäyrä, kiviaineksen vedenumu (absorptio), kiintotiheys, litteysluku mikäli litteysluvulle on asetettu vaatimus esim. pumpattavuuden tai valettavuuden johdosta.

Oman kiviaineksen (ei CE-merkintää) käyttö sallitaan, mikäli sillä on vastaavan tasoinen laadunvalvonta.

Betonikiviaineksena tulee käyttää BY74 /7/ mukaisesti määritettyjä luokan I betonikiviaineksia, joiden alkali-kiviainesreaktiivisuus on erittäin epätodennäköinen.

Betoniasemalla lisättävää kalkkikivifilleriä pidetään kiviaineksena.

4.1.3 Seosaineet

Lentotuhkan on oltava standardin SFS-EN 450-1 /10/ mukaista A-luokan tuhkaa. Jos betonin lujuusluokka on C45/55 tai korkeampi, niin lentotuhkaa ei saa käyttää.

Betoniasemalla lisättävää kalkkikivifilleriä ei pidetä seosaineena.

4.1.4 Vesi ja lisäaineet

Meriveden käyttö betonin valmistuksessa on kielletty.

Kloridipohjaisten lisäaineiden käyttö betonin valmistuksessa on kielletty.

4.2 Suhteitus

Betoni suhteitetaan siten, että vaadittu lujuus, säilyvyys, vesi-sideainesuhde, pakkasenkestävyysluku ja työstettävyys saavutetaan. Lisäksi tuoreen betonin ilmamäärän tulee olla sallituissa rajoissa.

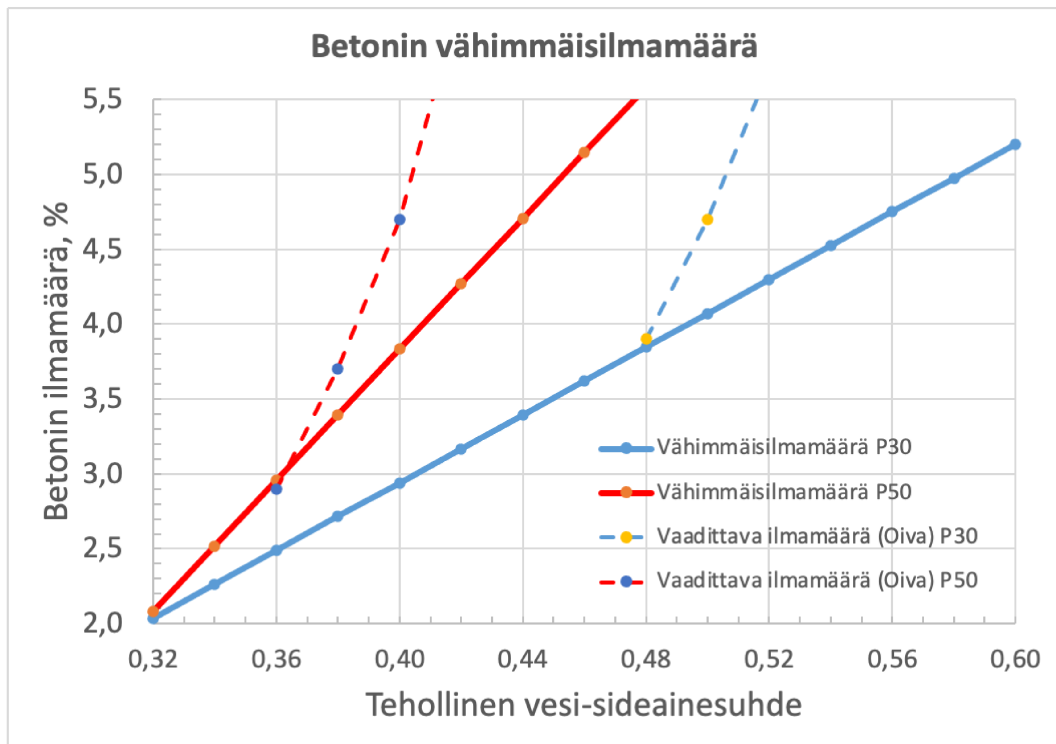
4.2.1 Betonin ilmamäärä

Kuvassa 1 ja kaavassa 1 on esitetty suhteituksessa käytettävät ilmamäärien vähimmäisarvot eri pakkasenkestävyysluokissa. Kuvan ja kaavan arvot ovat voimassa kiviainekselle, jonka ylänimellisraja on 12 mm tai sitä suurempi. Kun kiviaineksen ylänimellisraja on alle 12 mm, betonin vähimmäisilmamäärä saadaan lisäämällä taulukon lukuarvoihin 1 %-yksikkö. Vähimmäisilmamäärää voi olla korkeintaan 5,5%.

Ei suositella käytettävän P-lukubetonia, jonka kiviaineksen ylänimellisraja on < 12 mm.

Jos betonille on asetettu P-lukuvaatimukseksi P0, tällöin ilmamäärälle ei ole vähimmäisvaatimusta.

Enimmäisilmamäärä suhteituksessa (tavoiteilmamäärän maksimiarvo) on 5,5 %. Tämä tavoiteilmamäärän maksimiarvo on voimassa kaikille infrabetoneille ja on siten riippumaton kiviaineksen ylänimellisrajasta.



Kuva 1. Tuoreen betonin vähimmäisilmamäärä P-luvuilla P30 ja P50, kun kiviaineksen ylänimellisraja ≥ 12 mm. Kuvassa on myös esitetty katkoviivoilla käytännössä vaadittava ilmamäärä tehollisen vesi-sementtisuhteen funktiona. Vaadittava ilmamäärä on suuntaa antava ja se riippuu mm. sideaineen koostumuksesta, tässä esimerkiksi on käytetty Oiva-sementtiä. Vaadittava ilmamäärä on tarkistettava tapauskohtaisesti P-lukulaskelmalla.

Vähimmäisilmamäärä a lasketaan kaavalla 1.

$$a = (0,529 \cdot P - 4,560) \cdot \left(\frac{Q_{vesi}}{Q_{sid}} \right) - 0,167 \cdot P + 3,427 \quad (1)$$

jossa P on pakkasenkestävyysluku. Esim. P30 $\rightarrow P = 30$
 Q_{vesi}/Q_{sid} on tehollinen vesi-sideainesuhde

Kaavaa 1 voidaan käyttää, kun tehollinen vesi-sideainesuhde on korkeintaan 0,6.

Vähimmäisilmamäärä voi olla korkeintaan 5,5%.

4.2.2 Sideaineet

Sideaineen kokonaismäärän on oltava vähintään 300 kg/m^3 . Mikäli betoniaseamalla lisättävän masuunikuonan lisäys portlandsementtiin ylittää 35 % sideaineen kokonaismäärästä, sideaineen kokonaismäärän on oltava vähintään 350 kg/m^3 .

Käytettäessä sulfaatinkestävää portlandsementtiä CEM I SR 0 tai CEM I SR 3, lisätään betonin tiiviyn parantamiseksi tuoreeseen betonimassaan silikaa 3...5 % sideaineen määrästä.

Silikajauheen määrä sideaineen kokonaismäärästä saa olla enintään 5 %. Jos vesi-sideainesuhde alittaa arvon 0,35, saa silikajauheen määrä olla kuitenkin enintään 7 % sideaineen kokonaismäärästä.

Mikäli käytetään sementtiä CEM II/A-D, tulee varmistaa, ettei sementti sisällä em. enimmäisarvoja ylittäviä määriä silikaa, tai sitten betoniin on lisättävä sementtiä CEM I niin paljon, että sideaineen sallittua silikan kokonaismäärää ei ylitetä.

Lentotuhkan määrä saa olla enintään 25 % sideaineen kokonaismäärästä. Tähän määrään lasketaan mukaan sekä sementin sisältämä lentotuhka, että betoni- asemalla lisättävä lentotuhka.

Masuunikuonan enimmäismäärä ei saa ylittää 50 % sideaineen kokonaismäärästä. Poikkeuksena edellisestä on huokostamattomat betonit (C30/37 P0 ja C35/45 P0), joilla masuunikuonan enimmäismäärä ei saa ylittää 70 % sideaineen kokonaismäärästä. Näihin määriin lasketaan mukaan sekä sementin sisältämä masuunikuona, että betoniasemalla lisättävä masuunikuona. Jos sideaine sisältää muita seosaineita, masuunikuonan määrää vähennetään muiden seosaineiden määrällä.

4.2.3 Betonin vesimäärä

Suhteituksen tehollinen vesimäärä ei saa ylittää arvoa $200 \text{ dm}^3/\text{m}^3$.

4.2.4 Muut vaatimukset suhteituksessa

Mikäli käytetään kiviainesta, jonka ylänimellisraja on $< 12 \text{ mm}$ käyttö edellyttää Väyläviraston erillistä hyväksyntää ja lisäksi betonille on tehtävä omat ennakkokokeet (tehdaskohtaiset sekä mahdollisesti myös kohdekohtaiset).

Betonin valmistuksessa on käytettävä huokostinta, jos betonille on asetettu vähimmäisilmamäärävaatimus.

Suhteitusta tehtäessä tulee olla tiedossa käytettävien kiviaineslajitteiden vedenimu-% (absorptio).

