

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus, insinööri (AMK)

2025

Jenni Vironmäki

Betonin puristuslujuuden kehitykseen vaikuttavat tekijät

– Standardeista poikkeavat menetelmät



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus, insinööri

2025 | 44 sivua

Jenni Vironmäki

Betonin puristuslujuuden kehitykseen vaikuttavat tekijät

- Standardeista poikkeavat menetelmät

Tutkimuksen tavoitteena oli syventyä betonisten koekappaleiden valmistukseen sekä puristuslujuuden kehitykseen vaikuttaviin tekijöihin. Tutkimuksessa tavoitteena oli selvittää, millä tavoin standardista poikkeavat menetelmät vaikuttavat puristuslujuuden kehitykseen. Tulosten pohjalta pystytään ottamaan huomioon mahdolliset poikkeamat betonin tuotannossa.

Puristuslujuuden kehitystä tutkittiin toiminnallisilla ja teoreettisilla menetelmillä. Tutkimuksen pääosassa käytettiin toiminnallista menetelmää, joka piti sisällään betonisten koekappaleiden valmistusta sekä testaamista. Tutkimuksen tavoitteen kannalta toiminnallinen testaus oli hyvin merkittävää.

Tutkimuksessa saatiin selville, miten pieniltäkin vaikuttavat standardista poikkeavat toimintatavat voivat vaikuttaa puristuslujuuden kehitykseen. Tulosten pohjalta on hyvin tärkeää merkitä poikkeamat tietojärjestelmään, jotta ne voidaan ottaa huomioon.

Asiasanat:

betoni, puristuslujuus, koekappale, SFS

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Bachelor of Civil Engineering

2025 | 44 pages

Jenni Vironmäki

A study on the compressive strengths of concrete specimens

- deviant methods from standards

The purpose of the study was to delve into the production of concrete specimens and the factors affecting the development of compressive strength. The purpose of the study was to determine how deviant methods from standards affect the development of compressive strength. Based on the results it is possible to consider deviations in the concrete production.

The development of compressive strength was studied using functional and theoretical methods. The main part of the study used a functional method, which included the production and testing of concrete specimens. Functional testing was very significant in terms of the aim of the study.

The study revealed how even seemingly small deviations from the standard can significantly affect the development of compressive strength. Based on the results, it is very important to record deviations in the information system so that they can be taken into account.

Keywords:

Concrete, compression strength, specimen, SFS

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	5
1 Johdanto	7
2 Betonin koostumus sekä standardin mukainen testaus	8
2.1 Mistä betoni koostuu	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
2.2 Standardien mukainen valmistus	10
2.3 Painuman mittaus	10
2.4 Ilmamäärän mittaus	11
2.5 Koekappaleen valmistus	14
2.6 Valmistuksen jälkeiset työvaiheet sekä näytteenotto intensiteetti	15
2.7 Koekappaleen puristus	17
3 Tuoreen betonin testauksen standardista poikkeaminen	20
3.1 Betonin odotuttaminen 1,5 tuntia	20
3.2 Muotti runsaasti öljytty	22
3.3 Sauvatärytys 3 x 20 sekuntia	24
3.4 Sauvatärytys keskeltä 5 sekuntia	26
4 Koekappale muotin täytön jälkeinen standardista poikkeaminen	28
4.1 Muotin kuljetus heti täytön jälkeen	28
4.2 Muotin kuljetus 5 tunnin kuluttua täytön jälkeen	29
5 Kovettuneen betonin säilytyksen olosuhteet	31
5.1 Koekappaleen vesialtaassa säilytyksen aikaiset olosuhteet	31
5.1.1 Säilytys 30 asteisessa vedessä	32
5.1.2 Säilytys 10 asteisessa jääkaapissa	33
5.2 Säilytys muotissa 28 päivää	36
6 Parhaimmat menetelmät sekä olosuhteet	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
Lähteet	42

Kuvat

Kuva 1. Teräskuidut.	9
Kuva 2. Painumamittaus.	11
Kuva 3. Ilmamäärämittari.	12
Kuva 4. Valmiit koekappaleet muoteissa.	15
Kuva 6. Puristettu koekappale.	18
Kuva 7. Lujuudenkehitys eri lämpötiloissa.	31
Kuva 8. Lujuuden kehitys sideaine CEM II/B (S-LL).	34

Taulukot

Taulukko 1. Painumaluokat.....	10
Taulukko 2. Suuntaa antava vähimmäisilmamäärä.....	13
Taulukko 3. F-luku.	14
Taulukko 4. Näytteiden vähimmäismäärä.	16
Taulukko 5. Alkutestauksen tulokset.....	21
Taulukko 6. Betonin odotuttaminen 1,5 tuntia.	21
Taulukko 7. Muotti runsaasti öljytty.	23
Taulukko 8. Sauvatärytys 3 x 20 sekuntia.....	25
Taulukko 9. Sauvatärytys keskeltä 5 sekuntia.	27
Taulukko 10. Muotin kuljetus heti täytön jälkeen.....	29
Taulukko 11. Muotin kuljetus 5 tunnin kuluttua täytön jälkeen.	30
Taulukko 12. Säilytys 30 asteisessa vedessä.	32
Taulukko 13. Säilytys 10-asteisessa jääkaapissa	35
Taulukko 14. Säilytys muotissa 28 päivää.	36
Taulukko 15. Kaikki tulokset.	38

Käytetty sanasto

betonimassa	tiivistettävissä oleva täysin sekoitettu betonimäärä (Betonitieto, n.d.e)
betoniperhe	Betoni joukko, jonka ominaisuudet ovat keskenään suhteellisen samanlaisia (Betonitieto, n.d.e)
IT	Itsetiivistyvä betoni, käytetään kohteissa, joissa tärytiivistys ei ole mahdollista. (Betonitieto, n.d.e)
korkealujuusbetoni	Puristuslujuusluokka on yli C50/60 (Betonitieto, n.d.e)
NPB	Nopeasti päällystettävä betoni
P-luku	P-luku kuvaa massan kykyä vastustaa pakkas-suolarasitusta, Väyläviraston laatima pakkasenkestävyyslukumenettely. (Väylävirasto, Infrabetonin valmistus 2020, 8)
vesi-sementtisuhde	Betonimassan tehollisen vesimäärän ja sementtimäärän suhde (SFS-EN 206, 18)
yksittäisnäyte	Useamman osanäytteen muodostama määrä betonia, joka on otettu betonimassan yhdestä kohdasta (SFS EN 12350-1:2019)

1 Johdanto

Betoni koostuu sementistä, vedestä, kiviaineksesta sekä mahdollisista lisä- ja seosaineista. Betonin haluttuja ominaisuuksia pystytään muokkaamaan säätelemällä edellä mainittujen osa-aineiden suhdetta. (SFS-EN 206, 2014.) Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia eri menetelmillä valmistettujen betonisten koekappaleiden puristuslujuuden kehitystä.

Aihe on betonin tuotannon kannalta hyvin tärkeä, jotta mahdolliset mittaajasta johtuvat poikkeamat saadaan karsittua pois. Pieniltäkin tuntuvat mittaustavan poikkeamat voivat aiheuttaa jopa muutamien megapascalien lujuuden kehityksen alenemaa. Alenemat voivat vaikuttaa standardissa vaadittuun lujuustulokseen, jolloin mahdollisesti joudutaan tehdaskohtaisesti suorittamaan ylimääräisiä mittauksia, jotka hidastavat tai pahimmassa tapauksessa estävät kyseisen betonilaadun tuottamista.

Tavoitteena on ennaltaehkäistä ja mahdollisesti myös saada selville mittapoikkeamien syitä ja niiden seurauksia puristuslujuuden kehitykselle. Tutkimuksen alussa tarkastellaan mistä betoni koostuu sekä mitkä ovat standardin mukaiset toimintatavat betonin testauksessa. Opinnäytetyön oppimisen näkökulmasta tavoitteena on perehtyä vielä syvemmin standardeihin sekä koekappaleiden valmistukseen. Koekappaleiden valmistuksen tavoitteena on seurata valmisbetoni tuotannon laaduntasaisuutta. Näin ollen koekappaleiden valmistuksen tulee olla standardien mukaista ja toistettavissa. Menetelminä käytetään standardista poikkeavia menettelytapoja.

Tutkimuksen tavoitteena on syventyä kappaleessa 2 mainittuihin tietoihin siitä näkökulmasta, miten tuotannossa pystytään havaitsemaan mahdolliset lujuuspoikkeamat sekä millä tavoin eri menetelmillä valmistettujen koekappaleiden puristuslujuus eroaa normaalista toimintatavasta. Näytteenoton intensiteetti on suhteellisen suuri, joten tutkimuksen tavoitteena on vähentää inhimillisiä virheitä tai ainakin selvittää niiden vaikutus puristuslujuuteen. Seuraavissa luvuissa käydään yksityiskohtaisemmin läpi betonin koostumus sekä standardien mukainen testaus.

2 Betonin koostumus sekä standardin mukainen testaus

Sementin pääraaka-aineena on kalkkikivi, jota esiintyy melkeinpä kaikissa maissa. Sementti on betonin tärkein raaka-aine, sillä sementin reagoidessa veden kanssa syntyy sen kovetuttua luja sekä kestävä lopputulos. Sementin sekä veden reaktiotuote, sementtikivi, takaa betonin lujuuden liittäessään kaikki raaka-aineet yhtenäiseksi massaksi. (SFS-EN 197-1, 2011.)

Vesi on sementin kanssa tärkeässä osassa betonin valmistusta. Vesi-sementtisuhteella pystytään vaikuttamaan moneen asiaan kuten lujuuden kehitykseen sekä työstettävyyteen. Vetenä käytetään useimmiten vesijohtoverkostosta otettua vettä, mutta on myös mahdollista käyttää betoniteollisuuden sivutuotteena talteen otettua vettä. Jos päädytään käyttämään talteen otettua vettä, tulee veden soveltuvuutta tuotannossa tutkia tarkoin. (SFS-EN 1008, 2002.)

Betonista noin 80 % on kiviainesta, jonka vuoksi kiviaineksen laatua sekä tasalaatuisuutta tulee valvoa tarkasti. Betonissa käytetyn kiviaineksen laatuvaatimukset on koottu tuotestandardiin SFS-EN 12620 (2002) *Betonikiviainekset sekä kansalliseen soveltamisstandardiin SFS 7003 (2022) Betonikiviaineksilta eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja asetetut vaatimustasot*. Ennakkokokeilla testataan muun muassa uuden entuudestaan tuntemattoman kiviainestyyppin soveltuvuutta betonin tuotannossa. Yleisimmät kiviainekset betonituotannossa on filleri (0–2), 0–8 ja 8–16. Betoniresepteissä maksimirakokooksi valitaan yleisimmin 8 mm:n, 16 mm:n tai 32 mm:n kiviaines raudoituksen mukaan.

Betonissa käytettäviä seosaineita on muun muassa lentotuhka (SFS-EN 450-1, 2012), masuunikuona (SFS-EN 15167-1, 2006) ja silika (SFS-EN 13263-1, 2006). Betonin seosaineina usein hyödynnetään teollisuuden sivuvirroissa syntyneitä raaka-aineita kuten edellä mainittua lentotuhkaa (kivihiilen poltto), masuunikuonaa (raakaraudan valistus) sekä silikaa (ferropiin ja alkuaine piin

valmistus). Seosaineen vaikutus näkyy esimerkiksi betonin työstettävyydessä, veden tarpeessa, kovettumisreaktiossa sekä kovettuneessa betonissa.

Betonin lisäaineita ovat muun muassa notkistimet, huokostimet, kiihdyttimet sekä hidastimet. Lisäaineiden tarkoituksena on antaa betonille sellaisia ominaisuuksia mitä pääraaka-aineilla ei pystytä saavuttamaan kuten pakkasenkestävyyttä tai hidastamaan sitoutumista pitkillä kuljetusmatkoilla. Lisäaineiden tulee olla standardin SFS-EN 934-2 (2008) mukaisia sekä niillä tulee olla CE-merkintä, jotta niitä saadaan käyttää betonin tuotannossa. Edellä mainitusta standardista poikkeavien lisäaineiden tulee täyttää standardin SFS-EN 934-1 (2008) mukaiset vaatimukset. Lisäaineiden annostukset ovat hyvin pieniä muihin raaka-aineisiin nähden, muutaman prosentin verran käytetyn sementin määrästä.

