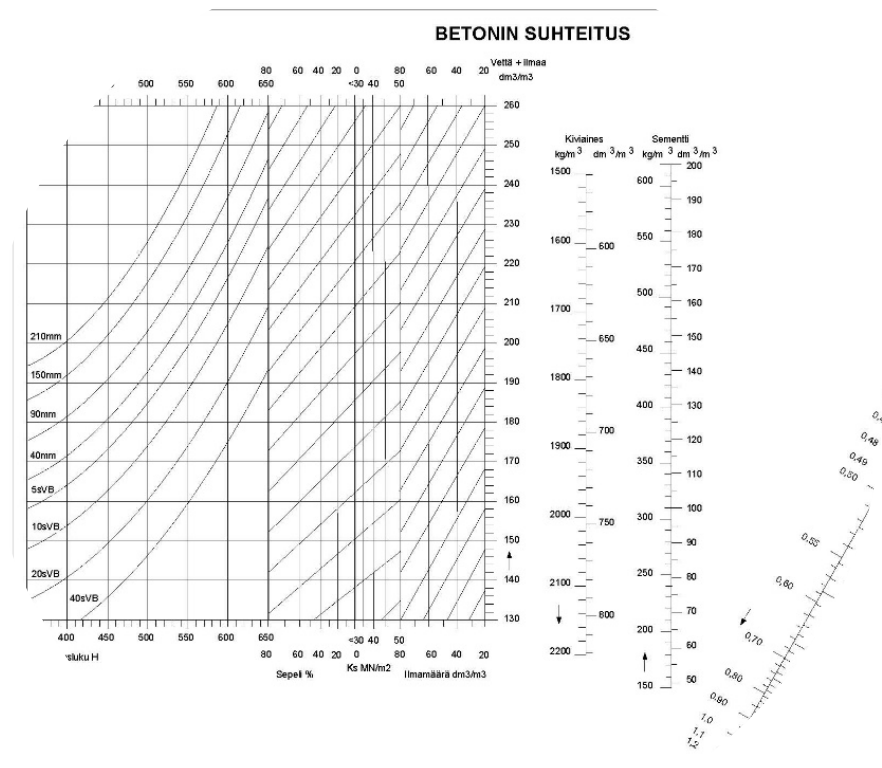


Betonimassan suhteitus

TkT Johanna Tikkanen, Suomen Betoniyhdistys ry



Suhteitus Nykäsen nomogrammilla

Betonirakenteiden suunnittelussa käytettävää betonin lujuutta kutsutaan suunnittelu- eli nimellislujuudeksi f_{ck} (aiemmin ns. K-lujuus).

- Betonirakenteiden suunnittelussa käytettävä betonin nimellislujuus perustuu arvosteluiässä 150 mm:n kuutioilla saatuihin koetuloksiin. Esimerkiksi lujuusluokan C30/37 betonin nimellislujuus on 37 MPa (MN/m²) 28 vuorokauden iässä, ellei siitä poikkeavaa arvosteluikää ole erikseen mainittu

Nimellislukuus, tavoitelukuus, suhteituslukuus

Betonimassan ja -rakenteen valmistuksessa esiintyy vaihtelua ainesosien laadussa, olosuhteissa ja työnsuorituksessa.

- Tämän vuoksi täytyy tavoitelukuuden olla nimellislukuutta korkeampi riittävällä hajonnasta riippuvalla marginaalilla.

Tavoitelukuudella tarkoitetaan työn aikana tavoitteena pidettävää betonin keskimääräistä puristuslukuutta.

Betonin tavoitelukuus K_t lasketaan kertomalla nimellislukuus f_{ck} *tavoitelukuuskertoimella* k_t eli

$$K_t = f_{ck} \times k_t$$

- k_t on jatkuvassa valmistuksessa yleensä vähintään 1,2. Alkuvaiheen valmistuksessa tavoitelukuuskertoimen tulee olla oleellisesti tätä korkeampi.