Betonin suhteitus, P-lukulaskelma ja reseptissä käytettyjen raaka-aineiden suoritusasteilmoitukset tai muut laatuerittelyt tulee tallentaa. Suhteitustiedot toimivat betonin valmistuksen laadunvalvonnan lähtötietoina joihin laadunvalvonnan ja betonin valmistuksen annosraporttien tuloksia verrataan.

4.3 Betonin sekoitusaika

Betonin valmistajan on määritettävä betonilaatukohtaisesti vähimmäissekoitusaika. Sekoitusaika lasketaan alkavaksi siitä hetkestä, kun kaikki raaka-aineet ovat sekoittimessa ja loppuu siihen, kun betonin purku sekoittimesta alkaa. Huokostetun betonin sekoitusajan tulee olla vähintään 90 sekuntia.

P-lukubetonien sekoittaminen edellyttää riittävän pitkää sekoitusaikaa erityisesti käytettäessä polykarboksylaatti-pohjaisia tehonotkistimia. Tarvittava sekoitusaika on pidempi kuin mitä tarvitaan raaka-aineiden tasaiseen sekoittumiseen. Liian lyhyt sekoitusaika voi johtaa betonin ilmamäärän kohoamiseen varsinaisen sekoitusprosessin jälkeen.

Tarvittava sekoitusaika riippuu betonireseptistä, lisäaineiden laadusta ja niiden annostuksista, betonin notkeudesta sekä betonin sekoittimesta.

Mikäli sekoitusaika 90 s on liian pitkä käytetyllä sekoituskalustolle, tulee asiasta ilmoittaa Väylävirastolle. Tällöin vähimmäissekoitusaika hyväksytään tapauskohtaisesti.

Betonin valmistaja tekee ennakkokokeet määrittämällään vähimmäissekoitusajalla jäljempänä esitetyn mukaisesti.

5 Ennakkokokeet

Betonin ennakkokokeiden tarkoituksena on varmistaa infrabetonilaatujen valetavuus, puristuslujuus sekä pakkasenkestävyys. Ennakkokokeet ovat 2-tasoiset:

1. Tehdaskohtaiset ennakkokokeet
2. Kohdekohtaiset ennakkokokeet

Valmisbetonitehtaan tulee huolehtia tehdaskohtaisten ennakkokokeiden voimassaolosta. Kohdekohtaisten ennakkokokeiden tarpeen määrittäminen ei ole valmisbetonitehtaan vastuulla.

Tehdaskohtaiset ennakkokokeet ovat betonilaatu- ja betoniasemakohtaiset ja ne tehdään taulukon 1 mukaisille infrabetonilaaduille.

Valmistaja voi halutessaan tehdä ennakkokokeet vain osalle taulukon 1 mukaisesta betonilaadusta. Katso tarkemmin kohta 5.1.1.

Kohdekohtaiset ennakkokokeet tehdään Väyläviraston tapauskohtaisen ohjeistuksen mukaisesti.

Tässä ohjeessa esitetään vain tärkeimmät ennakkokokeet.

Betonin valmistaja voi tehdä myös muita kokeita betonin laadun varmistamiseksi.

Tässä ohjeessa esitetyillä ennakkokokeilla ei pystytä täydellisesti varmistamaan, että betonin ominaisuudet toteutuvat kaikissa mahdollisissa olosuhteissa.

5.1 Tehdaskohtaiset ennakkokokeet

Tehdaskohtaiset ennakkokokeet sisältävät:

- sekoitusajan riittävyyden testaamisen (kappale 5.1.4)
- tuoreen betonin kokeet (kappale 5.1.4) sisältäen notkeuden korjaamisen tehonotkistimella
- puristuslujuuden määrittämisen laboratoriokoekappaleilla (kappale 5.1.5)
- tietyillä betonilaaduilla suorien pakkassuolakokeiden tekemisen (kappale 5.1.6).

Viimeistään viikkoa ennen rakenteen betonointia osoitetaan, että kyseinen betoni täyttää siltä vaaditut ominaisuudet toimittamalla Väyläviraston edustajalle sekä urakoitsijalle ennakkokokeiden tulokset sekä suhteitustiedot käytettävästä betonista. Betonin puristuslujuuden arvosteluiän mukainen puristuslujuus tulee olla tiedossa, kun tiedot toimitetaan. Kuitenkin esimerkiksi 91 vrk puristuslujuustulokset eivät tarvitse olla valmiina, mikäli betonin arvosteluikä on 28 vrk.

Tehdaskohtaisten ennakkokokeiden voimassaolosta vastaa betoniasema ja niiden voimassaoloa valvotaan tuotesertifiointikäyntien yhteydessä.

Tuoreesta betonista raportoidaan:

- Betoniresepti
- Kiviainesten kosteuspitoisuudet
- Tehollinen vesi-sideainesuhde
- Tavoiteilmamäärä
- P-lukulaskelma
- Suhteituksen mukainen tiivistetyn betonin tiheys
- Betonin notkeusluokka (joko S- tai F-luokka tai IT-betonilla SF-luokka)
- Sekoitusaika. Ennakkokokeet tehdään valmistajan määrittämällä vähimmäissekoitusajalla. Tämän lisäksi tehdään ennakkokoe, jossa sekoitusaikaa jatketaan 6 minuuttiin saakka (katso kohta 5.1.3).

P-lukulaskelman tulee täyttää kyseiselle betonille asetettu P-lukuvaatimus kaikkien ilmamäärämittausten yhteydessä.

5.1.1 Tehdaskohtaisten ennakkokokeiden lukumäärät ja testit

Tehdaskohtaiset ennakkokokeet tehdään taulukon 1 mukaisille infrabetonilaaduille.

Ennakkokokeet voidaan tehdä myös vain osalle taulukon 1 betonilaaduista. Tällöin betoniasema voi toimittaa vain kyseisiä testattuja infrabetonilaatuja. Näille betoneille on laadittava ennakkokokeet taulukon 2 sarakkeen 1 mukaan. Jos kyseessä on P0-luokan betoni, tällöin käytetään saraketta 2.

Ennakkokokeet tehdään puristuslujuuden, tiheyden, ilmamäärän, ilmamääräpotentiaalin, notkeuden sekä kiviainesten kosteuspitoisuuden osalta kaikille taulukon 1 betonilaaduille lukuun ottamatta betoneita C30/37 P0 ja C35/45 P0. Näille betoneille ei tarvitse tehdä ennakkokokeita ilmamääräpotentiaalin osalta. Pakkassuolakokeet tehdään vähintään kahdelle erilaiselle P-lukubetonille taulukon 2 mukaisesti.

Mikäli valmistetaan betonia, jonka lujuusluokka on suurempi kuin C45/55 tai P-luku on suurempi kuin P50, tehdään betonilaadulle omat ennakkokokeet taulukon 2 sarakkeen 1 mukaan.

Mikäli ilmamäärää ei voida mitata tai valettavia koekappaleita ei ole betonin koostumuksen vuoksi mahdollista tehdä (esim. ontelolaatat), laadunvalvontamenettelyt sovitaan tilaajan kanssa.

Koekappaleet voidaan ottaa esim. poraamalla.

Taulukko 2 Ennakkokokeiden testejä betonilaaduittain. Määrät on esitetty yhdelle betonilaadulle.

Infrabetonilaadut	Sarake 1 C30/37 P30, C35/45 P30 C35/45 P50, C45/55 P50	Sarake 2 C30/37 P0, C35/45 P0
Puristuslujuus valetuin koekappalein (kpl 5.1.5)	Yhteensä 9 koekappaletta, (7, 28 ja 91 vrk.) á 3 koekappaletta	
Tiheys (kpl 5.1.4.1 ja 5.1.5)	Tiheys määritetään tuoreesta massasta ja kaikista valetuista koekappaleista.	
Ilmamäärä (kpl)	3 ilmamäärämittausta. (eri ajanhetkinä)	Ei tehdä.
Ilmamääräpotentiaali (kpl 5.1.3)	Ilmamäärämittaus välittömästi vähimmäissekoitusajan ja 6 min sekoitusajan jälkeen	Ei tehdä.
Notkeuden mittaus (kpl 5.1.4.2)	3 kpl notkeuden mittauksia: välittömästi sekoittamisen jälkeen, 60 min sekoituksen alkamisen jälkeen sekä notkistinlisäyksen jälkeen.	
Pakkassuolakestävyys CEN/TS 12390-9 (kpl 5.1.6)	4 kpl 150 mm kuutioita. Tehdään normaalilanteessa betonilaaduilla C30/37 P30 ja C35/45 P50 ja tarvittaessa muilla betonilaaduilla	Ei tehdä.
Kiviaineksen kosteuspitoisuus (kpl Virhe. Viitteen lähde ei löytynyt.)	Määritetään kaikista kiviaineslajitteista.	

5.1.2 Vaatimukset ennakkokokeissa

5.1.2.1 Betonin sideaine ennakkokokeessa

Mikäli betonilaatua valmistetaan usealla eri sideaineella, ennakkokokeet tehdään sillä sideaineella, mitä käytetään eniten.