Betonille ominaista on hyvä puristuslujuus, mutta jos betonin ominaisuuteen halutaan lisätä myös vetolujuutta, lisätään betonin joukkoon kuituja. Tähän tarkoitukseen on kehitelty teräskuituja (kuva 1). ja yleisimmin teräskuituja sisältävää betonia hyödynnetään ruiskubetonoinnissa sekä erilaisissa lattiamassoissa kuten maanvaraisissa laatoissa. (SFS-EN 1889-1, 2006.) Betonille on ominaista kuivuessaan kutistua, mutta tätä kutistumaa estämään on kehitelty mikrokuituja (SFS-EN 14888-2, 2006). Kuidut eivät kuitenkaan lisää betonin puristuslujuutta, minkä vuoksi tutkielmassa ei erikseen mainita onko massassa ollut kuituja.



Kuva 1. Teräskuidut (Jenni Vironmäki).

2.1 Standardien mukainen valmistus

Tuoreen betonin näytteenotossa käytettävät periaatteet ja välineet on määritelty standardeissa SFS-EN 12350-1 (2019) ja SFS-EN 12390-2 (2019). Näytteenottovälineiden tulee olla standardin mukaiset seuraavasti: kauhan, painumakartion sekä alustalevyn tulee olla sementtipastan emäksisen vaikutuksen kestävä metallia tai muuta sopivaa materiaalia. Tiivistysvälineenä tulee käyttää esimerkiksi sauvatärytintä, jonka taajuus on minimissään noin 120 Hz (SFS-EN 12350-1, 2019, 5). Betonin näytteenoton ensimmäisenä vaiheena tulee huolehtia, että näytettä on tarpeeksi, noin 1,5 kertaa tarvittava määrä. Näin varmistetaan tarpeeksi laaja otanta testattavaa tuoretta betonia.

2.2 Painuman mittaus

Kun tarvittava määrä tuoretta betonia on saatu, voidaan testausta jatkaa painuman mittauksella. Painumamittauksen standardissa SFS-EN 12350-2 määrittää painumamittauksen raja-arvot, jotka löytyvät taulukosta 1.

Taulukko 1. Painumaluokat (SFS-EN 206, 2014, 24).

Luokka	Standardin EN 12350-2 mukaisesti testattu painuma mm
S1	10...40
S2	50...90
S3	100...150
S4	160...210
S5 ^a	≥ 220
^a Ks. kohdan 5.4.1 HUOM. 1.	

Tutkielmassa on mitattu jokaisesta erästä painuma. Painumamittaus on tärkeää ottaa ennen koekappaleiden valmistusta, jotta pystytään varmistumaan, että betoni on reseptin ja näin ollen myös standardien mukaista. Jos painuma ei ole sallitussa rajoissa, ei yksittäisnäytettä voida käyttää tutkimuksessa. Painumamittaus tapahtuu kuvan 2 mukaisilla välineillä.



Kuva 2. Painumamittaus (Jenni Vironmäki).

2.3 Ilmamäärän mittaus

Säänkestävistä betoneista tulee mitata ilmamäärä tuoreesta betonista standardin SFS-EN 12350-7 (2019) mukaisesti seuraavalla tavalla. Ilmamäärän mittaus tapahtuu painemenetelmällä, jossa testausastia täytetään betonilaadun mukaisesti joko yhdessä tai useammassa erässä. Betonimassa tulee tiivistää astiaan jokaisen täyttökerran jälkeen, pois lukien IT-betoni, jota ei tiivistetä lainkaan. Astian täytön jälkeen astian reunat puhdistetaan huolellisesti, jotta kansi saadaan tiivistä paikalleen. Kannen kiinnityksen jälkeen kannen ja betonipinnan välinen tila täytetään vedellä kannessa olevan venttiilin kautta. Kannessa olevaan paineastiaan pumpataan painetta ja kuvassa 3 olevalla mustalla painikkeella painetta poistetaan, kunnes mittaviisari on punaisen aloitusviivan kohdalla. Paine vapautetaan astian sisälle vihreää testausnappia painamalla. Vesi jakaa paineen tasaisesti betonin pinnalle, jolloin betoni puristuu

kasaan ja betonissa olevat ilmakuplat nousevat pintaan. Mittarin asteikko näyttää betonissa olevan ilmamäärän prosentteina.



Kuva 3. Ilmamäärämittari (Jenni Vironmäki).

Normaaleissa betonimassoissa ilmamäärä on 1–2 % luokkaa, kun taas säänkestävissä ilmamäärän tulee olla massasta riippuen 4–8 % välillä. Taulukossa 2 näkyy suuntaa antavat säänkestävien massojen vähimmäisilmamäärät rasitusluokkien, suunnitellun käyttöiän sekä maksimiraekoon mukaan.

Taulukko 2. Suuntaa antava vähimmäisilmamäärä (Betonitieto, n.d.a)

Vähimmäisilmamäärä I_{\min}						
Käyttöikä	50 vuotta			100 vuotta		
Maksimiraekoko	≥ 16 mm	12 mm	8 mm	≥ 16 mm	12 mm	8mm
XF1 ja XF3	4,0 %	4,5 %	5,0 %	5,0 %	5,5 %	6,0 %
XF2 Ja XF4	5,0 %	5,5 %	6,0 %	5,5 %	6,0 %	6,5 %

Ilmamäärärajat voidaan määrittää myös F-luvulla. F-luvun laskennassa otetaan huomioon massan vesi-sementtisuhte, haluttu käyttöikä sekä ilmamäärä. F-luku laskennalla saadaan määritettyä tarkemmat ilmamäärä rajat kullekin betonirakenteelle. F-luku lasketaan kaavalla 1:

$$F = \frac{1}{\max\left\{0,25; 7,2 \frac{(v/s)^{0,45}}{(a-1)^{0,14}} - 4\right\}}, \quad (1)$$

jossa,

v/s on tehollinen vesi-sementtisuhte

a on betonin ilmamäärä %, kun kiviaineksen ylänimellisraja on 16 mm. Ylänimellisrajan ollessa 12 mm ilmamäärästä vähennetään 0,5 %-yksikköä ja ylänimellisrajan ollessa 8 mm 1,0 %-yksikköä.

(Betonitieto, n.d.f)

Taulukosta 3 löytyy F-luvun avulla saavutettuja tasoja, josta pystytään valitsemaan oikea ilmamääräprosentti halutulle massalle. Esimerkiksi jos suunnittelija on määritellyt rakenteelle vaatimukseksi XF3 – 100 v, voidaan vaatimus toteuttaa esimerkiksi $v/s = 0,50$ ja ilma (16 mm) = 6,0 %. Tällöin tavoite ilmamäärä olisi 6,0 %-yksikköä.

Taulukko 3. F-luku (Betoni tieto, n.d.f).

F-luku tehollisen vesi-sideainesuhteen ja betonin ilmamäärän funktiona. Punaiset yhdistelmät täyttävät XF1 – 50 v vaatimustason, oranssit edellisen lisäksi myös XF3 – 50 v vaatimustason, siniset edellisten lisäksi myös XF 1 – 100 v vaatimustason ja vihreät edellisten lisäksi myös XF3 – 100 v vaatimustason.

Ilmamäärä, %			Tehollinen vesi-sementtisuhte						
Ylänimellisraja, mm			0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
8	12	= 16							
4,0	3,5	3,0	4,00	3,06					
4,5	4,0	3,5	4,00	4,00	2,37	1,57	1,19		
5,0	4,5	4,0	4,00	4,00	3,23	1,93	1,39	1,10	
5,5	5,0	4,5	4,00	4,00	4,00	2,37	1,62	1,25	1,02
6,0	5,5	5,0	4,00	4,00	4,00	2,93	1,88	1,40	1,13
6,5	6,0	5,5	4,00	4,00	4,00	3,70	2,19	1,57	1,24
7,0	6,5	6,0	4,00	4,00	4,00	4,00	2,55	1,76	1,36
7,5	7,0	6,5	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	1,97	1,49
8,0	7,5	7,0	4,00	4,00	4,00	4,00	3,56	2,21	1,63

2.4 Koekappaleen valmistus

Kun painuma ja mahdollinen ilmamäärä on testattu ja todettu olevan standardien sekä ohjeistusten mukainen, voidaan lähteä tekemään koekappaleita standardin SFS-EN 12390-2 (2019) mukaisesti seuraavalla tavalla. Tutkimuksessa käytetään standardin SFS-EN 12390-1 (2021) mukaisia lieriökoekappale muotteja, joista saadaan 150 mm x 300 mm kokoisia koekappaleita. Testauksessa voisi myös käyttää 150 mm x 150 mm kokoisia kuutioita. Ennen muotin täyttöä muotin sisäpinta vaillellaan kevyesti ei-reaktiivisellä irrotusaineella eli muottiöljyllä. Muotin täyttö tapahtuu kolmessa yhtä suuressa osassa, joiden välissä näytettä vibrataan kolmesta eri kohdasta tarvittava määrä. Viimeinen kerros tiivistetään tärysauvalla niin että näytteen pinnalle ei enää nouse isoja ilmakuplia eikä betoni pääse erottumaan. Valmiin koekappaleen pinta tasoitetaan vielä viimeiseksi. Kuvassa 4 on esiteltynä valmiita koekappaleita muoteissa.



Kuva 4. Valmiit koekappaleet muoteissa (Jenni Vironmäki).

2.5 Valmistuksen jälkeiset työvaiheet sekä näytteenoton intensiteetti

Koekappale tulee merkitä tietojärjestelmään, jotta pystytään myöhemmin todentamaan näytteenotto. Tietojärjestelmään merkitään tarkasti mistä kuormasta näyte on otettu, mitkä ovat painuman, ilmamäärän, lämpötilan sekä mahdollisesti vesi-sementtisuhteen tulokset ja tämän lisäksi koekappaleelle tulee yksilöllinen tunnus mikä tulee lukemaan myös koekappaleen kyljessä muotin purun jälkeen.

Tuotannossa koekappaleita valmistetaan taulukon 4 mukainen määrä tuotettua betoni määrää kohden. Näin pystytään varmistamaan, että betoni on laadultaan ja ominaisuuksiltaan toivotunlaista. Näin ollen pystytään myös heti puuttamaan mahdollisiin epäkohtiin esimerkiksi puristuslujuuden alituksiin.

Taulukko 4. Näytteiden vähimmäismäärä (Betonitieto, n.d.d)

Näytteiden vähimmäismäärä:

Valmistus	Valmistuksen ensimmäiset 50 m ³	Sen jälkeen ^(a) , kun on valmistettu ensimmäiset 50 m ³
Alkuvaihe (kunnes on saatu vähintään 35 testaustulosta)	3 näytettä	1 näyte / 200 m ³ tai 1 näyte / 3 tuotantopäivää
Jatkuva ^(b) (kun käytettävissä on vähintään 35 testaustulosta)		1 näyte / 400 m ³ tai 1 näyte / 5 tuotantopäivää ^(c) tai 1 näyte / kalenterikuukausi

a) Näytteenotto on kohdistettava koko valmistukseen. Näytteiden määrän ei tarvitse kuitenkaan olla suurempi kuin 1 näyte 25 m³:ä kohden

b) Jos arviointijakson viimeisen 15 tai useamman testaustuloksen keskihajonta ylittää asetetun s_n -n ylärajat, näytteiden lukumäärää on lisättävä vastaamaan tuotannon alkuvaiheen näytteiden lukumäärää, kunnes on saatu seuraavat 35 testaustulosta. Vaatimustenmukaisuus arvioidaan kuitenkin edelleen jatkuvan valmistuksen ehdoilla.

c) Tai jos 7 perättäisen kalenteripäivän aikana on yli 5 tuotantopäivää, kerran kalenteriviikossa.

Alkuvaiheessa betonista tulee ottaa ensimmäisen 50 m³:n aikana 3 näytettä, jonka jälkeen otetaan 1 näyte 200 m³:n välein tai 1 näyte per kolme tuotantopäivää. Kun testaustuloksia on kertynyt 35 kappaletta ja testien arvot ovat s_n rajoissa voidaan siirtyä jatkuvaan betoniperheeseen, jossa näytteitä otetaan 1 kappale per 400 m³ tai 1 näyte per viisi tuotantopäivää tai 1 näyte per kalenterikuukausi. s_n on otoskeskihajonta, joka lasketaan koetulosten keskiarvona.

