

Betonin lujuus ja mitä tiheys kertoo betonista

**Betonilaborantti- ja myllärikurssi,
31.1.2024
Kim Johansson**

*Kim Johansson
Erityisasiantuntija , DI
Suomen Betoniyhdistys ry*



Betonin lujuuden määrittäminen

- ▶ Betonin lujuus määritetään asianomaisia standardeja noudattamalla
- ▶ Standardeilla ohjataan näytteenottoa, koekappaleiden valmistusta, muotteja, koekappaleiden säilytystä ja testausta
- ▶ Jokaisessa vaiheessa tulee noudattaa standardeja ja vakioituja työmenetelmiä
- ▶ Saatu lujuusarvo voi vaihdella hyvin paljon jos standardeja ei noudateta
- ▶ Pelkästään koekappaleen valmistuksessa saadaan aikaan useamman MPa ero lujuudessa (esim. tiivistys erilaista eri henkilöillä)

Betonin lujuuden määrittäminen

- ▶ Betonierä testataan seuraavien standardien mukaisesti:
 - SFS-EN 12390-1 Tuoreen betonin testaus. Osa 1: Näytteenotto
 - SFS-EN 12390-2 Kovettuneen betonin testaus. Osa 2: Koekappaleiden valmistus ja säilytys lujuustestejä varten
 - SFS-EN 12390-3 Kovettuneen betonin testaus. Osa 3: Koekappaleiden puristuslujuus



Kuva Labroc Oy kotisivuilta

Betonin lujuuden määrittäminen

- ▶ Lujuus määritetään pääasiassa joko sivumitaltaan 150 mm kuutioilla tai halkisijaltaan 150 mm ja korkeudeltaan 300 mm lieriöillä
- ▶ Myös sivumitaltaan 100 mm ja 200 mm kuutioita voidaan käyttää
- ▶ Koekappaleen koko ja muoto vaikuttavat saatuun lujuustulokseen
- ▶ Eri koekappaleilla saadut tulokset muutetaan vertailukelpoisiksi muuntokertoimilla



Betonin lujuuden määrittäminen

Taulukko 5.1. Lieriölujuuden muuttaminen vastaamaan 150 mm:n kuutiolujuutta.

Lieriöllä määritetty lujuusalue [MPa]	Vastaava kuutiolujuus lujuusalueen alarajalla [MPa]	Alarajan ylittävän lujuuden muunnoskerroin
12...20	15	1,25
20...25	25	1,00
25...30	30	1,40
30...35	37	1,60
35...50	45	1,00
50...55	60	1,40
55...60	67	1,60
60...90	75	1,00

Betonin lujuuden määrittäminen

Esimerkki:

Lieriölujuus 33,4 MPa

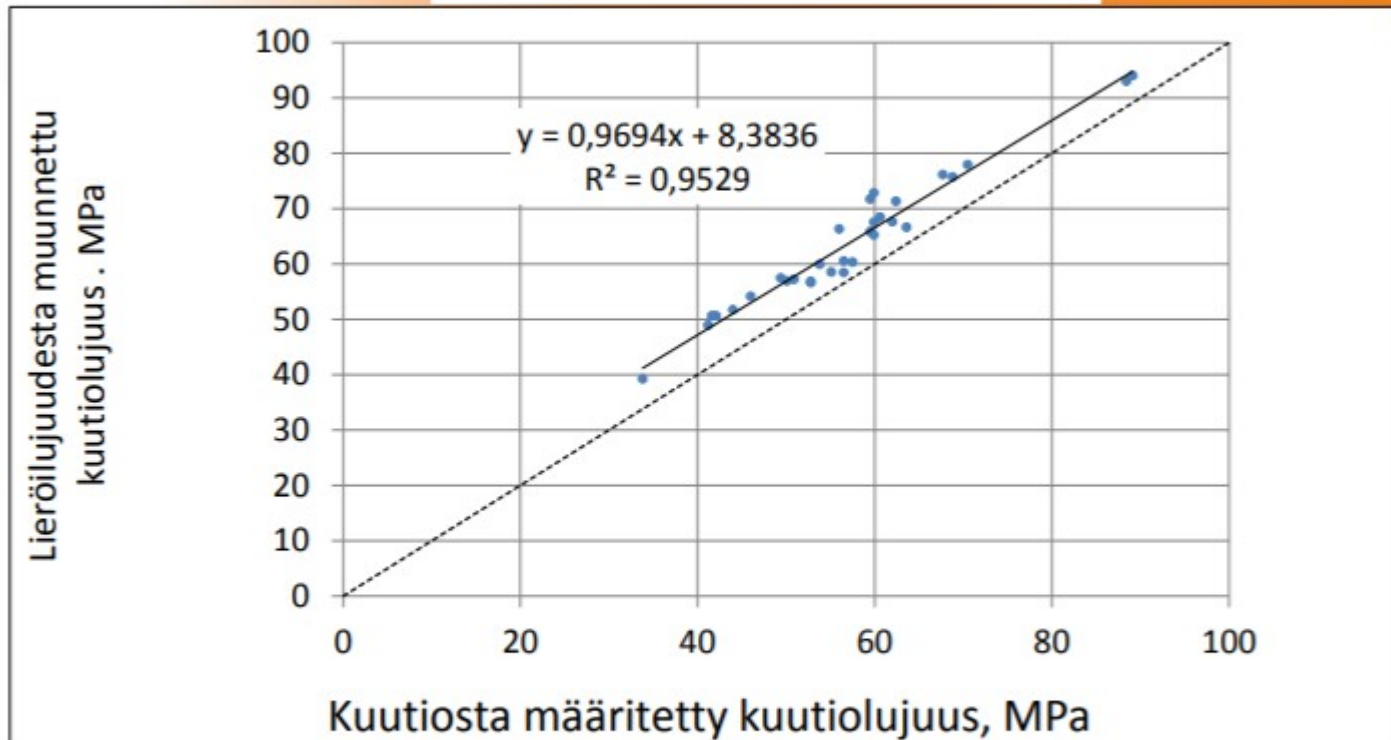
Kuutiölujuus = $37,0 \text{ MPa} + (33,4 \text{ MPa} - 30,0 \text{ MPa}) \times 1,60$

Kuutiölujuus = $37,0 \text{ MPa} + 3,4 \text{ MPa} \times 1,60$

Kuutiölujuus = 42,4 MPa.

Betonin lujuuden määrittäminen

Muunnoskerroin
Lieriö → 150 mm kuutio



Lieriömuottiin valetusta lieriölujuudesta määritetty kuutiolujuus verrattuna kuutiömuottiin valettuun betonin lujuuteen.

Betonin lujuuden määrittäminen

- ▶ Betonin vaatimusten mukaisuuden osoittaminen voidaan edelleen tehdä joko lieriölujuutena tai kuutiolujuutena
- ▶ Lieriöllä saadut lujuustulokset voidaan nyt muuntaa kuutiolujuuksiksi (tai kuutiolujuudet lierilujuuksiksi) mutta ei ole pakko. Tukiryhmä betoni on tehnyt periaatepäätöksen että jatkossa muunnosta ei saa tehdä. Tulee voimaan 2023.
- ▶ Eri perheiden kesken voidaan koekappaletyyppiä vaihtaa, mutta perheen sisällä käytetään joko 150 mm kuutioita tai 150x300 mm lieriötä

Esimerkki

- ▶ Puristuslujuuden laskentaa varten tarvitaan koekappaleen pinta-ala
- ▶ Lieriön pinta-ala on $\pi \cdot d^2 / 4$ (d =lieriön halkaisija ja $\pi \approx 3,1415$)
- ▶ Lieriön pinta-ala on $\pi \cdot 150\text{mm} \cdot 150\text{ mm} / 4 = 17671\text{ mm}^2$.
- ▶ Kuution pinta-ala on $a \cdot b = 150\text{mm} \cdot 150\text{mm} = 22500\text{ mm}^2$

Puristuslujuuden laskenta

- ▶ Puristuslujuus lasketaan kaavasta:

- ▶
$$\text{Puristuslujuus} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right) = \frac{\text{Murtokuorma (N)}}{\text{Pinta-ala (mm}^2\text{)}}$$

- ▶ Testauksessa saatu murtokuorma oli 700 kN

- ▶ Kuution puristuslujuus MPa on siis:

- ▶
$$f_{ck} = \frac{700 \text{ kN}}{150 \text{ mm} \cdot 150 \text{ mm}} = \frac{700 \cdot 1000 \text{ N}}{22500 \text{ mm}^2} = 31,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- ▶
$$f_{ck} = \frac{700 \text{ kN}}{0,150 \text{ m} \cdot 0,150 \text{ m}} = \frac{700 \cdot /1000 \text{ MN}}{0,022500 \text{ m}^2} = 31,1 \text{ MPa}$$

Puristuslujuuden laskenta

- ▶ Lieriökoekappaleella saadaan:

- ▶ $Puristuslujuus \left(\frac{N}{mm^2} \right) = \frac{Murtokuorma (N)}{Pinta-ala (mm^2)}$

- ▶ Testauksessa saatu murtokuorma oli 480 kN

- ▶ Lieriön puristuslujuus MPa on siis:

- ▶ $f_{ck} = \frac{480kN}{(150mm/2)^2 \cdot 3,14} = \frac{480 \cdot 1000N}{17670mm^2} = 27,16 \frac{N}{mm^2}$

Puristuslujuuden laskenta

- ▶ Lieriökoekappaleella saadaan:

- ▶ $Puristuslujuus \left(\frac{N}{mm^2} \right) = \frac{Murtokuorma (N)}{Pinta-ala (mm^2)}$

- ▶ Testauksessa saatu murtokuorma oli 480 kN

- ▶ Lieriön puristuslujuus MPa on siis:

- ▶ $f_{ck} = \frac{480kN}{(150mm/2)^2 \cdot 3,14} = \frac{480 \cdot 1000N}{17670mm^2} = 27,16 \frac{N}{mm^2}$

Tiheys

- ▶ Aineen tiheyttä merkitään yleensä kreikkalaisella kirjaimella ρ (ro)
- ▶ Tiheys on suure joka kuvaa kappaleen massaa tilavuusyksikköä kohden (kg/m^3)
- ▶ Tiheys voidaan helposti määrittää mittaamalla kappaleen tilavuus ja massa
- ▶ Yksinkertaisen kappaleen tilavuus voidaan määrittää mittaamalla kappaleen mitat ja laskea tilavuus näistä tiedoista

Tiheys

- ▶ Jos muoto ei ole säännöllinen voidaan kappale upottaa osittain vedellä täytettyyn mitta-astiaan ja tutkia kuinka paljon veden pinta nousee. (veden tiheydeksi oletetaan 1000 kg/m^3)
- ▶ Tiheys saadaan laskettua jakamalla mitattu massa tilavuudella
- ▶ Tiheyden yksikkö on kg/m^3

Tiheys

TIHEYS

$$\rho = \frac{m}{V}$$

, missä

ρ = tiheys (kg/m³)

m = massa (kg)

V = tilavuus (m³)

Tiheys

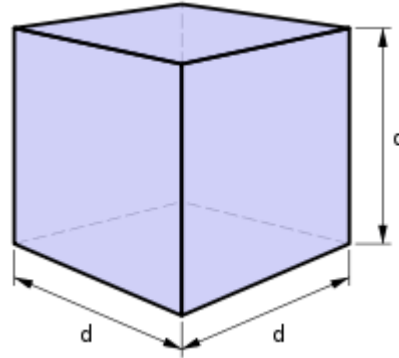
- ▶ Kiinteän aineen tiheys voidaan siis määrittää seuraavasti
 - Punnitaan kappale ilmassa
 - Lasketaan tilavuus kappaleen mittojen avulla
- ▶ Tiheys voidaan määrittää myös Arkhimedeen lain avulla