Mikäli infrabetonin valmistukseen käytetään useampia eri sideaineita, muiden kuin eniten käytettävän sideaineen osalta riittää kahden betonilaadun testaaminen. Betonien C30/37 P30 ja C35/45 P50 ennakkokokeet tehdään taulukon 2, sarakkeen 1 mukaisesti, kuitenkin niin että pakkassuolakestävyys vaaditaan vain betonille C35/45 P50. Edellä esitetty vain kahden betonin testaaminen edellyttää, että ensisijaisella sideaineella on testattu kaikki taulukon 1 betonilaadut. Mikäli ensisijaisella sideaineella ennakkokokeet on tehty vain osalle taulukon 1 betonilaaduista, tehdään muilla sideaineilla ennakkokokeet kyseisille betonilaaduille taulukon 2 mukaisesti.

Mikäli käytetään sementtiyhdistelmiä, testataan seossuhteiden ääriarvot, esim. 70/30 ja 30/70. Ennakkokokeet kattavat tällöin myös testattujen yhdistelmien väliarvot.

Mikäli betonissa käytetään lentotuhkaa tai masuunikuonaa seosaineena, tehdään kokeet suurimmalla käytettävällä seosainemäärällä. Mikäli ennakkokoe on tehty myös kyseisellä sementillä ilman seosaineita, ennakkokoe on voimassa myös seosaineen määrän väliarvoilla.

5.1.2.2 Betonin notkeus ennakkokokeessa

Betonilaadun ennakkokokeet tehdään notkeimmalle toimitettavalle notkeusluokalle (S- tai F-luokka). Ennakkokokeita ei tarvitse uusida, vaikka kyseisen betonilaadun notkeutta muutetaan ennakkokoemassaa jäykemmäksi.

Suosittelaaan tekemään ennakkokokeet notkeusluokassa S4

Itsetiivistyvälle betonille tehdään erilliset ennakkokokeet. Ennakkokokeet tehdään vastaavasti kuin tässä ohjeessa esitetyille infrabeteoneille, kohdassa 5.1.4 esitetyin lisäyksin.

5.1.2.3 Betonin kiviaineksen ylänimellisraja

Ennakkokokeet suositellaan tehtäväksi yleisimmin käytetyllä kiviaineksenylänimellisrajalla. Ennakkokokeita ei tarvitse uusida, vaikka kyseisen betonilaadun kiviaineksen ylänimellisraja muutetaan ennakkokoemassasta. Poikkeuksena kuitenkin alle 12 mm ylänimellisraja, jolle on tehtävä oma ennakkokoe taulukon 2, sarakkeen 1 mukaisesti.

5.1.2.4 Betonin lisäaineet ja kuidut ennakkokokeessa

Hidastavan tai kiihdyttävän lisäaineen tai kuitujen käyttäminen ei edellytä omia ennakkokokeita. Betonin valmistajan on kuitenkin tunnettava lisäaineiden tai kuitujen vaikutukset betonin työstettävyy-, lujuus- ja säilyvyysominaisuuksiin.

5.1.2.5 Kiviaineksen kosteuspitoisuus

Ennakkokokeessa käytettävien kiviainesten kosteuspitoisuus on määritettävä jokaisesta kiviainelajitteesta.

5.1.3 Betonin sekoitusaika ennakkokokeissa

Betonin valmistaja tekee ennakkokokeet määrittämällään vähimmäissekoitusajalla.

Ennakkokokeiden alussa valmistaja tekee huokostetuille betoneille kokeen, jolla arvioidaan betonin herkkyyttä ilmamäärän kohoamiseen sekoituksen jälkeen. Betonin ilmamäärä mitataan vähimmäissekoitusajan jälkeen. Tämän jälkeen saman betonin sekoittamista jatketaan niin, että kokonaissekoitusajaksi tulee 6 minuuttia ja ilmamäärä mitataan uudelleen. Kokeissa betonin ilmamäärä saa kohota korkeintaan 2,0 %-yksikköä vähimmäissekoitusajan ja 6 min sekoitusajan välillä ($Ilma_{6min} - Ilma_{väh.sekoitusaika} \leq 2,0 \%$ -yks.). Mikäli ilmamäärän nousu on suurempi, tulee vähimmäissekoitusaikaa kasvattaa ja koe tehdään uudelleen.

Mikäli sekoitusajat (90 s ja 6 min) eivät ole sopivia käytetyllä sekoituskalustolla, tulee asiasta ilmoittaa Väylävirastolle. Tällöin koejärjestely voidaan hyväksyä tapauskohtaisesti.

Vähimmäissekoitusajan kohdalla mitattu ilmamäärä saa poiketa tavoiteilmamäärästä korkeintaan $\pm 1,0$ %-yksikköä.

5.1.4 Tuorelle betonille tehtävät kokeet

Välittömästi sekoituksen jälkeen tuoreen betonin ominaisuuksista mitataan:

- Betonin lämpötila.
- Betonin notkeus sekä painuma- että leviämäkokeella sekä betonin ikä (min) testaushetkellä. IT-betonin notkeus määritetään standardin SFS-EN 12350-8 mukaisella painuma-leviämä ja t500 -kokeilla.
- Tiivistetyn betonin tiheys (perustuen vähintään 5 dm³ näytteeseen)
- Betonin ilmamäärä sekä betonin ikä (min) testaushetkellä.

Lisäksi IT-betonille tehdään massan silmämääräinen tarkastelu sen varmistamiseksi, ettei betonimassa erotu.

5.1.4.1 Tiheyden vaatimukset ennakkokokeessa

Tuoreen betonin tiheys tiivistettynä saa poiketa korkeintaan 50 kg/m³ betonin laskennallisesta tiheydestä.

Betonin laskennallinen tiheys määritetään Väyläviraston Excel lomakella: Tehdaskohtaiset ennakkokokeet.

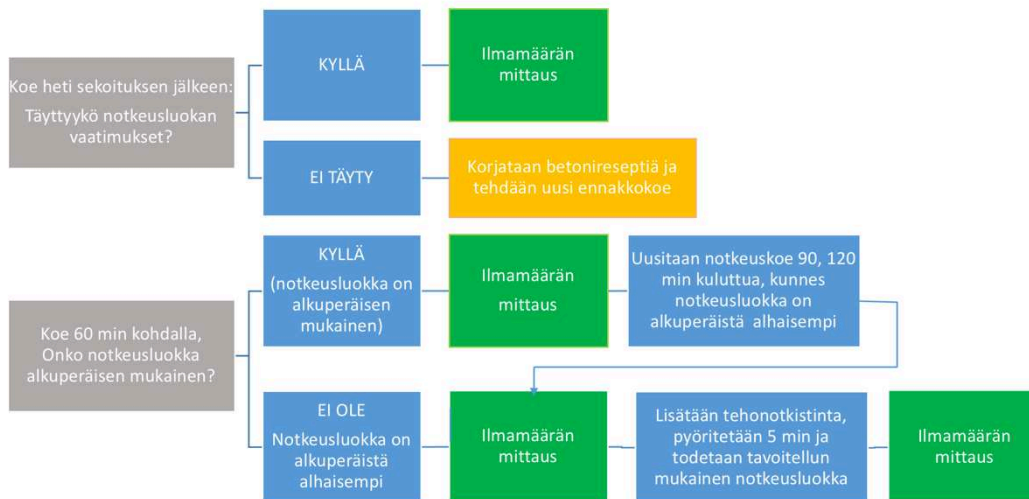
5.1.4.2 Notkeuden ja ilmamäärän vaatimukset ennakkokokeessa

Betonin notkeus ja ilmamäärä mitataan heti sekoituksen jälkeen ja 60 minuutin kuluttua sekoituksen alkamisesta. Betonin notkeus mitataan sekä painuma- että leviämäkokeella.

Jos jompikumpi notkeudentestausmenetelmistä ei betonin työstettävyyden vuoksi sovellu käytettäväksi, niin silloin testaus voidaan tehdä vain toisella menetelmällä

Heti sekoituksen jälkeen betonin notkeuden tulee täyttää valitun notkeusluokan vaatimukset (SFS EN 206 kohta 4.2). Mikäli notkeusluokaksi on valittu painumaluokka (S), ei leviämälle aseteta vaatimusta. Vastaavasti myös, mikäli notkeusluokaksi on valittu leviämäluokka (F), painumalle ei ole vaatimusta.

Tuoreen betonin ilmamäärä heti sekoituksen jälkeen saa alittaa betonin tavoiteilmamäärän korkeintaan 1,0 %-yksikön ja ylittää korkeintaan 1,0 %-yksikön. 60 min ikäisenä sekä notkistinlisäyksen jälkeen ilmamäärä saa alittaa betonin tavoiteilmamäärän korkeintaan 1,0 %-yksikön ja ylittää korkeintaan 2,5 %-yksikköä.