Standardin SFS-EN 12390-2 (2019) mukaan koekappaleen tulee antaa olla muotissa 20 (± 5) asteessa vähintään 16 mutta maksimissaan 3 vuorokautta. Muottia ei saa altistaa tärinälle, iskuille eikä kuivumiselle. Muotti voidaan kuljettaa suojattuna kuivumiselta vielä siinä vaiheessa, kun se on uudelleensekoituskelpoinen (SFS-EN 12390-2, 2019, 7). Muotti puretaan ja koekappale merkitään pysyvällä tavalla selkeästi, jotta se pystytään tunnistamaan puristuspäivänä. Purettu koekappale siirretään tämän jälkeen 20 (± 2)-asteiseen vesialtaaseen jotta betoni saa optimaalisen jälkihoidon. Koekappaleet laitetaan veteen heti muotin purkamisen jälkeen ja säilytetään vedessä koestuspäivään asti.

Yleisimmin betonirakenteiden suunnittelija määrittää arvosteluiän, jolloin koekappaleet koestetaan. Joissain tapauksissa voidaan valmistaa myös lisäksi 7 päivän ikäisiä koekappaleita, jotta voidaan seurata alkulujuuden kehitystä. Betonilaadusta riippuen voidaan myös valmistaa arvosteluiältään 91 päivän ikäisiä koekappaleita, jos betonin lujuuden kehitys on hidasta. Koekappaleiden mahdollisen kuljetuksen aikana tulee huomioida ja pitää huolta, että niillä on samat lämpötila olosuhteet kuin mitä standardissa SFS-EN 12390-2 on määritelty.

2.6 Koekappaleen puristus

Standardissa SFS-EN 12390-3 (2019) koekappaleen puristuksesta löytyy tietoa seuraavasti. Koekappaleen pinnat tulee suoristaa ja tasata käyttäen siihen tarkoitukseen valmistettua hiomakonetta. Koekappaleita ei saa poistaa vesi altaasta kuin maksimissaan 1 tuntia ennen hiontaa ja ne tulee palauttaa vesialtaaseen hionnan jälkeen. Testauslaitoksen lämpötilan tulee olla sama kuin muotissa olevan koekappaleen lämpötila eli 20 (± 5) astetta. Ennen koekappaleen puristusta tulee puristettavilta pinnoilta puhdistaa hionnasta tullut mahdollinen hiontapöly sekä muu aines mukaan lukien ylimääräinen vesi. Koekappale punnitaan ja mitataan ennen puristamista, jolloin saadaan selville koekappaleen tiheys. Puristimessa voi käyttää standardin SFS-EN 12390-4 (2019) mukaisia välikappaleita koekappaleen ja testauskoneen levyjen välissä. Koekappale tulee asettaa puristimen keskelle kuvan 6 mukaisesti.



Kuva 5. Puristettu koekappale (Jenni Vironmäki).

Koekappaleen puristuslujuus lasketaan kaavalla 2 standardin SFS-EN 12390-3 (2019, 7) mukaan seuraavasti:

$$f_c = \frac{F}{A_c}, \quad (2)$$

jossa,

f_c on puristuslujuus MPa (N/mm^2)

F on suurin kuormitus

A_c on näytteen poikkileikkausala, johon puristusvoima vaikuttaa mm^2

Puristimen tulee olla standardin SFS-EN 12390-4 (2019) mukainen.

Seuraavissa luvuissa tarkastellaan 9 erilaista menetelmää, jotka poikkeavat standardin mukaisesta toiminnasta. Menetelmien testauksen tarkoituksena on

saada selville, kuinka iso vaikutus muutoksilla on puristuslujuuden kehitykseen. Luvussa 3 esitellään tuoreen betonin koekappaleen valmistusmenetelmistä, luvussa 4 esitellään koekappaleiden valmistuksen jälkeisistä menetelmistä, kun betoni on vielä tuoretta sekä luvussa 5 käydään läpi kovettuneen betonin säilytystä koskevia menetelmiä. Jokaisessa tutkimuksen osa-alueessa valmistettiin 2 koekappaletta standardin mukaisesti, jotka toimivat vertailukohteena standardista poikkeaviin kahteen koekappaleeseen. Taulukoissa näkyvät puristus ljuuden tulokset ovat näiden kahden tuloksen keskiarvoja.

3 Tuoreen betonin testauksen standardista poikkeaminen

Kappaleessa perehdytään neljään standardista poikkeavaan menetelmään tuoreen betonin koekappaleen valmistuksessa. Ensimmäisenä menetelmänä on 1,5 tunnin odotus, joka valikoitua tutkimukseen, jotta saadaan selville miten stabiilissa tilassa odotuttaminen vaikuttaa puristuslujuuden kehitykseen. Muotin runsas öljyäminen, sauvatärytys 3 x 20 sekuntia sekä sauvatärytys 1 x 5 sekuntia valikoituivat tutkimukseen sillä nämä ovat mahdollisia standardista poikkeamia kiireessä/huolimattomassa koekappaleen valmistuksessa. Kappaleen 3 menetelmien tarkoituksena on selvittää kuinka iso puristuslujuuden ero saadaan verrattuna standardien mukaiseen menetelmään. Näin ollen pystytään minimoimaan laborantin toimintatavan aiheuttamat lujuuserot.

3.1 Betonin odotuttaminen 1,5 tuntia

Betoni näytettä otettiin standardin SFS-EN 12350-1 (2019) mukaisesti 1,5 kertainen määrä betonia. Menetelmä valikoitua tutkimukseen, Tässä tutkimuksessa näytettä otettiin kottikärryihin suoraan sekoitinsäiliöautosta. Kottikärryt vietiin testauslaboratorioon, jossa ilman lämpötila oli noin 20 astetta. Näytteestä otettiin standardin SFS-EN 12350-2 (2019) mukaisesti painuma, SFS-EN 12350-7 (2019) mukaisesti ilmamäärät sekä vesi-sementtisuhde heti näytteenoton alussa, jotta saatiin varmuus, että näyte on halutunlaista. Painuma- ja ilmamäärämittauksen jälkeen näytteen annettiin olla kottikärryssä 20 asteen lämpötilassa 1,5 tuntia ennen koekappaleiden valmistusta. Standardin mukaisessa toimintatavassa näytteestä tehdään koekappaleet välittömästi painuma- ja ilmamäärämittauksen jälkeen.

Betonimassoiksi valikoitui P50 C55/67 S4-massa sekä NPB C35/45 S3-massa. P50-massa on säänkestävää infrabetonimassaa sekä lujuusluokka on korkealujuusbetonia. NPB on nopeammin päällystettävää betonia. Lujuudenkehitys ei ehdi alkaa vielä 1,5 tunnin kuluttua, mutta tutkimuksen

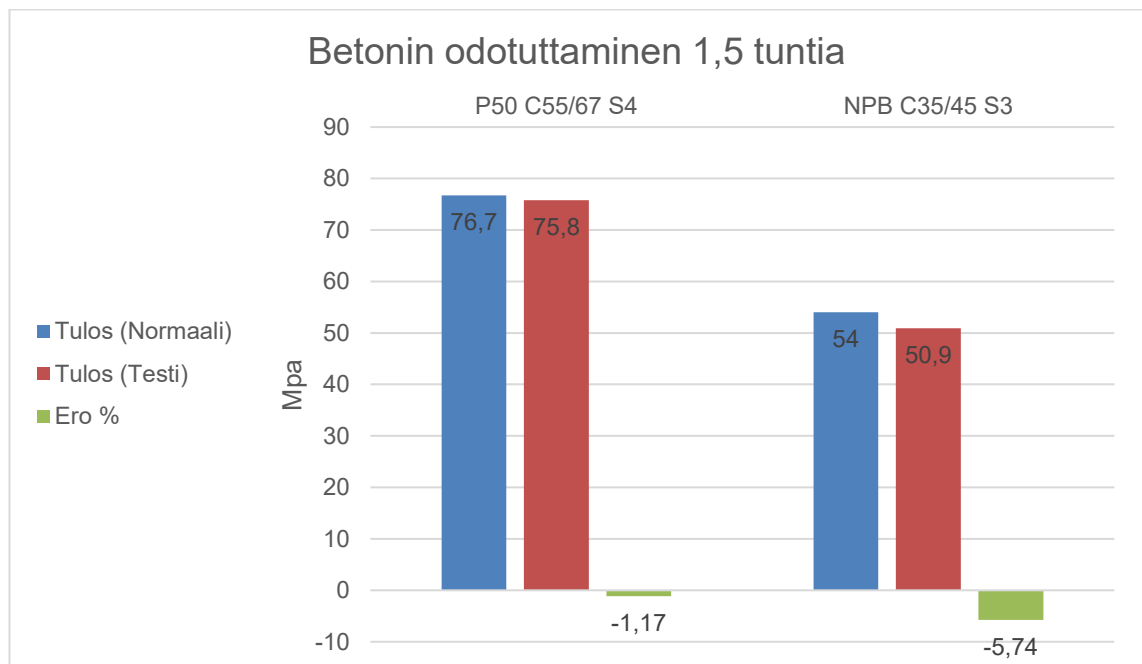
tavoitteena olikin selvittää onko betonin stabiilissa tilassa odotuttamisella vaikutusta puristuslujuuden kehitykseen. 1,5 tunnin jälkeen näytteestä mitattiin uudestaan painuma sekä ilmamäärä. Molempien massojen testien tulokset näkyvät taulukossa 5.

Taulukko 5. Alkutestauksen tulokset.

<i>Massa</i>	P50 C55/67 S4	NPB C35/45 S3
<i>Ilmamäärä 0 min</i>	3,4	3,8
<i>Ilmamäärä 90 min</i>	3	3,6
<i>Notkeus 0 min</i>	220	130
<i>Notkeus 90 min</i>	180	100

Testien jälkeen koekappaleet valmistettiin standardin SFS-EN 12390-2 (2019) mukaisesti. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää miten betoni massa käyttäytyy stabiilissa tilassa. Hypoteesina oli lujuuden huono kehitys, ja taulukossa 6 olevat tuloksen varmistivat hypoteesin oikeaksi.

Taulukko 6. Betonin odotuttaminen 1,5 tuntia.



P50:ssä massasta standardin mukaisesti tehdyissä koekappaleissa puristuslujuuden keskiarvoksi saatiin 76,7 MPa kun taas 1,5 tunnin odotuksen jälkeen puristuslujuuden keskiarvoksi saatiin 75,8 MPa. Puristuslujuuden eroa oli tällöin - 1,17 prosenttiyksikköä. P50-massan osalta ero ei ollut huomattava, mutta joissain tapauksissa muutaman prosenttiyksikön lujuusero voi olla merkittävä. Taulukkoon 5 viitaten tuloksen voi selittää vesi-sementtisuhteen ero, sillä massassa on haihtunut odotuksen aikana vettä. Näin ollen vesi-sementtisuhte on pienempi kuin heti muotin täytön jälkeen. Käytännössä vettä ei ole tarpeeksi sementinmäärään nähden, jotta saavutettaisiin tarvittavaa lujuutta.

NPB-massan standardin mukaisesti tehtyjen koekappaleiden puristuslujuuden tulokset olivat 54,0 MPa kun taas 1,5 tunnin odotuksen jälkeen puristuslujuuden keskiarvoksi saatiin 50,9 MPa. NPB-massan tuloksissa oli eroa - 5,74 prosenttiyksikköä, joka on jo huomattava ero. NPB-massan kanssa puristuslujuuden tulos oli alhaisempi odotuksen jälkeen, joka selittyy pienemmällä vesi-sementtisuhteella.

Tulokset osoittavat selkeästi että 1,5 tunnin odottaminen stabiilissa tilassa ei ole suotavaa puristuslujuuden kannalta vaan koekappaleet tulee tehdä välittömästi näytteenoton jälkeen. Suurin vaikuttava tekijä on veden haihtuminen massasta, sillä kottikärryssä haihtumispinta-ala on suurempi kuin koekappalemuotissa. Koekappalemuoteissa tapahtuu myös veden haihtumista, mutta sitä tapahtuu vähemmän pienemmän haihtumispinta-alan vuoksi.