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \cdot \rho_n :$$

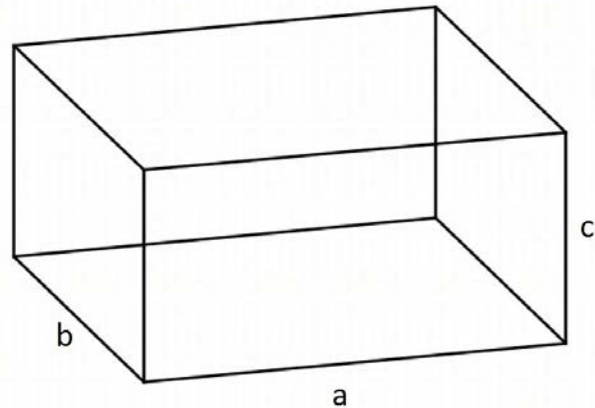
- ▶ m_1 on kappaleen massa ilmassa punnittuna
- ▶ m_2 on kappaleen massa vedessä punnittuna
- ▶ ρ_n on nesteen tiheys

Tiheys

- ▶ Kuution tilavuus $V = d^3$, missä a on sivumitta

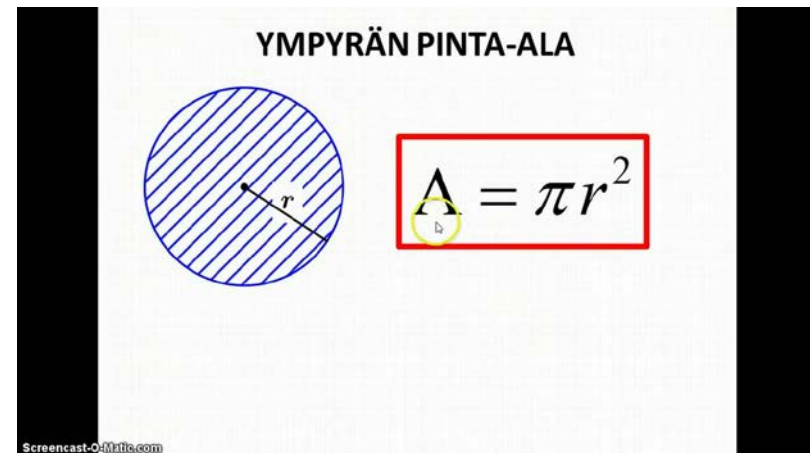
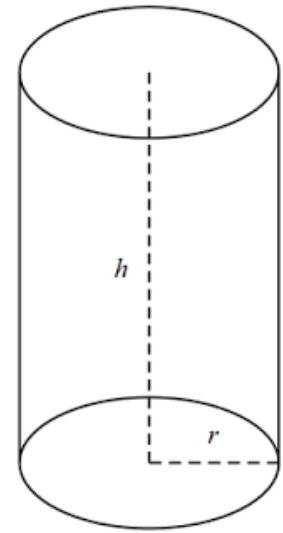


- ▶ Suorakulman tilavuus $V = a \cdot b \cdot c$, missä a , b ja c ovat pituus leveys ja korkeus



Tiheys

- ▶ Lieriön tilavuus $V = A \cdot h$, missä A on lieriön pohjapinta-ala ja h korkeus
- ▶ Lieriön pohjapinta-ala A lasketaan kaavalla
- ▶ $A = \pi d^2/4$, missä d on lieriön halkaisija
- ▶ $r = d/2$
- ▶ $\pi \approx 3,14159$



Betonin tiheys

- ▶ Betonin teoreettinen tiheys saadaan summaamalla 1 m³ annokseen punnittujen osainaineiden massa

$$\frac{Q_k}{\rho_k} + \frac{Q_s}{\rho_s} + \frac{Q_v}{\rho_v} + V_i = V_b$$

missä	Q_k	on kiviainesmäärä (vedellä kyllästetty ja pintakuiva) [kg/bet-m ³]
	ρ_k	on pintakuivan kiviaineksen tiheys [kg/m ³]
	Q_s	on sementtimäärä [kg/bet-m ³]
	ρ_s	on sementin tiheys [kg/m ³]
	Q_v	on vesimäärä [kg/bet-m ³]
	ρ_v	on veden tiheys [kg/m ³]
	V_i	on ilmamäärä [l/bet-m ³]
	V_b	on betonikuution tilavuus 1000 dm ³ .