Kuva 2 Notkeusluokan ja ilmamäärän määritykset ennakkokokeessa

Betonin notkeuden ja ilmamäärän mittaaminen 60 min kohdalla:

- Juuri ennen notkeuden ja ilmamäärän mittausta betonia pyöritetään autossa 5 min suurimmalla teholla.
- Mitataan betonin notkeus ja ilmamäärä. Betonin notkeus mitataan sekä painuma- että leviämäkokeella.
- Mikäli betoni on 60 min mittauksen kohdalla jäykistynyt niin paljon, etteivät alkuperäisen notkeusluokan raja-arvot enää täyty, mitataan betonin ilmamäärä. Tämän jälkeen lisätään betoniin sellainen määrä tehonotkistinta, jotta alkuperäinen notkeusluokka saavutetaan ja betonin notkeus sekä ilmamäärä mitataan uudelleen. Betonin notkeus mitataan vain valitun notkeusluokan mukaisella menetelmällä.
- Mikäli betoni ei ole jäykistynyt riittävästi 60 min kohdalla, uusitaan notkeuskoe 90 min ja tarvittaessa 120 min kohdalla, kunnes betoni ei täyty alkuperäisen notkeusluokan raja-arvoja.
- Tämän jälkeen lisätään betoniin tehonotkistinta niin, että alkuperäinen notkeusluokka saavutetaan ja betonin notkeus sekä ilmamäärä mitataan uudelleen. Betonin notkeus mitataan vain valitun notkeusluokan mukaisella menetelmällä.

Notkeus- ja ilmamäärätuloksen lisäksi myös lisätyn tehonotkistimen määrä sekä notkeuden mittaushetki (tehdassekoituksen aloittamisesta) kirjataan.

Suhteitustietojen, tuoreen betonin ilmamäärän sekä jälkihoidon perusteella laskettu P-luvun tulee täyttää vaatimustaso jokaisella tarkastellulla ajanhetkellä. Tämä ei koske ennakkokokeiden tilannetta, jossa betonin notkeus ei enää ole alkuperäisen notkeusluokan mukainen.

Ennakkokokeiden laskelmissa käytetään jälkihoitoaikana 7 vuorokautta.

Elementtiteollisuudessa notkeuden ja ilmamäärän mittaamista ei edellytetä 60 min kohdalla. Myöskään notkeuden korjaamista ei tarvitse tehdä.

Elementtiteollisuudessa ennakkokokeissa mitattavat ilmamäärät määritetään valupaikalta otetusta betonista.

5.1.5 Laboratoriokoekappaleiden puristuslujuus

Jokaisesta käytettävästä infrabetonilaadusta valmistetaan yhteensä 9 kpl koekappaletta. Voidaan valmistaa joko lieriöitä ($h = 300 \text{ mm}$, $d = 150 \text{ mm}$) tai vaihtoehtoisesti kuutioita (150 mm , 100 mm). Koekappaleet testataan 7, 28 ja 91 vrk:n ikäisinä (á 3 kpl).

Koekappaleet valmistetaan standardin SFS EN 12390-2 mukaisesti. Muotista poiston jälkeen koekappaleiden tiheys määritetään. Koekappaleita säilytetään puristuslujuustestaukseen saakka vedessä, jonka lämpötila on $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Mikäli puristuslujuus määritetään kuutioilla, muutetaan lujuustulokset lieriölujuuksiksi kertomalla ne betonin lujuusluokan lieriö- ja kuutiolujuuksien suhteella. Esimerkiksi lujuusluokan C35/45 betonilla kuutiolujuudet kerrotaan arvolla 0,78 (=35/45). Lisäksi mikäli käytetään 100 mm koekuutioita, lujuustulokset jaetaan lisäksi kertoimella 1,03.

Laadunvarmistusikä on 28 vrk, mikäli toisin ei ole määritetty. Ennakkokokeet ovat voimassa valitulle ja sitä pidemmälle laadunvarmistusikälle.

Koekappaleiden puristuslujuus testataan testauslaitoksessa, jolla on akkreditointi standardin SFS-EN 12390-3 mukaiselle puristuslujuustestille. Vaihtoehtoisesti puristuslujuus voidaan määrittää betoniaseman omalla kalibroidulla ja kolmannen osapuolen itsetestausoikeuden mukaisen tasokokeen täyttävällä puristimella standardeissa EN 206 ja SFS 7022 esitettyjen betonin lujuuden testausvaatimusten mukaisesti.

Betonin laadunvarmistusiän mukainen puristuslujuus ennakkokokeissa katsotaan riittäväksi, mikäli:

- Tulosten keskiarvo $\geq f_{ck} + 5 \text{ MPa}$
- Tulosten minimiarvo $\geq f_{ck} + 0 \text{ MPa}$

Muille kuin laadunvarmistusiän puristuslujuuksille ei aseteta vaatimuksia ennakkokokeissa.

Ominaispuristuslujuus f_{ck} on lujuusluokan ensimmäinen lukema (lieriölujuus). Esim. lujuusluokan C35/45 ominaispuristuslujuus f_{ck} on 35 MPa.

Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää 28 vuorokaudesta poikkeavaa laadunvarmistusikää (7 tai 91 vrk). Poikkeamasta on sovittava etukäteen Väyläviraston kanssa. Tällöin puristuslujuus arvioidaan käyttäen valittua laadunvarmistusikää.

5.1.6 Betonin pakkassuolakestävyys

Ennakkokokeet pakkassuolakestävyuden osalta tehdään betoneille C30/37 P30 ja C35/45 P50. Mikäli valmistetaan ja käytetään muita betonilaatuja kuin taulukossa 1 on esitetty, tehdään ko. betonilaaduille pakkassuolakokeet. Pakkassuolakokeet tulee tehdä aina tapauskohtaisesti kiviaineksen ylänimellisrajan ollessa $< 12 \text{ mm}$.

Testattavasta betonilaadusta valetaan 4 kpl 150 mm koekuutioita. Koekappaleet punnitaan välittömästi muottien purun jälkeen ja koekappaleiden tiheys määritetään vesi-ilmapunnituksella.

Ennakkokoe tehdään teknisen spesifikaation CEN/TS 12390-9 mukaisella pakkasuolarapautumakokeella.

Ennakkokoe pakkasuolakestävyyden suhteen katsotaan hyväksytyksi, jos tuoreen betonin koostumuksen mukaan kohdan 7.1 mukaisesti laskettu P-luku täyttää vaatimuksen ja kun kovettuneen betonin ennakkokokeen tulos täyttää taulukon 3 mukaisen sallitun rapautuma-arvon. Sementtien sisältäessä muita seosaineita taulukon arvot kerrotaan kaavan 4 mukaisella sideainetekijällä k_{sid} .

Taulukko 3. Sallitut rapautumat eri P-luvuilla käytettäessä standardin CEN/TS 12390-9 mukaista laattakoetta.

P-luku	56 kierroksen CEN/TS 12390-9 -kokeessa sallittu rapautuma [g/m ²]				
	CEM I	Sementin kalkkikivipitoisuus %			
		5	10	15	20
P20	900	900	810	700	590
P30	500	500	440	390	330
P50	250	250	210	180	150
P70	150	150	130	110	90

5.1.7 Tehdaskohtaisten ennakkokokeiden voimassaolo

Ennakkokokeen tulos ei saa olla kahta vuotta vanhempi. Betoniaseman on kuitenkin vuosittain tehtävä vähintään yhden betonilaadun (P30 tai P50) ennakkokokeet taulukon 2 sarakkeen 1 mukaisesti. Ennakkokokeet on uusittava kahden vuoden välein riippumatta siitä, onko betonilaatu ollut jatkuvassa tuotannossa tai onko betonilaadulle tehty muita säilyvyyskokeita.

Ennakkokokeen tulos ei ole voimassa ja koe tulee uusida, mikäli materiaaleissa, suhteituksessa tai valmistustavoissa tapahtuu merkittäviä muutoksia. Esimerkiksi seuraavat muutokset katsotaan merkittäväksi:

- Betonin raaka-aineet muuttuvat
 - Vaihdetaan betonissa käytettävien sementin tai seosaineiden tuotemerkkiä tai laatua.
 - Vaihdetaan betonissa käytettävien lisäaineiden tuotemerkkiä tai laatua.
 - Kiviaineksen laatu muuttuu merkittävästi.
- Tehdään betoni aikaisempaa ennakkokoetta notkeammassa notkeusluokassa.
- Muutetaan P-lukua tai lujuusluokkaa.
- Muutoksella on merkittävää vaikutusta betonin vedentarpeeseen.
- Muutoksella on merkittävää vaikutusta tarvittavan huokostimen annostukseen.

Kiviaineksen laadun ei katsota muuttuvan merkittävästi, mikäli:

- Kiviainesten ala- ja ylänimellisrajat eivät muutu
- Kiviainesten tyyppi ei muutu (murskaamaton / murskattu)
- Kiviaineksen mineraalikoostumus ei muutu (esim. graniittinen kiviaines ei muutu kalkkikiveksi).

5.1.7.1 Huokosrakenne käytettäessä samankaltaisia kiviaineksia.

Betonin valmistaja voi tarvittaessa käyttää samankaltaisia kiviaineksia useammasta eri toimituspaikasta ja tällöin samankaltaiseksi kiviainekseksi voidaan katsoa kiviainekset, jos edellä esitetyt ehdot täyttyvät.

Käytettäessä samankaltaisia kiviaineksia ennakkokokeet tehdään yhdellä kiviaineksella ja lisäksi valmistajan tulee osoittaa, että eri kiviainekset antavat saman tasoiset huokosrakenteet.