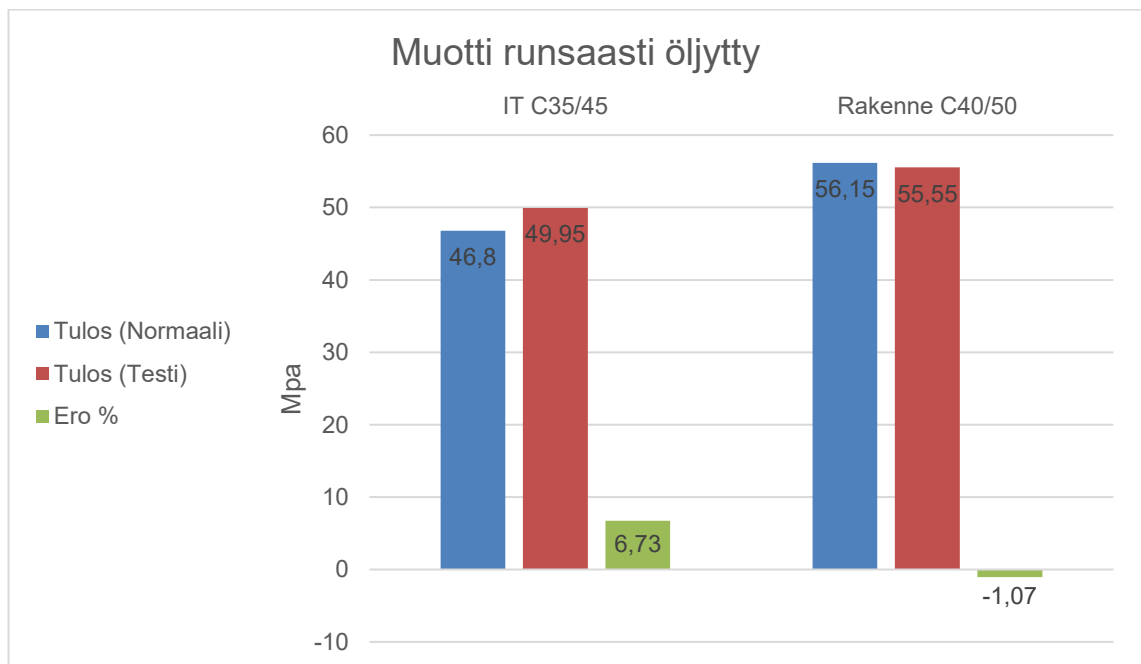
3.2 Muotti runsaasti öljytty

Toisena tutkimuksen kohteena oli muotin runsas öljyäminen. Standardissa SFS-EN 12390-2 (2019, 6) mukaan muotin sisäpinta tulee peittää ohuella kerroksella ei-reaktiivisella irrotusaineella. Tutkimuksessa poiketaan standardista niin että muotin sisäpinta öljytään runsaasti, niin että muotin pohjalle on kertynyt noin 2 mm:n kerros muottiöljyä.

Tähän tutkimuksen osa-alueeseen valikoitua massoiksi IT C35/45 sekä Rakenne C40/50. Hypoteesina oli, että muotin runsaan öljyämisen ei pitäisi vaikuttaa

huomattavasti puristuslujuuden kehitykseen, kun muottiöljynä käytetään ei-reaktiivista irrotusainetta. Toisaalta muotin täytön sekä sauvatärytyksen aikana muottiöljyä pääsee betonimassan joukkoon. Näin ollen veden ja sementin välissä voi olla muottiöljyä mikä estää kemiallisen reaktion syntymisen. Tutkimuksessa saatiin kuitenkin ristiriitaista tietoa, mikä havaitaan taulukosta 7.

Taulukko 7. Muotti runsaasti öljytty.



IT betonin standardin mukaisella tavalla tehdyillä koekappaleilla puristuslujuuden keskiarvoksi saatiin 46,8 MPa ja runsaasti öljytytyn muotin puristuslujuuden keskiarvoksi saatiin 49,95 MPa. Näin ollen prosentuaalinen ero oli + 6,73 %. Tulosta selittää mahdollisesti se, että muottiöljy auttoi osaltaan tiivistämään IT betonia, jolloin betonin joukkoon ei jäänyt huomattavia määriä ilmataskuja. Näin ollen puristuslujuutta saatiin lisää.

Rakennemassassa taas tulokset menivät toisin päin. Standardin mukaisella tavalla tehdyt koekappaleiden keskiarvoksi saatiin 56,15 MPa kun taas muotin runsaalla öljyamisellä keskiarvoksi tuli 55,55 MPa. Prosentuaaliseksi eroksi tuli - 1,07 %. Rakennemassan osalta ero ei ole huomattava, mutta ero ei ole testin hyväksi niin kuin IT betonin osalta on.

Ristiriitaisen tiedon kannalta olisi suotavaa suorittaa isompi otanta erilaisista massoista, jotta saadaan parempaa tietoa siitä miten runsas muotin öljyäminen vaikuttaa puristuslujuuteen. Tämän tutkimuksen osalta ei siis voida päätellä, lisääkö muottiöljy koekappaleen puristuslujuutta vai vähentääkö se puristuslujuutta.

3.3 Sauvatärytys 3 x 20 sekuntia

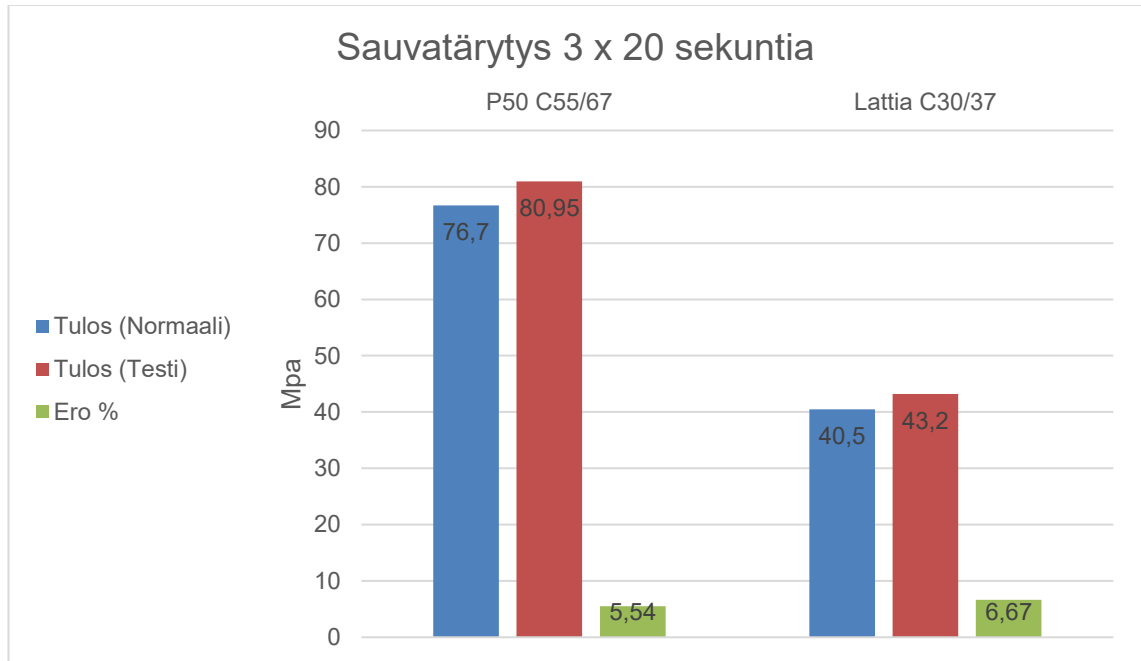
Testin tavoitteena oli saada selville onko liiallisella sauvatärytyksellä vaikutusta puristuslujuuteen. Standardissa SFS-EN 12390-2 (2019, 7) lukee seuraavasti: Käytetään lyhintä tärytysaikaa, joka tarvitaan betonin täydelliseen tiivistämiseen. On vältettävä liiallista tärytystä, joka voi poistaa betonista suojahuokosilmaa. Näin ollen jokaisella yrityksellä on omat käytäntönsä siitä mikä on tarpeellinen aika siihen, että betonimassa on täydellisesti tiivistetty. Massaa tulee täryttää niin ettei massa pääse erottumaan.

Näytteenoton yhteydessä mitattiin painuma sekä ilma (P50-massa). Muotti täytettiin normaaliin tapaan kolmessa erässä, mutta betonimassaa sauvatärytettiin kolmesta eri kohdasta 20 sekuntia per kohta. Hypoteesina oli, että betoni lähtee erottumaan, koska massaa sauvatärytetään mahdollisesti liikaa ja suojahuokosilma poistuu massasta. Varsinkin erottuminen heikentää puristuslujuutta sillä kiviaines vajoaa pohjalle, jolloin sementtipasta nousee pintaa. Niin kuin luvussa 2 todetaan sementin sekä veden aiheuttama kemiallinen reaktio liittää kaikki raaka-aineet yhtenäiseksi massaksi. Jos betoni pääsee erottumaan edellä mainitulla tavalla, vesi ja sementti eivät pääse kunnolla sitomaan kiviaineksia yhteen. Näin koekappale ei kestä yhtä paljon puristusta kuin normaalisti.

Testiin valittiin P50 C55/67-massa sekä Lattia C30/37-massa. P50massan tuotannossa on käytetty huokostinta, jonka vuoksi massassa on tavoiteilmamäärä 5 %. Mahdollinen liika sauvatärytys voi aiheuttaa massan erottumista. Massa ei kuitenkaan lähtenyt erottumaan, vaan pinta näytti normaalilta koko sauvatärytyksen ajan. Lattiamassa ei sisällä huokostinta, jolloin

ilmamäärä on 1–2 % välillä. Lattiamassalle tapahtui samalla tavalla kuin P50-massalle. Tulokset näkyvät taulukossa 8.

Taulukko 8. Sauvatärytys 3 x 20 sekuntia.



P50-massan standardin mukaisesti tehtyjen koekappaleiden puristuslujuuden keskiarvoksi tuli 76,7 MPa ja pidemmällä sauvatärytyksellä tehtyjen koekappaleiden puristuslujuuden tulokseksi saatiin 80,95 MPa. Prosentuaaliseksi eroksi tuli näin ollen + 5,54 %.

Lattiamassan osalta standardin mukaisten koekappaleiden keskiarvoksi saatiin 40,5 MPa ja pidemmällä sauvatärytyksellä tulokseksi saatiin 43,2 MPa. Prosentuaalinen ero testien välillä oli + 6,67 %.

Hypoteesi todettiin näillä kokeilla vääräksi, sillä molempien massojen tulokset olivat paremmat 20 sekunnin sauvatärytyksellä kuin normaalilla silmämääräisellä tarpeellisella ajalla. Tutkielman kannalta parempi kysymysasettelu olisi ollut "sauvatärytys kunnes massa alkaa erottua" jolloin olisi saatu tietoa, miten erottuminen vaikuttaa puristuslujuuteen. Tutkimuksessa saatiin vahingossa selville että 3 x 20 sekuntia oli juuri oikea määrä sauvatärytystä tutkimuksessa käytetyille massoille.