Nimellisluku, tavoiteluku, suhteitusluku

Betonin koostumusta määritettäessä betonille lasketaan ensin *suhteitusluku* K_s . Suhteitusluku saadaan kertomalla tavoiteluku (K_t) *suhteituslukuksella* k_s eli

$$K_s = k_s \times K_t$$

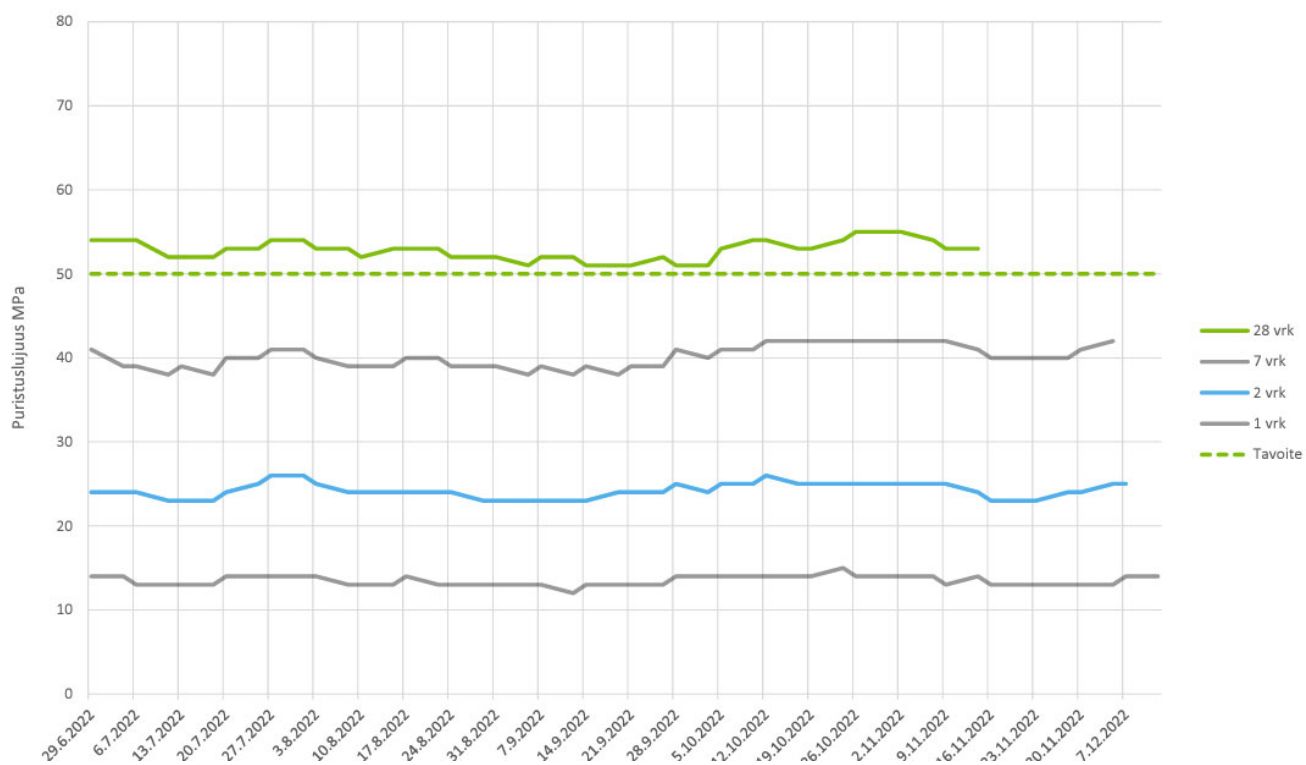
Suhteituslukuksella k_s lasketaan kaavalla

$$k_s = \frac{42,5}{N}$$

jossa N on sementin koetusluku betonin arvostelussa.

Sementin koetusluku varmistetaan yleensä sementin toimittajalta. Jos sementin koetusluku ei tunneta, sen oletetaan olevan sama kuin sementin luokaluokka. Suhteitusluku on laadittu siten, että käytetyn sementin koetusluudeksi oletetaan 42,5 MPa.

Sementin koestuslujuus N



Suhteituslujuus

Suhteituslujuus K_s lasketaan siten kaavalla

$$K_s = f_{ck} \times k_t \times k_s$$

Sama kaava sanallisesti: nimellislujuus (eli K -lujuus) kerrotaan tavoitelujuuskertoimella (joka on yleensä 1,2), joka kerrotaan suhteituslujuuskertoimella