Samoin vaikka kiviaineksen muutos ei ole merkittävä, tulee betonin valmistajan osoittaa, että kiviainekset antavat saman tasoiset huokosrakenteet.

Betonin huokosrakenne voidaan mitata AVA-testillä tai ohut- tai pintahieanalyysillä. Kokeessa valmistetaan betonit käyttäen uutta sekä korvattavaa kiviainesta tai käyttäen samankaltaisia kiviaineksia useammasta toimituspaikasta.

Betonin koostumus ja notkeus pidetään kokeissa lisäaineannostuksia lukuun ottamatta vakiona ja tuoreen betonin ilmamäärät saavat poiketa toisistaan korkeintaan 1,0 %-yksikön.

Betonin huokosjako uudella kiviaineksella saa olla korkeintaan 20 % suurempi kuin korvattavalla kiviaineksella. Tutkittaessa samankaltaisia kiviaineksia useammasta toimituspaikasta, huokosjako saa olla korkeintaan 20 % suurempi verrattuna betoniin, jolla on tehty hyväksyttävä suora pakkaskoe.

Eri kiviainesten toimivuus pakkasenkestävyyden osalta voidaan osoittaa myös suoralla pakkaskokeella. Tällöin noudatetaan kohdan 5.1.6 vaatimuksia.

5.1.7.2 Ennakkokokeiden tekeminen ennakoivasti laboratoriossa

Sementin, lisäaineen tai seosaineen muuttuessa tai kiviaineksen laadun muuttuessa merkittävästi, betonin valmistaja voi tehdä ennakkokokeet ennakoivasti laboratorio-olosuhteissa. Tällöin betonireseptin, raaka-aineiden sekä tuoreen betonin ilmamäärän tulee vastata tuotantobetonia.

Ilmamääräpotentiaalia (5.1.3) ei kuitenkaan voida määrittää laboratoriossa ja koe tulee tehdä välittömästi raaka-aineiden vaihduttua. Samalla testataan betonin notkeus (5.1.4) sekä puristuslujuus (5.1.5) ennakkokokeiden mukaisesti.

5.1.8 Ennakkokokeiden dokumentointi

Ennakkokokeiden tulokset kirjataan Väyläviraston ennakkokoelomakkeelle (Tehdaskohtaiset ennakkokokeet).

Betonin valmistajan on ylläpidettävä ajantasaista luetteloa infrabetonien ennakkokokeista, betonilaaduista jotka täyttävät ko. ennakkokokeen vaatimukset ja ennakkokokeiden voimassaoloajasta.

5.2 Kohdekohtaiset ennakkokokeet

Erityisen vaativien rakenteiden osalta voidaan vaatia tehdaskohtaisten ennakkokokeiden lisäksi kohdekohtaiset ennakkokokeet.

Tällaisia rakenteita ovat mm.:

- Vaikeasti valettavat rakenteet
- Erottumisherkit betonit
- Betoni, jonka lujuusluokka on suurempi kuin C45/55 tai P-luku on suurempi kuin P50.

Vaikeasti valettavia rakenteita ovat esimerkiksi erityisen tiheästi raudoitetut rakenteet. Erottumisherkkiä betoneita ovat esimerkiksi notkeat, huokostetut betonit joiden ylänimellisraja < 12 mm.

Suunnittelija voi tarvittaessa ehdottaa kohdekohtaisen ennakkokokeen tekemistä. Päätöksen kohdekohtaisesta ennakkokokeesta ja sen laajuudesta tekee aina Väyläviraston edustaja.

Kohdekohtaiset ennakkokokeet eivät kuulu betonitehtaan tuotesertifiointiin piiriin.

Kohdekohtainen ennakkokoe tehdään yhteistyössä urakoitsijan ja betonivalmistajan kesken. Muotin, raudoituksen, valutavan sekä tiivistyksen osalta jäljitellään mahdollisimman tarkkaan tutkittavaa rakennetta.

5.2.1 Muotti

Muotti valmistetaan mahdollisimman pitkälti samankaltaiseksi tutkittavan rakenteen kanssa. Mikäli kyseessä on pystyrakenne, muotin korkeus tulee olla vähintään 3 kertaa valukerroksen korkuinen (huokostetuilla betoneilla normaalisti $3 \cdot 300 \text{ mm} = 900 \text{ mm}$). Seinämäisen rakenteen leveys tulee olla vähintään 1200 mm. Vaakarakenteiden korkeuden tulee olla tutkittavan rakenteen mukainen ja koko vähintään $1200 \cdot 1200 \text{ mm}^2$.

5.2.2 Betoni

Ennakkokokeessa käytettävän betonin tulee vastata koostumukseltaan, notkeusluokaltaan sekä ilmamäärältään mahdollisimman tarkkaan rakenteen valmistuksessa käytettävää betonia. Mikäli varsinaista rakennetta tullaan valamaan useammalla eri notkeusluokalla, ennakkokoe tehdään niistä notkeimmalla. Kohdekohtaista ennakkokoea aloitettaessa tulee kyseisen betonin tehdaskohtainen ennakkokoe olla voimassa.

5.2.3 Tuoreen betonin testaukset

Tuoreesta betonista määritetään valupaikalla:

- Betonin notkeus painuma- tai leviämäkokeella riippuen valitusta notkeusluokasta
- Betonin ilmamäärä
- Betonin tiheys.

Kokeet tehdään ennen koerakenteen valua ja sen jälkeen. Mittausajankohdat (minuuttia betonin tehdassekoittamisesta) kirjataan.

Edellisten lisäksi betonin valmistaja tekee betoniasemalla 3 kpl puristuslujuuskoekappaleita ($h = 300 \text{ mm}$, $d = 150 \text{ mm}$), mittaa tuoreen betonin ilmamäärän sekä tiheyden. Puristuslujuuskoekappaleet tulee valmistaa ja säilyttää standardien SFS-EN 12390-1, 2 ja 3 mukaisesti.

Betonin notkeus betoniasemalla ja työmaalla ennen rakenteen valua tulee täyttää valitun notkeusluokan vaatimukset.

Tuoreen betonin ilmamäärä heti sekoituksen jälkeen saa alittaa betonin tavoiteilmamäärän korkeintaan 1,0 %-yksikön ja ylittää korkeintaan 1,0 %-yksikön. Valupaikalla tuoreen betonin ilmamäärä saa alittaa korkeintaan 1,0%-yksikön ja ylittää korkeintaan 2,5%-yksikköä tarkasteltavan betonin tavoiteilmamäärän. Valupaikalla mitatulla ilmamäärällä (ennen koerakenteen valua) ja toteutuneella vesi-sementtisuhteella määritetyn P-luvun tulee täyttää kyseille betonille asetettu P-lukuvaatimus.

Tuoreen betonin tiheys ei saa mittauksissa poiketa enempää kuin 50 kg/m^3 betonin laskennallisesta tiheydestä.

5.2.4 Betonin valu ja tiivistys

Betonin valun ja tiivistyksen osalta pyritään jäljittelemään mahdollisimman pitkältä varsinaisen rakenteen valmistuksen käytäntöjä. Siten valukerroksen pakkaus, tärysauva (tai muu tiivistyskalusto), tärytysväli ja tärytysaika tulisi olla mahdollisimman samat kuin varsinaiset rakenteen valmistuksessa. Valukerrosten välillä odotetaan vähintään 15 min.

Valun yhteydessä kirjataan:

- Tärysauvan merkki ja teho
- Tärytysaika (aika tärytyskohtaa kohden sekä kokonaisaika s/m^3).

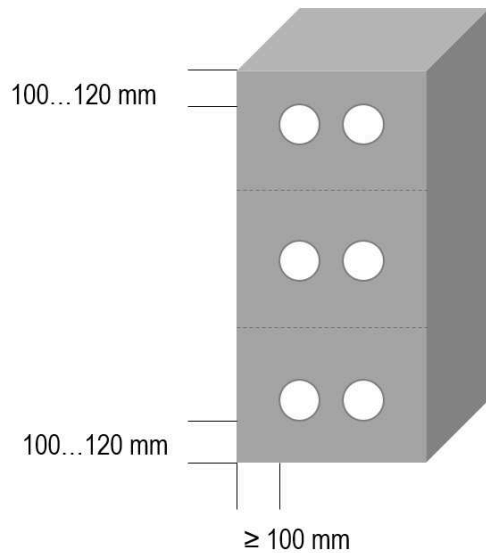
Koerakennetta jälkihoidetaan 7 vrk.

5.2.5 Kovettuneen betonin testaukset

Koerakenteesta porataan 3...6 kpl halkaisijaltaan $\geq 75 \text{ mm}$ poralieriöitä. Porauskohdat suunnitellaan niin, ettei poralieriöön osu raudoitusta tai niin että poralieriöstä voidaan valmistaa dimensioiltaan $h/d = 1:1$ kokoisia koekappaleita ilman raudoitusta.