3.4 Sauvatärytys keskeltä 5 sekuntia

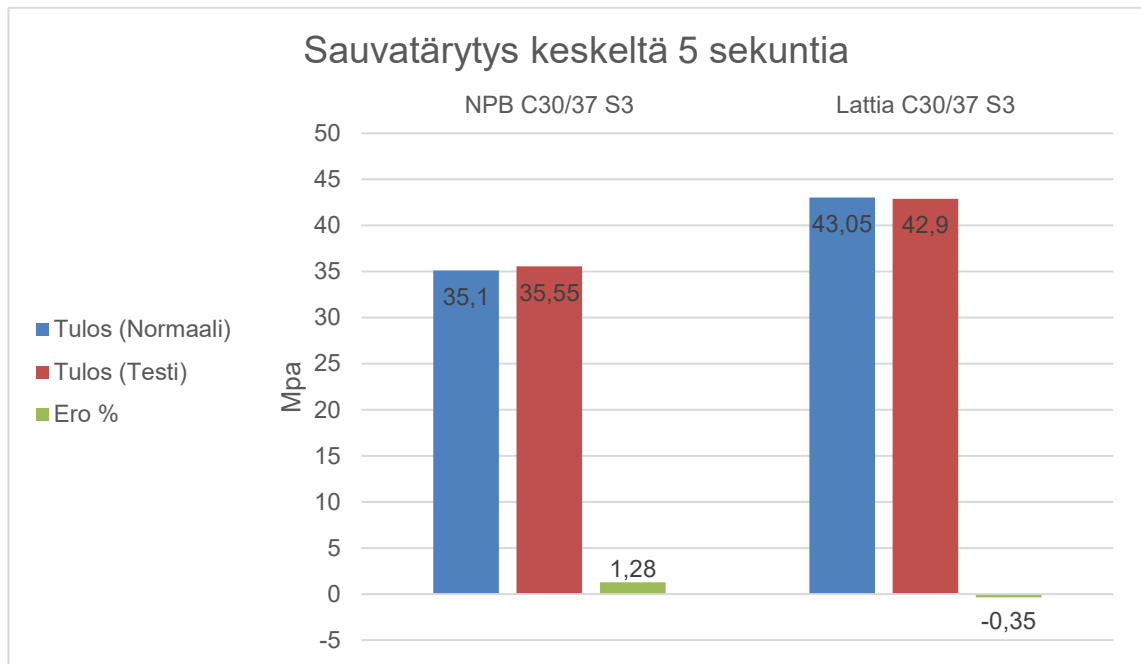
Edelliseen kokeeseen verrattuna sauvatärytystä vähennetään 1 x 5 sekuntiin, joka on vähemmän mitä sauvatärytetään normaalisti. Ennen kokeen aloittamista massoista mitattiin painumat sekä ilma (NPB), jonka jälkeen muotit täytettiin standardin SFS-EN 12390-2 (2019) mukaisesti kolmessa erässä. Kokeessa sauvatärytettiin massaa muotin keskeltä 5 sekuntia per erä normaalin 3 kertaa per erä sijaan.

Hypoteesina oli, että reunoille jää runsaasti ilmakuplia, kun sauvatäryä käytetään muotin keskellä. Näin ollen ilmakuplat eivät pääse nousemaan muotin pinnalle eli voidaan puhua alitärytyksestä. Liiallisten ilmakuplien määrä heikentää puristuslujuutta, sillä ilmakuplan päällä oleva kovettunut betoni ei pääse luovuttamaan puristusvoimaa alaspäin vaan antaa periksi. Massoiksi valikoitua NPB C30/37 S3-massa sekä Lattia C30/37 S3-massa.

NPB-massan normaalisti standardin mukaisesti tehtyjen koekappaleiden keskiarvoksi saatiin 35,1 Mpa ja vähemmällä sauvatärytyksellä tehtyjen koekappaleiden keskiarvoksi tuli 35,55 MPa. Prosentuaalinen ero on näin ollen + 1,28 prosenttia.

Lattiamassassa normaalisti standardin mukaisesti tehdyissä koekappaleissa puristuslujuudeksi saatiin 43,05 Mpa ja vähemmällä sauvatärytyksellä tehdyt koekappaleiden keskiarvoksi saatiin 42,9 MPa. Prosentuaalinen ero oli näin ollen - 0,35 %. Puristuslujuuden tulokset eroavat hyvin vähän toisistaan. Testit antoivat erilaista tietoa puristuslujuuden kehityksestä, joka näkyy taulukossa 9.

Taulukko 9. Sauvatärytys keskeltä 5 sekuntia.



Massojen välillä olevat tulokset eivät ole vertailukelpoisia keskenään, mutta NPB-massan kokeessa saatiin enemmän lujuutta, kun taas lattiamassassa lujuutta hävisi. Puristuslujuuden erot ovat hyvin pieniä, joten tuloksista ei voi päätellä miten sauvatärytyksen vähäinen määrä vaikuttaa puristuslujuuteen. Koe tulisi uusina isommalla otannalla, jotta saadaan varmuutta, miten massat käyttäytyvät vähäisemmällä sauvatärytyksellä. Näin ollen pystyttäisiin antamaan luotettavampaa tietoa siitä onko toimintatavalla vaikutusta. Tuloksesta olisi voinut tulla hypoteesinlainen, jos massoiksi olisi valittu jäykempiä, kuten S1 tai S2 massoja. Edellä mainitut painumaluokat olisivat saattaneet vaikuttaa puristuslujuuden tulokseen, sillä niistä ei mahdollisesti olisi poistunut ylimääräistä ilmaa tarpeeksi suoritettulla sauvatärytys ajalla.

4 Koekappale muotin täytön jälkeinen standardista poikkeaminen

Standardin SFS-EN 12390-3 (2019, 7) mukaan koekappaleet voidaan kuljettaa valmistuspaikasta varastointipaikkaan. Näin voidaan menetellä niin kauan kuin betoni on uudelleensekoituskelpoista. Edellytyksenä on, että koekappaleet suojataan kuivumiselta. (SFS-EN 12390-2, 2019, 7.) Seuraavissa kokeissa toinen näytepari kuljetetaan noin 10 kilometrin mittainen matka heti koekappaleen valmistuksen jälkeen ja 5 tuntia koekappaleen valmistuksen jälkeen. Kaikilla massoilla sekä molemmilla kokeilla ajettiin sama reitti samoilla nopeuksilla ja pysähdyksillä, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia ja tarvittaessa toistettavissa. Auton lämpötila pidettiin noin 20 asteessa, jotta suurta lämpötilan vaihtelua ei muodostunut. Ainut lämpötilan muutos tapahtui autoon ja autosta pois siirron aikana, mikä ei kuitenkaan kestänyt kuin, kun muutamia sekunteja. Koekappalemuotteina käytettiin samoja muotteja kuin muissakin kokeissa.

4.1 Muotin kuljetus heti täytön jälkeen

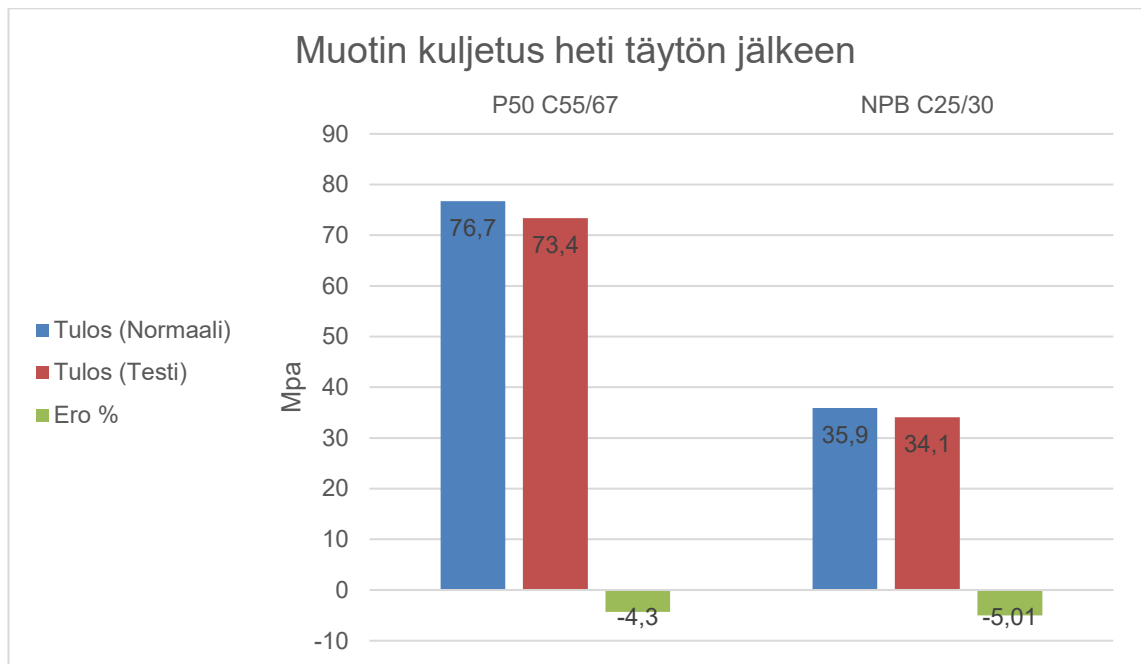
Ensimmäisen kokeen koekappaleet valmistettiin standardin SFS-EN 12390-2 (2019) mukaisesti, joka aloitettiin painuma sekä ilmamäärä mittauksilla molempien massojen osalta. Massoiksi valikoitui P50 C55/67-massa sekä NPB C25/30-massa, jotka molemmat sisältävät huokostinta. Automatkan aiheuttama tärinä voi aiheuttaa betonin erottumista. Erottuminen voi aiheuttaa tiivistysilman kertymisen ryppäisiin, kun taas normaalisti tiivistysilmaa on tasaisesti massassa. Hypoteeseina olikin, että puristuslujuuden arvo ei ole yhtä korkea kuin standardin mukaisesti valmistetulla massalla.

P50-massan standardin mukaisesti tehtyjen koekappaleiden puristuslujuudeksi saatiin 76,7 MPa ja heti kuljetettujen koekappaleiden puristuslujuudeksi saatiin 73,4 %. Näin ollen prosentuaalinen ero oli $-4,30$ %.

NPB-massan standardin mukaisesti valmistettujen koekappaleiden puristuslujuudeksi saatiin 35,9 MPa ja heti kuljetettujen koekappaleiden

puristuslujuudeksi saatiin 34,1 Mpa. Näin ollen prosentuaalinen ero oli -5,01 %. Kuten taulukosta 10 voidaan todeta, molempien massojen puristuslujuus on kuljetuksen jälkeen pienempiä kuin standardin mukaisella tavalla tehtyjen koekappaleiden.

Taulukko 10. Muotin kuljetus heti täytön jälkeen.



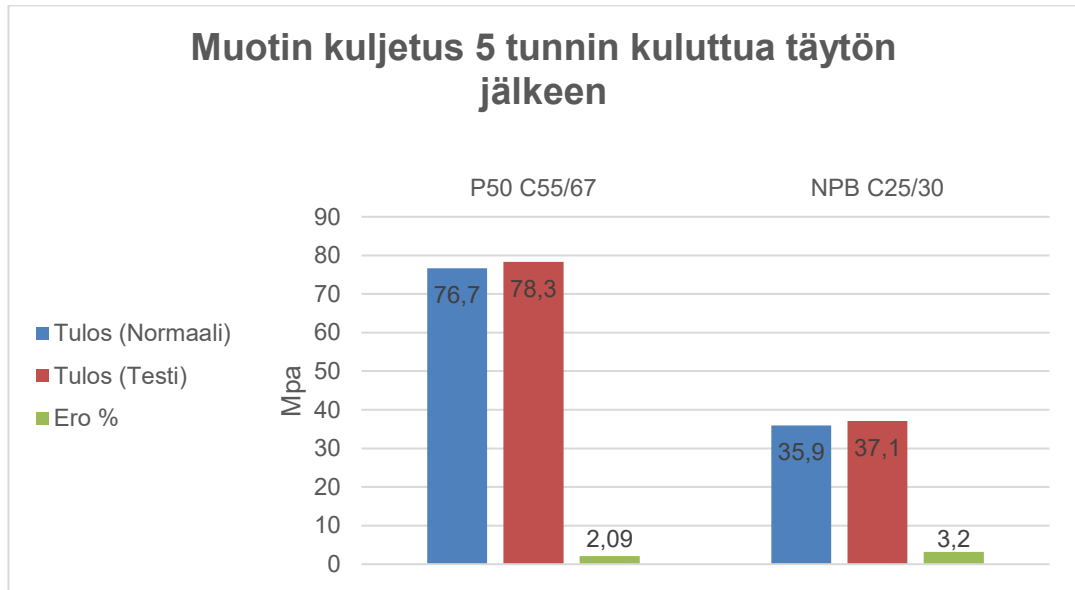
Tuloksen voi mahdollisesti selittää se, että auton värinä on aiheuttanut betonin erottumista. On siis suositeltavaa, että suhteellisen pitkällä kuljetusmatkoilla betoni kuljetetaan erillisessä astiassa kuten ämpärissä ja muotit täytetään vasta perille saavuttaessa, jolloin muotit pystytään sauvatäryttämään.