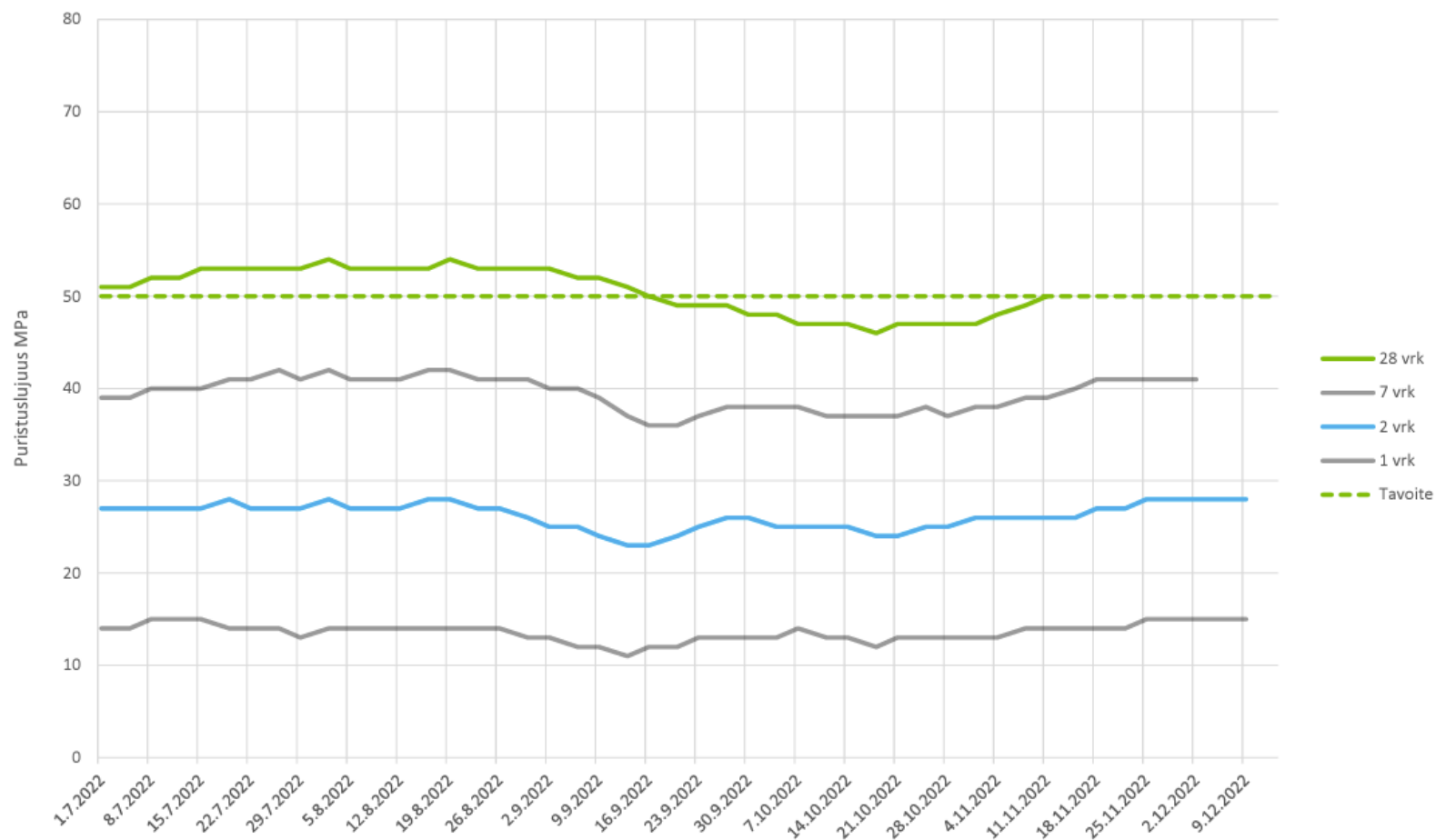
- Suhteituslujuus ei ole betonista mitattavissa oleva lujuus, vaan se on apusuure, jolla on suhteitusnomogrammia hyväksi käyttäen mahdollista muuttaa tunnettua sementtiä käytettäessä tavoitelujuus (vesi+ilma)-sementtisuhteeksi.