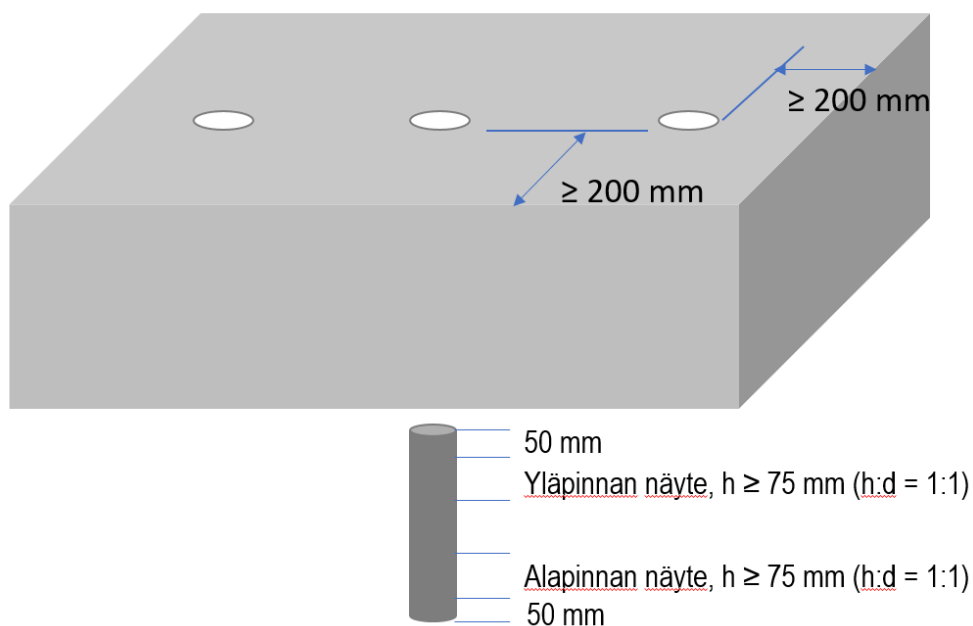
Pystyrakenteesta poralieriöt otetaan niin, että 2 kappaletta porataan rakenteen yläreunasta, 100...120 mm valupinnan alapuolelta, kaksi poralieriötä porataan

rakenteen alareunasta, 100...120 mm alareunasta. Loput kaksi lieriötä porataan rakenteen keskiosalta. Etäisyys muotin reunasta tulee aina olla vähintään 100 mm. Poralieriön muottipinnan päästä poistetaan 50 mm. Kuvassa 2 on esitetty periaatteet poralieriöiden poraamiseksi pystyrakenteista.



Kuva 3 Periaatteet poralieriöiden poraamisesta pystyrakenteesta

Vaakarakenteesta tulee porata näytteet niin että kolme koekappaletta tulee rakenteen yläpinnasta 50 mm valupinnan alapuolelta ja kolme koekappaletta rakenteen alapinnasta 50 mm rakenteen alapinnan yläpuolelta. Haluttaessa ylä- ja alapinnan koekappaleet voidaan valmistaa samasta poralieriöstä, tällöin porataan rakenteen läpi. Kuvassa 4 on esitetty periaatteet poralieriöiden poraamiseksi vaakarakenteesta.



Kuva 4 Periaatteet poralieriöiden poraamisesta vaakarakenteesta.

Poralieriöistä valmistetaan koekappaleet puristuslujuuden testausta varten, koekappaleen korkeus-halkaisijasuhde $h/d = 1:1$. Valmistettujen rakennekoekappaleiden tiheydet määritetään vesi-ilmapunnituksella (betonin tiheys vastaanottotilassa). Ennen punnitusta on huolehdittava, etteivät koekappaleet pääse kuivumaan. Punnituksen jälkeen koekappaleet säilytetään vedessä tai kosteus-huoneessa $+20 \pm 2 \text{ °C}$ lämpötilassa, mutta vähintään puristustestausta edeltävät 16...24 tuntia koekappaleet pidetään suojaamattomana laboratorioissa ilmasäilytyksessä. Koekappaleet voidaan testata valmistajan laboratorioissa.

Rakennekoekappaleista määritetään:

- Puristuslujuus 28 vrk:n ikäisenä tai mahdollisesti siitä poikkeavaksi määritellyn laadunarvostelun mukaisena.
- Keskimääräinen tiheys
- Tiheyden keskihajonta.

Poratut puristuslujuuskoekappaleet valmistetaan standardin SFS-EN 12504-1 mukaisesti. Yksittäisten koekappaleiden puristuslujuudet ($d \geq 75 \text{ mm}$, $h/d = 1:1$) muutetaan 2:1 lieriölujuuksiksi kertomalla ne arvolla 0,82 (CLF-kerroin). Testaukset tehdään 28 vuorokauden iässä, ellei poikkeavaa laadunvarmistusikää ole määritetty.

Lujuustarkastelut tehdään standardin SFS-EN 13791:2019 periaatteiden mukaisesti.

Valmistettaessa koerakenteita kylmissä olosuhteissa on varmistettava, että porakoekappaleiden kypsyysikä testattaessa on 28 vuorokautta.

Kypsyysikä voidaan varmistaa laskennallisesti lämpötilamittausten avulla. Vaihtoehtoisesti koerakenne tai koekappaleet voidaan säilyttää lämpimissä olosuhteissa.

Porakoekappaleiden muunnettujen lujuustulosten tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- Tulosten keskiarvo $\geq 0,85 \cdot (f_{ck} + 5 \text{ MPa})$
- Tulosten minimiarvo $\geq 0,85 \cdot (f_{ck} + 0 \text{ MPa})$

Poralieriöiden tiheyden keskiarvo (6 poralieriötä) saa poiketa laboratoriokoekappaleista (3 kappaleen keskiarvo) määritetystä betonin tiheydestä korkeintaan 75 kg/m^3 ja kuuden poralieriön tiheyden keskihajonta saa olla korkeintaan 50 kg/m^3 .

Valettujen laboratoriokoekappaleiden puristuslujuus testataan 28 vuorokauden iässä, ellei poikkeavaa laadunvarmistusikää ole määritetty. Lujuustulosten tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- Tulosten keskiarvo $\geq f_{ck} + 5 \text{ MPa}$
- Tulosten minimiarvo $\geq f_{ck} + 0 \text{ MPa}$.

5.2.6 Koetulosten raportointi ja voimassaolo

Ennakkokokeiden tulokset kirjataan Väyläviraston ennakkokoelomakkeelle (Kohdekohtaiset ennakkokokeet). Betonin valmistaja ja urakoitsija ovat yhteisvastuullisesti velvollisia toimittamaan kohdekohtaisen ennakkokokeen tulokset Väyläviraston edustajalle. Rakenteen valaminen voidaan aloittaa vasta kun ennakkokokeet on hyväksyttävästi suoritettu ja tulokset toimitettu Väyläviraston edustajalle.

Kohdekohtainen ennakkokoe on voimassa kyseisen kohteen rakentamisen ajan. Koe on kohdekohtainen ja siten sillä ei voida korvata toisessa kohteessa tarvittavaa kohdekohtaista ennakkokoetta. Samoin tehdaskohtaiset ennakkokokeet tulee olla voimassa kohdekohtaisista ennakkokokeista riippumatta.

6 Valutyön aikainen toiminta betoniasemalla

Betoniasema määrittää betonilaatukohtaisesti betonin ilmamäärän tavoitearvon. Ilmamäärä ja betonin notkeus tulee määrittää sellaisiksi, että betonin ilmamäärä ja notkeus työmaalla ja toimitushetkellä täyttävät niille asetetut vaatimukset.

Betonin valmistaja määrittelee betonin sallitun käyttöajan.

Betonin normaali käyttöaika on 2 tuntia betonin sekoituksesta. Käyttöaika voi olla pidempi, mikäli esimerkiksi käytetään hidastavaa lisäainetta.

6.1 Kiviaineksen kosteuspitoisuus

Hienojen kiviainesten kosteuspitoisuus määritetään vähintään kerran päivässä ja varmistetaan, että ohjausjärjestelmään syötetty oletusarvo vastaa mitattua arvoa. Pitkäkestoissa valuissa kiviainesten kosteuden oletusarvo tulee tarkistaa kiviaineslajitteiden kosteuden uusintamittauksilla. Jokaisen annoksen annostelun toteutuminen tarkastetaan vertaamalla tavoitearvoihin.

Automaattista jatkuvatoimista kiviaineksen kosteudenmittausta voidaan käyttää.

6.2 Tuoreen betonin ilmamäärän ja notkeuden mittaaminen

P-lukubetonien ilmamäärä ja notkeus mitataan tehtaalla päivittäin ja betonilaatukohtaisesti viidestä ensimmäisestä kuormasta ja sen jälkeen joka kymmenennestä sekä IT-betonilla joka kolmannesta kuormasta.

Elementtiteollisuudessa valmistettavien P-lukubetonien ilmamäärä mitataan päivittäin kolmesta ensimmäisestä sekoittimen annoksesta ja sen jälkeen vähintään joka kymmenennestä annoksesta. Elementtiteollisuudessa ilmamäärät voidaan mitata betoniasemalla tai valupaikalla.

Ilmamäärä mitataan standardin SFS-EN 12350-7 mukaisella painemenetelmällä.

P-lukubetonin laadun varmistamisessa olennaista on tuoreen betonin ilmamäärän hallinta. Huomiota on kiinnitettävä sekä liian alhaisiin että liian korkeisiin ilmamääriin.