4.2 Muotin kuljetus 5 tunnin kuluttua täytön jälkeen

Koekappaleet valmistettiin standardin SFS-EN 12390-2 (2019) mukaisesti. Muotteja kuljetettiin samaa reittiä mitä kohdassa 5.1 ajettiin eli noin 10 kilometrin mittainen matka. Betonimassoiksi valikoitui samat massa kuin kappaleessa 5.1, jotta tuloksia pystytään vertailemaan myös keskenään. Betonimassoina käytettiin siis P50 C55/67-massaa sekä NPB C25/30-massaa. Hypoteesina on heikompi puristuslujuus, sillä noin 5 tunnin kuluttua muotin täytöstä veden ja sementin

kemiallinen reaktio (hydrataatio) on jo hyvässä vauhdissa, ja kuljetus voi häiritä tätä prosessia. Kuljetuksen aikana veden ja sementin välinen sidos voi antaa periksi, jolloin kemiallinen reaktio häiriintyy tai jopa pysähtyy. Taulukossa 11 näkyy puristuslujuuden tulokset.

Taulukko 11. Muotin kuljetus 5 tunnin kuluttua täytön jälkeen.



P50-massan standardin mukaisesti valmistetuilla koekappaleilla puristuslujuudeksi saatiin 76,7 MPa ja 5 tunnin kuluttua kuljetetuilla koekappaleilla puristuslujuudeksi saatiin 78,3 MPa. Näin ollen prosentuaalinen ero oli + 2,09 MPa. Tulos oli päin vastainen, kun hypoteesissa oletettiin. Lujutta oli tullut melkein 2 MPa lisää normaaliin toimintatapaan nähden.

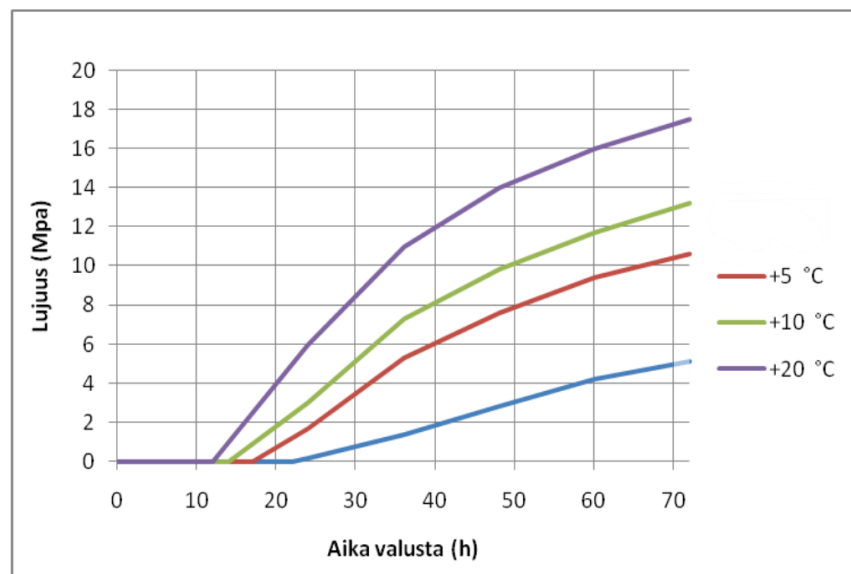
NPB-massan standardin mukaisella toimintatavalla koekappaleiden puristuslujuudeksi saatiin 35,9 Mpa ja 5 tunnin kuluttua kuljetetuilla koekappaleilla puristuslujuudeksi saatiin 37,1 Mpa. Näin ollen prosentuaalinen ero oli + 3,20 %. Tutkimus ei mennyt hypoteesin mukaan vaan molemmille massoille tuli lisää puristuslujuutta kuljetuksen johdosta. Tulos voi johtua veden ja sementin välisen sidoksen paikan vaihtamisella tärinän johdosta. Voi siis olla mahdollista, että tärinän vuoksi vesi-sementtisidokset pääsevät kiertämään kiviaineksen ympärille efektiivisemmin, kun ilmaraot nousevat pintaa kohti.

5 Kovettuneen betonin säilytyksen olosuhteet

Standardin SFS-EN 12390-2 (2019) mukaisesti koekappaleita tulisi säilyttää testaukseen asti 20 asteisessa vedessä. Seuraavissa kokeissa koekappaleita säilytetään 10 sekä 30 asteisessa vedessä ja tuloksia verrataan normaaleissa olosuhteissa säilytettyihin koekappaleisiin. Viimeinen tutkimuksen kohde on muotissa säilytys 28 päivää. Standardissa SFS-EN 12390–2 (2019, 7) todetaan että koekappaleiden annetaan olla muoteissa vähintään 16 tuntia, mutta maksimissaan 3 vuorokautta eli viikonlopun yli. Kappaleessa 5.2 perehdytään tarkemmin lujuuden kehityksen muotissa säilytyksen aikana.

5.1 Koekappaleen vesialtaassa säilytyksen aikaiset olosuhteet

Kuvassa 7 on esitetty ohjeellinen lujuuden kehitys eri lämpötiloissa C30/37 16 mm massan osalta. Lujuuden kehitykseen eri lämpötiloissa vaikuttaa suuresti sementin määrä sekä laatu betonimassassa. Kuvasta 7 näkyy selkeä ero 70 tunnin aikana standardin mukaisessa lämpötilassa (20 astetta) sekä esimerkiksi + 10 asteen lämpötilassa. Puristuslujuuden eroa on noin 4 Mpa.

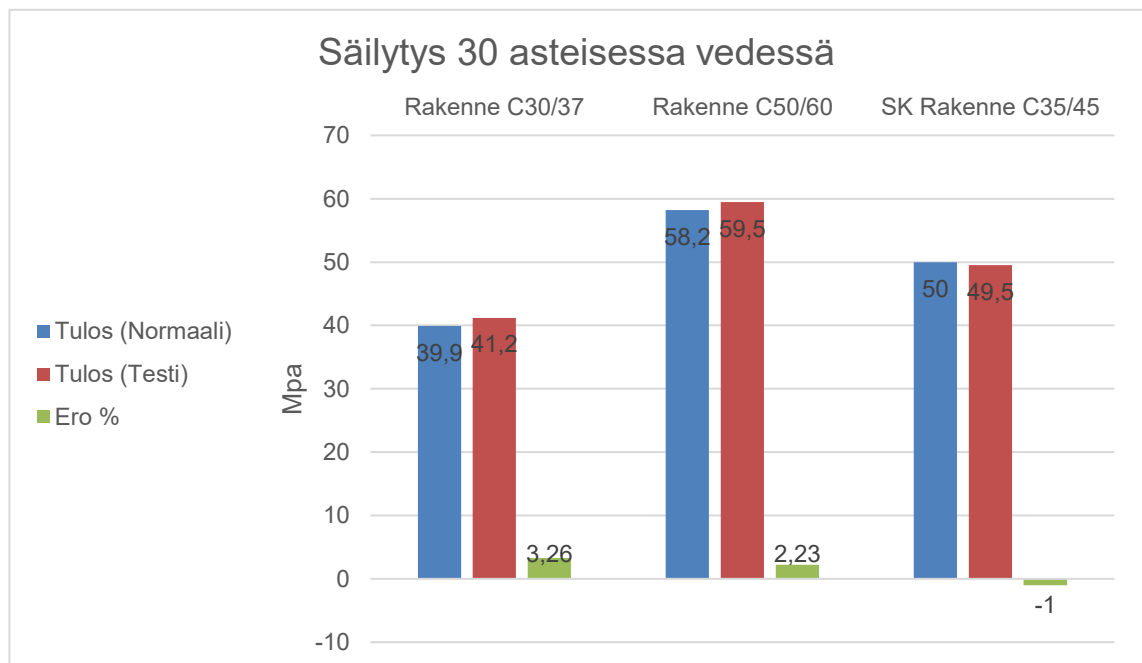


Kuva 6. Lujuudenkehitys eri lämpötiloissa (Hämäläinen & Manninen 2011).

5.1.1 Säilytys 30-asteisessa vedessä

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten 10 astetta korkeampi lämpötila vaikuttaa koekappaleen lujuuden kehitykseen. Veden lämpötilaa seurattiin lämpötilaloggerin avulla, jotta varmistuttiin että lämpötila pysyy 30 asteen paikkeilla koko 28 päivän ajan. Hypoteesina on, että lujuutta kehittyy enemmän kuin 20 asteisessa vedessä. Tutkimukseen valikoitui seuraavat massat: Rakenne C30/37, Rakenne C50/60 sekä SK Rakenne C35/45. Taulukossa 12 on esitetty tutkimustulokset.

Taulukko 12. Säilytys 30 asteisessa vedessä.



Rakenne C30/37-massan normaalissa 20 asteen altaassa säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuuden keskiarvoksi saatiin 39,9 MPa ja 30 asteisessa vesialtaassa säilytettyjen koekappaleiden keskiarvoksi saatiin 41,2 MPa. Näin ollen prosentuaalinen ero oli +3,26 %. Ero ei ole merkittävän suuri.

Rakenne C50/60 on korkealujuus betonia, jossa on käytetty tavanomaista enemmän sementtiä, joka nostaa betonimassan lämpötilaa. Sementin vaikutus lämpötilan nousuun selittyy sementin ja veden kemiallisella reaktiolla, joka tuottaa lämpöä. Joten mitä enemmän sementtiä massassa on sitä korkeammaksi

betonimassan lämpötila nousee. Kuitenkin näin pienissä koekappaleissa lämpötila ei pääse nousemaan huomattavan suureksi. Normaalissa 20 asteen vesialtaassa olleiden koekappaleiden lujuuden keskiarvoksi saatiin 58,2 MPa ja 30 asteisessa vesialtaassa säilytettyjen koekappaleiden lujuuden keskiarvoksi saatiin 5,5 MPa. Näin ollen prosentuaalinen ero oli + 2,23 %. 30 asteisen veden vaikutus ei kuitenkaan vaikuttanut merkittävästi lujuuden kehitykseen. Selityksenä voi olla jo edellä mainittu nopea lujuuden kehitys normaaleissakin olosuhteissa.

SK Rakennemassa tulokset poikkeavat kahden edellisen kokeen tuloksista. Normaalissa 20 asteen vesi altaassa säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuuden keskiarvoksi saatiin 50,0 MPa ja 30 asteisessa vedessä säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuuden keskiarvoksi saatiin 49,5 MPa. Näin ollen prosentuaalinen ero oli -1,00 %.

Tutkimuksessa ei tullut isoja lujuuseroja normaalien ja testi koekappaleiden välillä. Pienissä koekappaleissa lämpötilan aiheuttama lujuudenkehitys ei ole merkittävää toisin kuin esimerkiksi isommissa rakenteissa, jossa korkeampi lämpötila kiihdyttää lujuudenkehitystä.