Betonin tiheys

- ▶ Todellinen tiheys saadaan punnitsemalla kappale ja jakamalla massa tilavuudella
- ▶ Todelliseen tiheyteen vaikuttaa tiivistys ja osainaineiden todellinen tiheys
- ▶ Jos tiivistys on tehty huonosti jää betoniin enemmän tiivistyshuokosia (eli ilmaa) kuin suhteituksessa on oletettu
- ▶ Huokostetussa betonissa ilmamäärä voi poiketa oletetusta ja se vaikuttaa tiheyteen

- Betonimassa tulee tiivistää siten että massan sekoitusvaiheessa siihen sekoittunut ylimääräinen ilma saadaan poistettua.
- Muussa tapauksessa betonin lujuus ja säilyvyys eivät vastaa tavoitteita



Betonia testattaessa betonin tiheys on aina tärkeä tieto

- Betonimassan tiheys olisi syytä mitata aina näytteenoton yhteydessä. Eli myös silloin kun tehdään vain lujuuskoekappaleita.
- Ilmamäärämittauksen yhteydessä tiheys tulee mitata aina.



Betonia testattaessa betonin tiheys on aina tärkeä tieto

- Tiheyden mittaamiseen tarvitaan vain vaaka, mitta-astia jonka tilavuus tunnetaan (esimerkiksi ilmamittarin säiliö) ja vibra. Tiheyden avulla voidaan arvioida betonin ilmamäärää kuin me tunnemme betonin koostumuksen.



Betonin tiheys

- ▶ Tiheyden avulla voidaan **arvioida** huokostetun betonin ilmamäärää
- ▶ Myös käytetyn koekappaleen ikä ja kosteustila vaikuttavat tulokseen
- ▶ Märkänä kappale painaa enemmän kuin kuivana
- ▶ Punnitus tulisi tehdä pintakuivana puristustestauksen yhteydessä.

Esimerkki 1

- ▶ Tärkeitä laatumuunnoksia:
 - ▶
 - ▶ **Pituus:**
 - ▶ $1 \text{ m} (= 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm}) = 1000 \text{ mm}$
 - ▶
 - ▶ **Pinta-ala:**
 - ▶ $1 \text{ m}^2 (= 100 \text{ dm}^2 = 10000 \text{ cm}^2) = 1\,000\,000 \text{ mm}^2$
 - ▶
 - ▶ **Tilavuus:**
 - ▶ $1 \text{ litra} = 1 \text{ dm}^3$
 - ▶ $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litraa}$
 - ▶ $1 \text{ m}^3 = 1000\,000\,000 \text{ mm}^3$

Esimerkki 1

- ▶ Tärkeitä laatumuunnoksia:
 - ▶
 - ▶ **Tiheys:**
 - ▶ kg/m^3
 - ▶
 - ▶ veden tiheys: 1000 kg/m^3 tai 1 kg/dm^3 tai 1 Mg/m^3
- ▶ **M = mega = miljoona**

Esimerkki 2

- ▶ Sivumitaltaan 150x150x150 mm kuutio (huom. Käytetään koekappaleen todellisia mitattuja mittoja)
- ▶ Kuution tilavuus $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm} = 3375000 \text{ mm}^3 / 1000^3 = 0,003375 \text{ m}^3$.
- ▶ Koekappaleen paino on 7,730 kg
- ▶ Betonin tiheydeksi saadaan:
 - ▶ $7,73 \text{ kg} / 0,003375 \text{ m}^3 = 2290 \text{ kg/m}^3$
 - ▶ Tämä vastaa huokostetun betonin tiheyttä jossa ilmaa noin 5 %