Mitatun ilmamäärän yksittäinen arvo ei saa ylittää tavoiteilmamäärää enempää kuin 2,5 %-yksikköä. Mitatun ilmamäärän yksittäinen arvo ei saa alittaa tavoiteilmamäärää enempää kuin 1,0 %-yksikköä.

6.3 Puristuslujuuden vaatimustenmukaisuuden osoittaminen

Betonin puristuslujuuden vaatimustenmukaisuus asemalla osoitetaan betoni- asema- ja betonilaatukohtaisesti (lujuusluokan ja P-luvun yhdistelmä). Jokai- sesta infrabetonilaadusta muodostetaan oma betoniaseman arvosteluerä. Yh- den betoniaseman arvosteluerän betonia voidaan toimittaa useampaan infra- kohteeseen.

Arvosteluerät betoniasemalla ja työmaalla poikkeavat toisistaan. Työmaalla käytettävä InfraRYLin arvosteluerä määräytyy valet- tavan kohteen rakenneosien mukaan. Esimerkiksi perustukset, tuet ja kansi muodostavat oman arvoste- lueränsä, joka ei ole sama kuin valmisbetoniaseman arvosteluerä. Betoniaseman ja työmaan arvosteluerien koetulokset tulee käsi- tellä erikseen.

Koekappaleiden puristuslujuus testataan testauslaitoksessa, jolla on akkredi- tointi standardin SFS-EN 12390-3 mukaiselle puristuslujuustestille. Vaihtoehtoi- sesti puristuslujuus voidaan määrittää betoniaseman omalla kalibroidulla ja tar- kastuslaitoksen itsetestausoikeuden mukaisen tasokokeen täyttävällä puristi- mella standardeissa SFS-EN 206 ja SFS 7022 esitettyjen betonin lujuuden tes- tausvaatimusten mukaisesti.

Puristuslujuus testataan lieriöillä ($h = 300 \text{ mm}$, $d = 150 \text{ mm}$) tai kuutioilla (150 mm , 100 mm) valmistajan valinnan mukaan. Koekappaleiden valmistamisessa ja testin suorittamisessa noudatetaan SFS-EN 12390 standardeja. Kuutiolujuudet muunnetaan lieriölujuuksiksi, muunnoksia lieriöistä kuutioihin ei sallita. Lujuu- det arvostellaan lieriölujuuksina.

Mikäli puristuslujuus määritetään kuutioilla, muutetaan lujuustulokset lieriölu- juuksiksi kertomalla ne betonin lujuusluokan lieriö- ja kuutiolujuuksien suh- teella. Esimerkiksi lujuusluokan C35/45 betonilla kuutiolujuudet kerrotaan ar- volla 0,78 ($=35/45$). Lisäksi mikäli käytetään 100 mm koekuutioita, lujuustulok- set jaetaan lisäksi kertoimella 1,03.

Näytteiden lukumäärän vähimmäismääränä noudatetaan BY65 mukaista alku- vaiheen tuotannon näytteiden vähimmäismäärää. Mikäli betonilaadun valmis- tus on ollut tauolla yli vuoden, tulee alkuvaiheen näytteenotto aloittaa uudelleen (3 näytettä/ensimmäiset 50 m^3).

Puristuslujuusnäytteiden tulee täyttää SFS EN 206 kappaleen 8.2.1.3.2 mukaiset vaatimukset. Keskiarvovaatimus määritetään kolmen tuloksen liukuvana kes- kiarvona.

Puristuslujuuden kelpoisuuden osoittaminen työmaa- ja rakenne- koekappaleilla on esitetty InfraRYLin kohdassa 42020.1.1.4

6.3.1 Kohdekohtaiset valettavat koekappaleet betoniasemalla

Infrabetoneille edellytetään kohdekohtaista testausta betonilaaduittain. Kohdekohtaisesti jokaisesta käytetystä infrabetonilaadusta tulee valmistaa yksi koekappale 200 m³ kohden ja vähintään 3 koekappaleita. Yhdestä kuormasta otetaan kuitenkin enintään yksi koekappale. Mikäli valettavan betonin määrä on pieni, enintään 2 autokuormallista, koekappaleita otetaan vain 1 kpl/autokuorma.

Kohdekohtaiset koekappaleet ovat osa tehtaan normaalia laadunvalvontaa. Koetulosten puristuslujuus arvostellaan kappaleen 6.3 mukaisesti. Betonin valmistaja on velvollinen raportoimaan kohdekohtaiset koetulokset betonilaaduittain. Betonin lujuudet tarkastellaan ja ilmoitetaan lieriölujuuksina.

6.4 Betonin kuljetus

Betonin kuljetusta varten tulee laatia asemakohtaiset kuljetusohjeet, jossa esitetään ainakin:

- Kuinka kuljetettavaa betonimassaa sekoitetaan kuljetusmatkan aikana ja ennen purkua
- Massan lisäotkistaminen työmaalla ja siihen liittyvät rajoitukset
- Lisäotkistamisen ja muiden havaintojen kirjaaminen kuormakirjaan
- Lisäotkistimen tuotenimi, laimennussuhde ja maksimi annostelu
- Autossa olevan lisäaineen vanheneminen ja säilytys talvella
- Tieto keneen otetaan yhteyttä ongelmatilanteessa.

Betoniauton kuljettajat on perehdytettävä kyseisen betonin kuljettamiseen. Perehdytys on kirjattava ja perehdytetyiltä on otettava kuittaus. Nämä dokumentit on säilytettävä betoniasemalla.

7 P-luvun määrittäminen

P-luku tulee määrittää joko kappaleen 7.1 tai kappaleen 7.2 mukaisesti.

P-lukumenettely perustuu useiden vuosikymmenien aikana tehtyjen laboratorio- ja kenttäkokeiden antamiin pakkasenkestävyyskokeiden tuloksiin. Menettelyssä on otettu huomioon betonitekniikan lisätutkimuksien mukanaan tuomat tarkennukset ja eurooppalaisessa ja kansallisessa betoninormiuudistuksessa tapahtunut kehitys.

InfraRYLin mukaisesti P-luku tulee määrittää jokaisesta työmaalla tehdystä ilmamittauksesta. P-luku lasketaan toimitetun betonin suhteitustietojen mukaisista ainemääristä, ei punnituista. Työmaalle toimitetun betonin P-luvun laskeminen on urakoitsijan velvollisuus. Betoniasema on velvollinen toimittamaan betonin suhteitustiedot urakoitsijalle P-luvun laskentaa varten.

7.1 P-luvun määrittäminen suhteitustietojen ja ilmamäärän perusteella

P-luku määritetään suhteitustietojen, jälkihoidon ja työmaalla mitattujen ilmamäärien perusteella kaavan 2 avulla.

$$P = \frac{46 \cdot k_{jh} \cdot k_{sid}}{\frac{10 \cdot (WAS)^{1,2}}{\sqrt{a}} - 1} \quad (2)$$

jossa k_{jh} on jälkihoitotekijä (kaava 3)
 t_{jh} on jälkihoitoaika [vrk]
 k_{sid} on sideainetekijä (kaava 4)
WAS on redusoitu vesi-ilmasideainesuhde (kaava 6)
a on ilmamäärä [%]

$$k_{jh} = 0,85 + 0,17 \cdot \text{LOG}_{10}(t_{jh}) \quad (3)$$

$$k_{sid} = 1 - \left(\frac{Q_{\text{vesi}}}{Q_{\text{sid}}}\right)^{1,5} \cdot (0,05 \cdot \text{sil} + 0,02 \cdot \text{kuona} + 0,01 \cdot \text{lt}) \quad (4)$$

jossa sil on silikan osuus sideaineen kokonaismäärästä [%]
kuona on masuunikuonan osuus sideaineen kokonaismäärästä [%]
lt on lentotuhkan osuus sideaineen kokonaismäärästä [%]
 Q_{vesi} on tehollinen vesimäärä [kg/m^3]
 Q_{sid} on tehollinen sideaineen kokonaismäärä [kg/m^3].

$$Q_{sid} = Q_{sem} + 2,0 \cdot Q_{sil} + 0,8 \cdot Q_{kuona} + 0,4 \cdot Q_{lt} \quad (5)$$