5.1.2 Säilytys 10 asteisessa jääkaapissa

Kappaleessa perehdytään 10 asteisessa jääkaapissa säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuuden kehitykseen. Vertailuna käytetään Sadgroven määrittämää lujuuden arvoa. Betonin lujuuden kehitystä pystytään laskemaan esimerkiksi Sadgroven kaavalla seuraavasti:

$$t_{20} = \sum_t^n \left(\frac{T + 16^{\circ}\text{C}}{36^{\circ}\text{C}} \right)^2 * t \quad (3)$$

jossa,

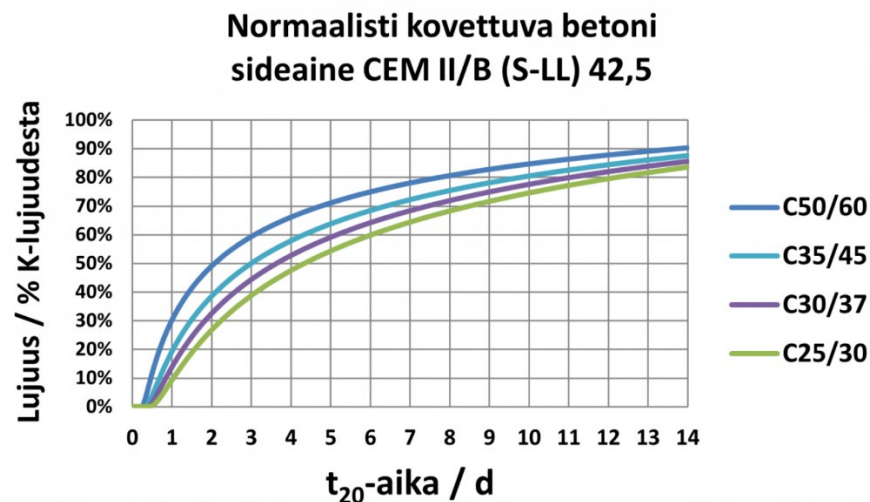
T on betonin lämpötila aikana t ($^{\circ}\text{C}$)

t on kovettumisaika (vrk)

t_{20} arvo saadaan kaaviosta, jossa on esitetty sementistä valmistetun betonin lujuudenkehitys kypsyysiän funktiona. Laskentaa varten tulee valita oikeaa sementtiä sisältävä kaavio. Jos oletetaan että lämpötila olosuhteet on pysynyt keskiarvolta 10 asteessa koko 28 päivän ajan ja massaksi C30/37. Näin ollen voidaan laskea lujuuden arvo seuraavasti:

$$t_{20} = \left(\frac{10+16}{36}\right)^2 * 28 = 14,6 \text{ d.}$$

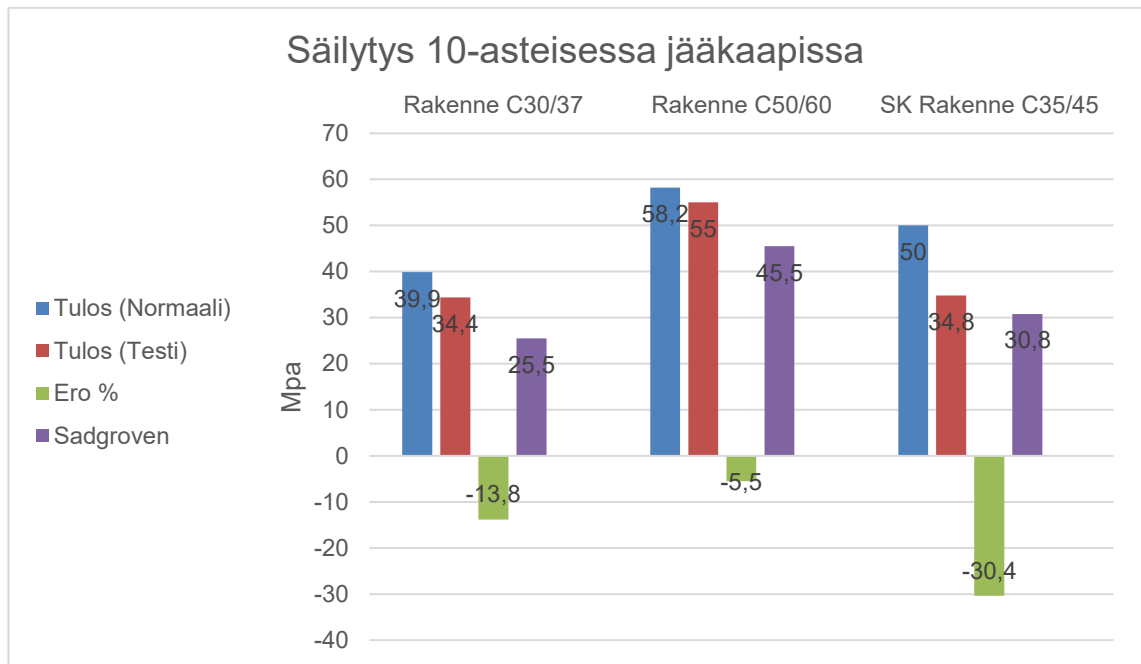
Kuvasta 8 saadaan t_{20} kohdalta lujuuden % arvoksi noin 85 %. Joten 10 asteisessa vesialtaassa lujuutta on kehittynyt 28 päivän aikana noin 25,5 Mpa. Kappaleessa verrataan saatuja tuloksia Sadgroven menetelmässä saatuihin tuloksiin.



Kuva 7. Lujuuden kehitys sideaine CEM II/B (S-LL) (Betonitieto, Betonin lujuudenkehitys).

Muottien purun jälkeen koekappaleet sijoitettiin 28 päiväksi 10-asteisessa vedessä. Veden lämpötilaa seurattiin lämpötilaloggerin avulla, jotta varmistuttiin että lämpötila pysyi 10 asteen paikkeilla. Kokeisiin valikoituivat samat massat kuin 30 asteen lämpöisessä vedessä tehtyyn tutkimukseen. Massat olivat siis Rakenne C30/37, Rakenne C50/60 sekä SK Rakenne C35/45. Taulukossa 13 on esitettyä jokaisen massan tulokset sekä vertailu Sadgroven menetelmällä saatuun laskennalliseen tulokseen.

Taulukko 13. Säilytys 10-asteisessa jääkaapissa



Rakenne C30/37-massan normaalissa 20 asteen lämpötilassa säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuudeksi saatiin 39,9 MPa kun taas 10 asteisessa jääkaapissa säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuudeksi saatiin 34,4 MPa. Näin ollen prosentuaalinen ero oli -13,8 %. Lujuudenkehitys on hyvin heikkoa 10 asteisessa vedessä.

Rakenne C50/60-massan lujuudenkehitys on huomattavasti suurempi prosentuaalisesti kuin edellisellä Rakenne C30/37-massalla. 20 asteisessa vesialtaassa säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuuden keskiarvoksi saatiin 58,2 MPa ja 10 asteisessa jääkaapissa säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuudeksi saatiin 55,0 MPa. Näin ollen prosentuaalinen ero oli - 5,5 %. Lujuudenkehityksen ero ei ole kovin suuri.

SK Rakennemassan 20 asteisessa vesialtaassa säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuuden keskiarvoksi saatiin 50,0 MPa ja 10 asteisessa jääkaapissa säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuudeksi saatiin 34,8 MPa. Näin ollen prosentuaalinen ero oli -30,4 %. Olosuhteiden väliset erot ovat hyvin suuria,

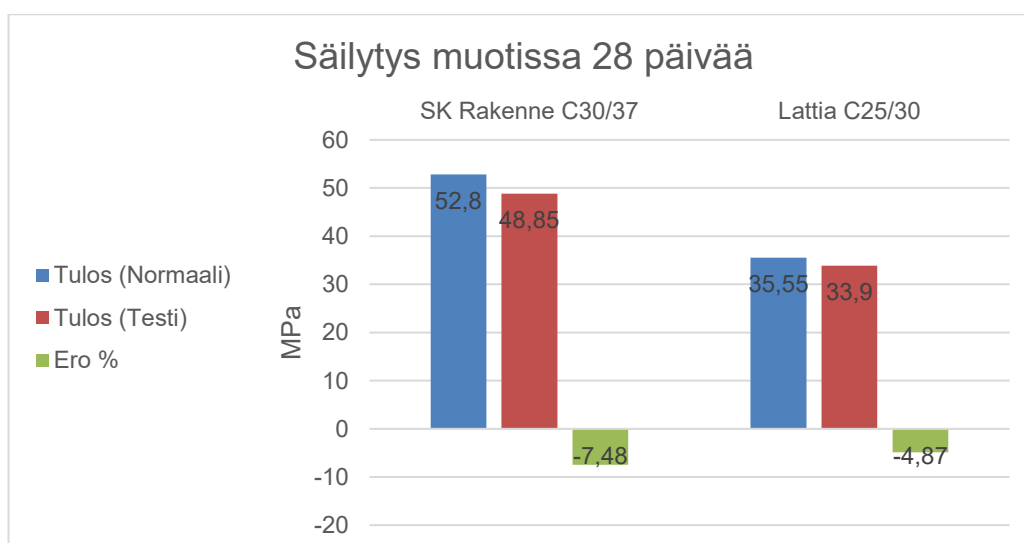
lujuudenkehityksen eroa on syntynyt noin 1/3 jääkaapissa säilytetyillä koekappaleilla.

Tutkimuksen pohjalta voidaan todeta että 10 asteen lämpöisessä vedessä säilytettyjen koekappaleiden lujuudenkehitys on hitaampaa kuin normaalissa 20 asteen vesialtaassa. Veden ja sementin kemiallinen reaktio tarvitsee ja myös tuottaa lämpöä. Koekappaleiden koko on pieni siihen nähden, että koekappaleet tuottaisivat huomattavia määriä lämpöä. Näin ollen lujuudenkehitys hidastuu.

5.2 Säilytys muotissa 28 päivää

Standardista SFS-EN 12390-2 (2019, 7) muotti suositellaan purettavan maksimissaan 3 päivän ikäisenä. Viimeisenä tutkimuksen kohteena on koekappaleen säilytys muotissa 28 päivän ajan. Kun koekappaleita säilytetään 20 asteisessa vedessä betonin jälkihoito on optimaalista. Vedessä säilytyksen aikainen jälkihoito sisältää veden haihtumisen hidastamisen. Tutkimukseen valikoitui massoiksi SK Rakenne C30/37-massa sekä Lattia C25/30-massa. Taulukossa 14 on esitetty miten muotissa säilytys vaikuttaa puristuslujuuden kehitykseen.

Taulukko 14. Säilytys muotissa 28 päivää.



SK Rakennemassan normaalissa standardin mukaisella toimintatavalla säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuudeksi saatiin 52,8 MPa ja muotissa säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuudeksi saatiin 48,85 MPa. Näin ollen prosentuaalinen ero oli – 7,48 %.

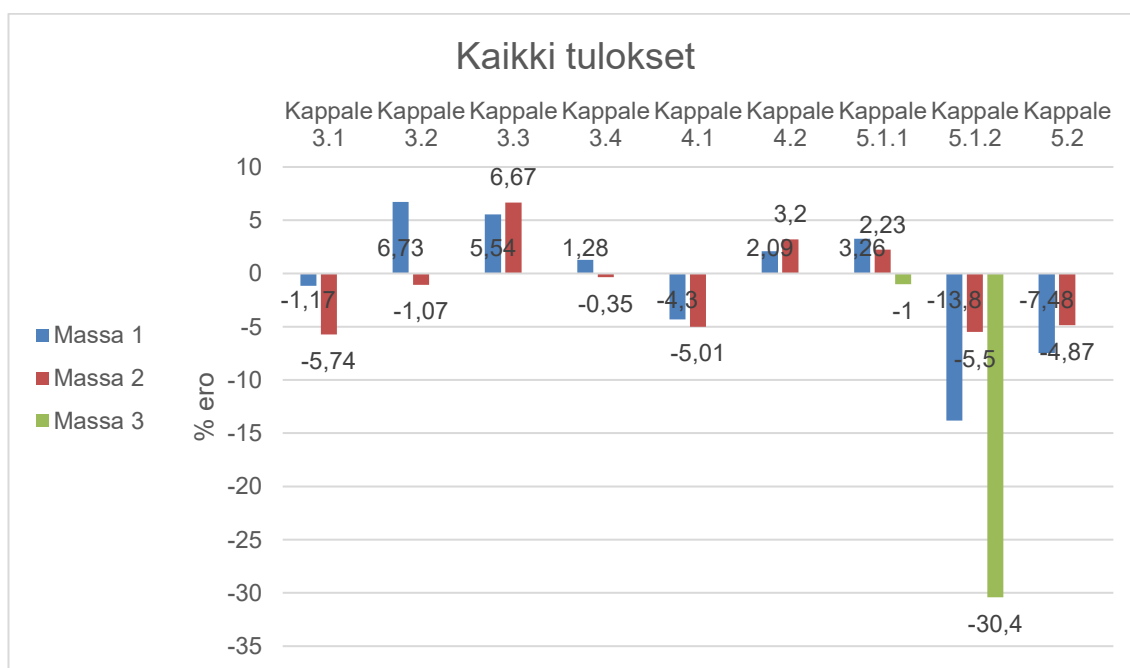
Lattiamassan standardien mukaisilla toimintatavoilla säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuudeksi saatiin 35,55 MPa ja muotissa säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuudeksi saatiin 33,9 MPa. Näin ollen prosentuaalinen ero oli – 4,87 %.

Lujuuden kehityksen vähyyteen vaikuttaa ei optimaalinen jälkihoito. Vesialtaassa säilytettyjen koekappaleiden veden haihtuminen on pienempää, sillä koekappaleen ympärillä oleva vesi estää liiallisen veden haihtumisen. Veden haihtuessa sementti ei pysty reagoimaan laskennallisesti oikean vesimäärän kanssa, jolloin lujuutta ei pääse syntymään tarpeeksi.