Esimerkki 3

- ▶ Sivumitaltaan 150x150x150 mm kuutio (huom. Käytetään koekappaleen todellisia mittoja)
- ▶ Kuution tilavuus $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm} = 3375000 \text{ mm}^3 / 1000^3 = 0,003375 \text{ m}^3$.
- ▶ Koekappaleen paino on 8,000 kg
- ▶ Betonin tiheydeksi saadaan:
- ▶ $8 \text{ kg} / 0,003375 \text{ m}^3 = 2370 \text{ kg/m}^3$ (ei huokostusta)

Esimerkki

- ▶ Mitoiltaan 150x300 lieriö (huom. Käytetään koekappaleen todellisia mittoja)
- ▶ Lieriön tilavuus on $\pi * 150\text{mm} * 150\text{ mm} / 4 * 300\text{ mm} = 5301438\text{ mm}^3 / 1000^3 = 0,005301\text{ m}^3$.
- ▶ Koekappaleen paino on 12,563 kg
- ▶ Betonin tiheydeksi saadaan:
- ▶ $12,563\text{ kg} / 0,005301\text{ m}^3 = 2370\text{ kg/m}^3$ (ei huokostusta)

Tuoreen betonimassan tiheys ilmamäärämittauksen yhteydessä

- ▶ Oletetaan että valmistat betonia jossa:
 - Sementtiä on 350 kg/m^3
 - Vettä on 180 kg/m^3
 - Kiviainesta on 1760 kg/m^3
 - Tavoiteilma on 5 %

- ▶ Betonin laskennallinen tiheys on silloin $350 \text{ kg/m}^3 + 180 \text{ kg/m}^3 + 1760 \text{ kg/m}^3 = 2290 \text{ kg/m}^3$

Tuoreen betonimassan tiheys ilmamäärämittauksen yhteydessä

- ▶ Ilmattomassa betonissa tiheys on silloin:

- ▶ $\frac{2290 \text{ kg/m}^3}{1 - \frac{a}{100}} = 2410 \text{ kg/m}^3$, jossa a on betonin
ilmamäärä (%)

- ▶ Ilmamäärä vaikuttaa silloin betonin tiheyteen siten
että:

- ▶ $\rho = 2410 \text{ kg/m}^3 \cdot \left(1 - \frac{a}{100}\right)$

Tuoreen betonimassan tiheys ilmamäärämittauksen yhteydessä

- ▶ Ilmamäärä a voidaan tässä tapauksessa laskea mitatusta tiheydestä seuraavasti:

- ▶
$$a = 100 \cdot \left(1 - \frac{\text{mitattu tiheys}}{2410 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right)$$

Esimerkki

- ▶ Jos mitattu tiheys edellisen esimerkin koostumuksella onkin 2250 kg/m^3 saadaan ilmamääräksi:

- ▶
$$a = 100 \cdot \left(1 - \frac{2250}{2410 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right) = 6,6\%$$

Esimerkki

- ▶ Vastaavasti jos mitattu ilmamäärä edellisen esimerkin koostumuksella olisi $a = 7\%$ voidaan tiheys laskea seuraavasti:
- ▶ Huomioidaan kasvanut annoskoko suunniteltuun annoskokoon. 20 litraa lisää ilmaa kasvattaa annosta 20 litraa 1,020 kuutioon. Betonin tiheys voidaan silloin laskea seuraavasti:
- ▶ Ilmattoman betonin tiheys on nyt sen takia:

Esimerkki

$$\rho = \frac{350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + \frac{1760 \text{kg}}{\text{m}^3} + \frac{180 \text{kg}}{\text{m}^3}}{1,020} = 2445 \text{kg}/\text{m}^3$$

- ▶ **Betonin todelliseksi koostumukseksi tulee:**
 - Sementtiä: $350 \text{ kg}/\text{m}^3 / 1,02 = 343 \text{ kg}/\text{m}^3$
 - Kiviainesta: $1760 \text{ kg}/\text{m}^3 / 1,02 = 1726 \text{ kg}/\text{m}^3$
 - Vettä: $180 \text{ kg}/\text{m}^3 / 1,02 = 177 \text{ kg}/\text{m}^3$
 - Ilmaa 70 litraa
- ▶ Eli ilma korvaa muita aineita oman kasvaneen tilavuutensa verran