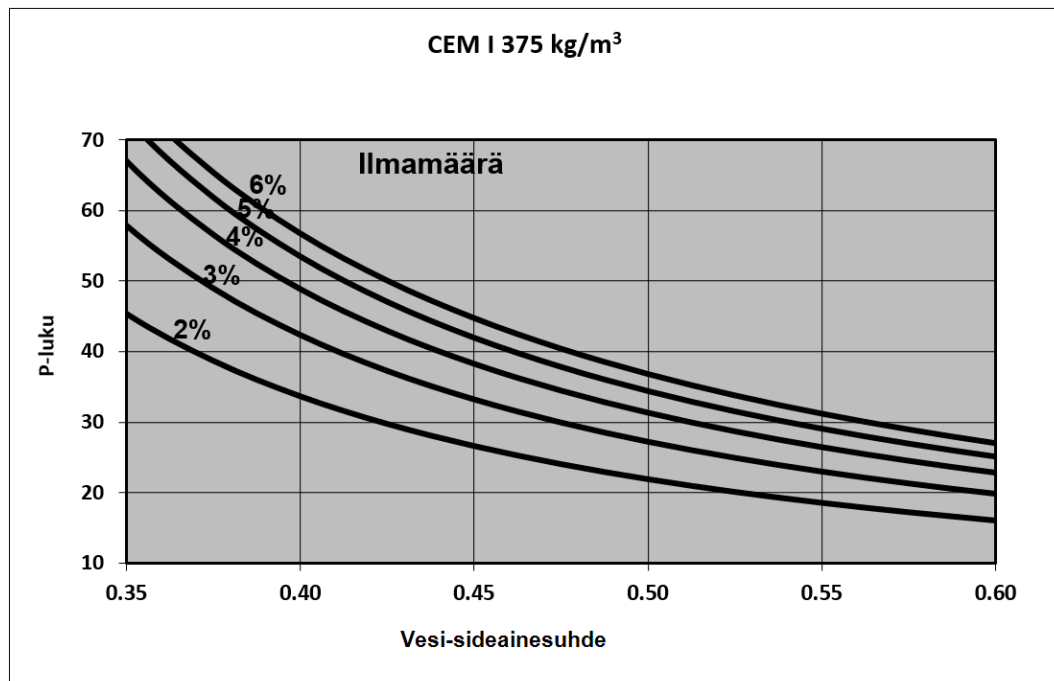
jossa Q_{sem} on tehollinen sementtimäärä [kg/m^3]
(Portlandsementillä (CEM I) k_A on 1)
 Q_{sil} on lisätyn silikajauheen määrä [kg/m^3]
 Q_{kuona} on lisätyn masuunikuonan määrä [kg/m^3]
 Q_{lt} on lisätyn lentotuhkan määrä [kg/m^3]

$$WAS = \frac{Q_{vesi} + 10 \cdot (a-2)}{Q_{sid}} \quad (6)$$

P-luvun laskennassa käytetään seosaineille taulukon 4 mukaisia seosaineker-
toimia.

Taulukko 4 Seosaineiden seosainekertoimet P-lukua laskettaessa.

Seosaine	Seosainekerroin
Masuunikuona (II-luokan seosaine)	0,8 1,0 standardin SFS-EN 206:n mukaisissa XA-rasitusluokissa
Lentotuhka (II-luokan seosaine)	0,4
Silika (II-luokan seosaine)	2,0 vesi-sideainesuhde $\leq 0,45$ 1,0 vesi-sideainesuhde $> 0,45$
(I-luokan seosaine esim. kalkkifilleri)	0,0



Kuva 5 Esimerkki kaavalla 2 lasketun P-luvun riippuvuudesta vesi-sideai-
nesuhteesta ja ilmamäärästä sementtilaadulla CEM I sementti-
määrän ollessa $375 \text{ kg}/\text{m}^3$ ja jälkihoitoaika 7 vuorokautta.

Esimerkki sementin seosainekertoimen k_A ja Q_{sem} :n laskemisesta:

Huom. tämä havainnollistava laskentaesimerkki on likimääräistys. Väyläviraston Excel-lomake (P-luvun laskenta) suorittaa laskennan tarkemmin.

Jos portlandseossementin (SFS-EN 197-1) CEM II/A-M(S-LL) seosainepitoisuudet ovat:

- kalkkikivi 8 % ($k_{A\text{ kalkkikivi}} = 0$)
- kuona 7 % ($k_{A\text{ kuona}} = 0,8$)

Laskelmissa nimittäjäksi tulee klinkkerin osuus (95 %) portlandsementissä CEM I kerrottuna klinkkerin aktiivisuuskertoimella 1,0.

$$0,95 \cdot 1,0 = 0,95$$

$$k_A = (0,08 \cdot k_{A\text{ kalkkikivi}} + 0,07 \cdot k_{A\text{ kuona}} + 0,85 \cdot k_{A\text{ klinkkeri}}) / 0,95 \\ = (0,08 \cdot 0,0 + 0,07 \cdot 0,8 + 0,85 \cdot 1,0) / 0,95 = 0,95$$

Jos seossementin CEM II/A-M(S-LL) määrä on 320 kg/m^3 , tällöin tehollisen sementin määrä on

$$Q_{sem} = k_A \cdot 320 \text{ kg/m}^3 = 0,95 \cdot 320 \text{ kg/m}^3 = 304 \text{ kg/m}^3$$

Mikäli käytettävillä sementtilaaduilla on voimassaoleva Väyläviraston myöntämä erillishyväksyntä, niin sementin määränä Q_{sem} voidaan käyttää P-lukua määritettäessä todellista sementin määrää ilman aktiivisuuserrointa (k_A). Erillishyväksynnässä voidaan asettaa lisävaatimuksia esim. kalkkikiven määrän osalta.

Erillishyväksyntä huomioidaan automaattisesti Väyläviraston Excel-lomakkeessa: P-luvun laskenta.

7.2 P-luvun määrittäminen suoralla pakkauskokeella

P-luku voidaan määrittää myös standardin CEN/TS 12390-9 mukaisen 56 kierroksen pakkassuolakokeen ja suhteitustietojen perusteella kaavan 7 avulla.

$$P = k_{sid} \cdot \frac{3000}{(m_{56})^{0,74}} \quad (7)$$

jossa k_{sid} on sideainekerroin (kaava 4)
 m_{56} on standardin CEN/TS 12390-9 mukaisen 56 kierroksen pakkassuolakokeen rapautuma [g/m^2].

Koska sideainekertoimessa k_{sid} ei oteta huomioon kalkkifillieriä sementin seosaineena, kalkkikiveä sisältävillä sementeillä sideainekerrointa korjataan laskennallisten P-lukujen lisäkertoimella $P_{red}/P_{Ksid=1}$.

P_{red} lasketaan olettaen, että sementin kalkkikiviosuus ei toimi sementtinä ollenkaan.

$P_{Ksid=1}$ lasketaan olettaen myös kalkkikiven toimivan sementtinä täysimääräisenä.

8 Dokumentointi

Tässä kappaleessa käsitellään ainoastaan EN 206 ja SFS-EN 7022 sekä BY65 ohjeiden ja vaatimusten lisäksi tehtäviä dokumentointeja.

Infrabetoneista dokumentoidaan vähintään seuraavat asiat:

- Ennakkokokeet:

- Tehdaskohtaisien ennakkokokeiden tulokset
- Kohdekohtaisten ennakkokokeiden tulokset

- Infrakohdekohtaiset tulokset

- Kohdekohtaiset lujuuskoekappaletulokset
- Suhteitustiedot käytetyistä betonilaaduista (tavoitellut määrät ei punnittu)
- Käytetyn kiviaineksen alkalikiviainesreaktiivisuuden luokka (BY74)

Valmisbetonilaitoksella tehdyt muistiinpanot, ennakkokoetulokset sekä laadunvalvontakokeiden tulokset säilytetään tilaajan mahdollisia tarkastuksia varten vähintään kymmenen vuotta. Työmaalla tehdyt muistiinpanot luovutetaan tilaajalle.

Kaikista betoniaseman käyttämisestä infrabetonilaaduista tulee laatia suhteitustietotaulukko.

Betonin valmistajan on pidettävä kirjaa siitä, mitkä betonitoimitukset ovat tämän ohjeen mukaisia infrabetonitoimituksia.

Kirjallisuusluettelo

- /1/ Eurokoodin soveltamisohje – Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. Liikenneviraston ohjeita 31/2017.
- /2/ SFS-EN 197-1 Sementti – Osa 1: Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus.
- /3/ BY65 Betoninormit 2016. Suomen Betoniyhdistys r.y.
- /4/ InfraRYL Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset Osa 3: Sillat ja rakennustekniset osat, Rakennustieto Oy, RT 14-10920. Lisäksi edellistä täydentävät tai päivittävät ohjeet: www.rts.fi/infraryl – InfraRYL ylläpito.
- /5/ SFS-EN 206. Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus, Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- /6/ SFS 7022 Betoni. Standardin SFS-EN 206 käyttö Suomessa, Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS
- /7/ BY74 Ohje betonin alkali-kiviainesreaktion hallitsemiseksi. Suomen Betoniyhdistys ry. (Julkaistaan myöhemmin)
- /8/ SFS-EN 12620 Betonikiviainekset. Suomen standardoimisliitto SFS.
- /9/ SFS 7003 Betonikiviaineksilta eri käyttöolosuhteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot. Suomen standardoimisliitto SFS.
- /10/ SFS-EN 450-1 Betoniin käytettävä lentotuhka. Osa 1: Määritelmät, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Suomen standardoimisliitto SFS.



**Väylävirasto
Trafikledsverket**



ASIAKIRJA

Tämä asiakirja on allekirjoitettu Väyläviraston sähköisen allekirjoituksen palvelussa. Voit varmistaa Adobe Acrobatilla sähköisen allekirjoituksen eheyden.

ALLEKIRJOITUKSET

Allekirjoittaja	Jussi Vuotari
Allekirjoitusaika	17.12.2020 12:47
Allekirjoittaja	Minna Torkkeli
Allekirjoitusaika	18.12.2020 08:26
Allekirjoittaja	Pekka Rajala
Allekirjoitusaika	18.12.2020 14:59

ASIAKIRJAT

Asiakirja

VJ 41-2020 Infrabetonien valmistus_16.12.2020.pdf