6 Tulokset ja johtopäätökset

Opinnäytetyössä oli mukana 9 erilaista koekappaleen valmistus menetelmää, jotka poikkesivat standardeista. Kokonaisuudessaan tutkimustulokset olivat suhteellisen hyvin pääteltävissä ennakkoon. Kuitenkin tutkimuksen otanta oli hyvin pieni sillä koekappaleita valmistettiin 2 kappaletta per tutkittava aihe. Seuraavissa luvuissa esitetään tutkimuksen tulokset sekä mahdolliset seuraavat askeleet. Taulukossa 15 on koottuna kaikkien tutkimuksen osa-alueiden tulokset prosentti eroina.

Taulukko 15. Kaikki tulokset.



Näistä kymmenestä tutkimuksen kohteesta kahdella toimintatavalla saatiin puristuslujuuden arvoksi korkeampi tulos kuin standardin mukaan valmistetulla ja säilytetyllä koekappaleella. Tutkielman korkeampia puristuslujuuden tuloksia saatiin luvuissa 3.3 Sauvatärytys 3 x 20 sekuntia sekä 4.2 Muotin kuljetus 5 tunnin kuluttua täytön jälkeen. Kappaleen 3.3 tulos osoittaa, että tutkimuksessa käytettyjen massojen sauvatärytys aika oli optimaalisempi kuin testajaan käyttämä silmämääräinen arvio. Testiä on suhteellisen vaikea toistaa sillä jokaisen testajaan silmämääräinen avio voi olla erilainen kuin toisen. Tuloksessa

tulee ottaa huomioon, että jokainen massa on erilainen, joten ne vaativat eri määrän sauvatärytystä. Testejä voisi jatkaa vielä erilaisilla massoilla, kuten esimerkiksi 8 mm maksimiraekoon massoilla. Kappaleen 4.2 tulokset eli korkeampi puristuslujuuden kehitys voivat johtua jo tekeytyneen veden ja sementin sitkon liikkumisella optimaalisempaan kohtaan kuljetuksen aikana. Voi siis olla mahdollista, että kuljetuksen aikana ilmaraot ovat väistyneet tai nousseet ylöspäin, jolloin hydrataatio on päässyt tapahtumaan paremmin kiviaineksen ympärille.

Neljällä tutkimusmenetelmällä saatiin alhaisempia puristuslujuuden tuloksia kuin standardin mukaan valmistetuilla koekappaleilla. Kyseiset tutkimuksen osa-alueet ovat luvussa 3.1 Betonin odotuttaminen 1,5 tuntia, 4.1 Muotin kuljetus heti täytön jälkeen, 5.1.2 Säilytys 10+ asteisessa jääkaapissa sekä 5.2 Säilytys muotissa 28 päivää. Kappaleessa 3.1 Betonin odotuttaminen 1,5 tuntia esitetty toimintatapa heikensi puristuslujuuden kehitystä molemmilla massoilla. Todennäköisintä on, että veden liiallisella haihtumisella on vaikutusta tutkimustulokseen, jolloin sementin ja veden reaktio jää vajaaksi vähäisen veden määrän vuoksi. Kappaleen 4.1 tulokset olivat alhaisempia, mahdollisesti ajomatkan aikana tapahtuneen erottumisen takia. Onkin tärkeää kuljettaa betonia erillisessä astiassa ja suorittaa koekappale muottien täyttö vasta määrän päässä, jolloin betonimassa voidaan vielä sekoittaa. Kappaleessa 5.1.2 puristuslujuuden tulokset olivat huomattavasti heikommat 10 asteisessa vedessä säilytetyillä koekappaleilla. Onkin siis hyvin tärkeää, että koekappalealtaan lämpötilaa seurataan tarkasti, jotta lämpötila pysyisi standardin mukaisessa 20 asteessa. Kappaleen 5.2 muotissa säilytyksen aikaiset olosuhteet eivät takaa optimaalista jälkihoitoa, joka vaikuttaa suhteellisen paljon puristuslujuuden kehitykseen.

Massasta riippuen ristiriitaisia tuloksia saaneita tutkimuksen osa-alueita olivat 3.2 Muotti runsaasti öljytty, 3.4 Sauvatärytys keskeltä 5 sekuntia, 5.1.1 Säilytys 30 asteisessa vedessä. Kappaleessa 3.2 saatujen tulosten pohjalta, muotin runsas öljyminen vaikutti positiivisesti IT betoniin, mutta hieman negatiivisesti rakennemassaan. Erot voivat johtua massojen tärytys eroista, sillä IT betonia ei sauvatärytetä lainkaan. Muottiöljyn liiallisesta käytöstä tulisi suorittaa lisätestejä,

jotta saadaan varmuutta sille parantaako vai häiritseekö liiallinen käyttö puristuslujuuden kehitystä. Kappaleessa 3.4 käytetyllä 5 sekunnin sauvatärytys ajalla ei ollut suurta merkitystä puristuslujuuden kehityksen kannalta, mutta tuloksista tuli silti ristiriitaisia. Kappaleessa 5.1.1 saatujen tulosten pohjalta 30 asteisessa vedessä säilytettyjen koekappaleiden puristuslujuus joissain massoissa kasvaa, mutta ei merkittävästi.

Otanta on ollut suhteellisen pieni jokaisessa tutkimuksen osa-alueessa. Koekappaleissa esiintyy välillä hajontaa samalla massalla, joten lisätutkimuksissa otantaa tulisi laajentaa esimerkiksi viidelle eri betoni kuormalle ja jokaisesta tehtäisiin kuusi koekappaleita. Näin otanta olisi parempi. On suotavaa laajentaa jokaista tutkimuksen osa-aluetta muille massoille, jotta saadaan parempaa tietoa puristuslujuuden muutoksista. Laajemman tutkimuksen jälkeen voidaan tarttua puristuslujuuden poikkeamiin helpommin, kun on jo tiedossa mikä menetelmä vaikuttaa puristuslujuuteen esimerkiksi heikentävästi. Tällöin voidaan perehtyä näytteenottajan kanssa uudestaan standardiin ja saada selville mahdollinen poikkeaminen tästä standardista, joka aiheuttaa puristuslujuuden huonoja tuloksia.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kuinka paljon vaikutusta on standardista poikkeavilla menetelmillä. Tavoitteena oli havainnollistaa, miten eri menetelmät vaikuttavat puristuslujuuden kehitykseen ja miksi on tärkeää noudattaa standardien mukaisia toimintatapoja. Osalla tutkimusmenetelmillä oli suuri vaikutus puristuslujuuden kehitykseen, mikä ei ole suotavaa. Onkin tärkeää noudattaa standardeja ja ohjeistuksia. Inhimillisiä virheitä tapahtuu ja sen vuoksi onkin hyvin tärkeää merkitä mahdolliset toimintatavan poikkeamat tietojärjestelmään, jotta pystytään ottamaan huomioon mahdolliset puristuslujuuden poikkeamat.

Kokonaisuudessaan tutkimus antoi halutunlaisia tuloksia, vaikka otanta olikin suhteellisen pieniä. Tulosten pohjalta pystytään lähtemään tekemään lisää tutkimuksia sekä mahdollisesti tarkentamaan tutkimuskysymyksiä, kuten kappaleen 3.3 Sauvapärytys 3 x 20 sekuntia voitaisiin vaihtaa ”Sauvapärytys

siihen asti, että massa erottuu”. Kokonaisuudessaan tutkimus oli kuitenkin onnistunut sekä toistettavissa.

Oppimisen tavoitteet toteutuivat tutkimuksen aikana sillä tutkimuksessa tuli perehtyä moniin standardeihin sekä ohjeistuksiin. Tutkimuksen aikana pääsi syvällisemmin miettimään miksi laadunvalvontaa tehdään ja millaisia vaikutuksia huolimattomalla toteutuksella on. Tulevaisuudessa tutkimuksen ansiosta pystyn varmemmalla otteella tekemään tarvittavia ratkaisuja laadunvalvonnassa sekä lähtemään tutkimaan lisää haluttuja tutkimuksen osa-alueita, kun menetelmät ovat jo tuttuja.

Lähteet

Betonitieto n.d.a. Betonin koostumuksen määrittäminen. Viitattu 27.04.2025.

<https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/betonin-valmistus/betonin-suhteitus.html#Fluku>

Betonitieto n.d.b. Betonin lujuudenkehitys. Viitattu 29.04.2025.

<https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-ominaisuudet-ja-valinta/kovettuneen-betonin-ominaisuudet/betonin-lujuudenkehitys.html>

Betonitieto n.d.c. Betonin notkeus. Viitattu 13.04.2025.

<https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-ominaisuudet-ja-valinta/tuoreen-betonimassan-ominaisuudet/notkeus.html>

Betonitieto n.d.d. Betonin puristuslujuus betoniperheittäin. Viitattu 13.04.2025.

<https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-valmistus/valmistuksen-laadunvalvonta/betonin-puristuslujuuden-vaatimuksenmukaisuuden-osoittaminen.html#otoskeskihajonta>

Betonitieto n.d.e. Betonisanasto. Viitattu 11.04.2025.

<https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto.html>

Betonitieto n.d.f. Laadunvalvonta tehtaalla. Viitattu 14.04.2025.

<https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/laadunvalvonta/laadunvalvonta-tehtaalla.html>

Betoniteollisuus ry. Betonielementtien talvisaumausohje. Viitattu 15.4.2025.

Johansson, K. 2025. Betoniyhdistys. Betonin lujuuden kehityksen seuranta.

Viitattu 14.04.2025. <https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssit/betonilaborantti-ja-myllari/betonin-lujuudenkehityksen-seuranta.pdf>

Hämäläinen, J. & Manni, P. 2011. Betonin lämmittäminen talvivaluissa. Rudus Oy. Viitattu 29.04.2025.

<https://www.rudus.fi/Download/23944/Betonin%20l%C3%A4mmitt%C3%A4minen%20talvivaluissa.pdf>

SFS 7003. 2022. Betonikiviaineksilta eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 1008. 2002. Betonin valmistukseen käytettävä vesi. Näytteenotto, testaus ja veden soveltuvuuden arviointi betonin valmistukseen, mukaan lukien betoniteollisuuden prosesseista talteen otettu vesi. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12350-1. 2019. Tuoreen betonin testaus. Osa 1: Näytteenotto ja testauslaitteet. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12350-2. 2019. Tuoreen betonin testaus. Osa 2: Painuma. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12350-6. 2019. Testing fresh concrete. Part 6: density. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12350-7. 2019. Tuoreen betonin testaus. Osa 7: Ilmamäärä. Painemenetelmät. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12390-1. 2021 EN. Testing hardened concrete. Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12390-2. 2019. Kovettuneen betonin testaus. Osa 2: Koekappaleiden valmistus ja säilytys lujuustestejä varten. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12390-3. 2019. Testing hardened concrete. Part 3: Compressive strength of test specimens. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12390-4. 2019. Testing hardened concrete. Part 4: Compressive strength. Specification for testing machines. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12390-7. 2019/AC 2020. Testing hardened concrete. Part 7: Density of hardened concrete. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12620 +A1. 2002. Betonikiviainekset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 13263-1. 2005. Betoniin käytettävä silika. Osa 1: Määritelmät, vaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 14889-1. 2006. Fibres for concrete. Part 1: Steel fibres. Definitions, specifications and conformity. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 14889-2. 2006. Fibres for concrete. Part 2: Polymer fibres. Definitions, specifications and conformity. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 15167-1. 2006. Betoniin, laastiin ja juotoslaastiin käytettävä jauhettu granuloitu masuunikuona. Osa 1: Määritelmät, vaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 197-1. 2011. Sementti. Osa 1: Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 206. 2014. Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 450-1 2012 Betoniin käytettävä lentotuhka. Osa 1 määritelmät, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 934-1. 2008. Betonin, laastin ja juotoslaastin lisäaineet. Osa 1: Yhteiset vaatimukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 934-2 + A1. 2009. Betonin, laastin ja injektointilaastin lisäaineet. Osa 2: Betonin lisäaineet. Määritelmät, vaatimukset, vaatimuksenmukaisuus ja merkintä. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.

Väylävirasto. 2020. Infrabetonin valmistus. Viitattu 13.04.2025.
https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-41_infrabetonien_valmistus_web.pdf