Harjoitus 1
(erillisellä
paperilla)
Määritä betonin
tavoitelujuus ja
suhteituslujuus,
kun:

1. Betonin nimellislujuus f_{ck} on 45 MN/m^2 .
Sementin koestuslujuus N on $42,5 \text{ MN/m}^2$.
2. Betonin nimellislujuus f_{ck} on 45 MN/m^2 .
Sementin koestuslujuus on 48 MN/m^2 .
3. Betonin *lujuusluokka* on C30/37. Betonin
valmistukseen käytetään Paraisten Oiva
-sementtiä

Paraisten Oiva-sementti CEM II/B-M(S-LL) 42,5N

Lastausnäytteiden lujuudet kolmen liukuva keskiarvo 1, 2, 7 ja 28 vrk



Rakeisuuden ohjearvot

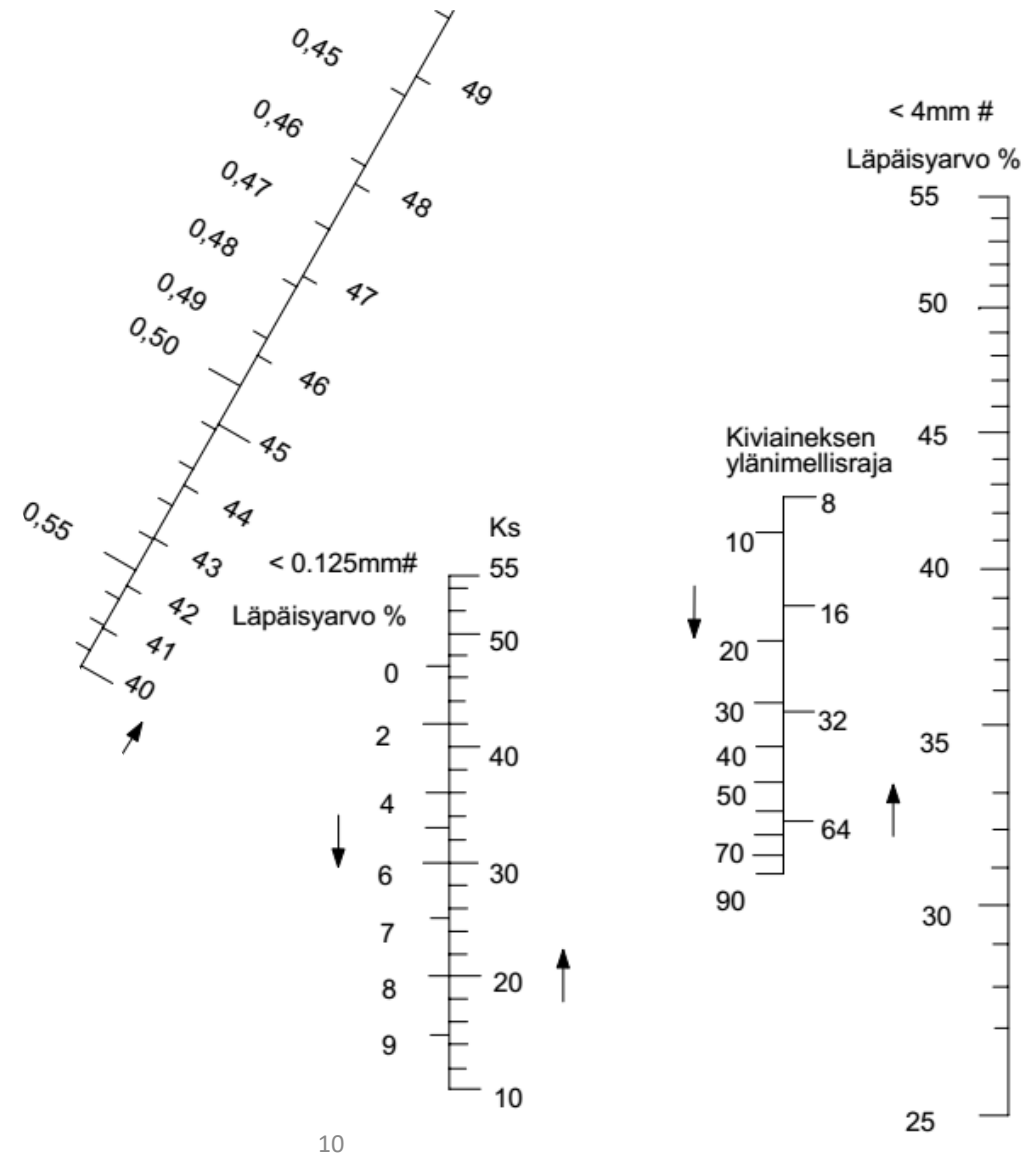
Sopivien kiviainesten valinta tapahtuu *rakeisuuskäyrän* perusteella. Tavoitteen saavuttamiseksi yhdistetyn kiviaineksen käyrän tulisi sijaita raja-arvokäyrien välissä.

- Kun betonin maksimiraekoko eli kiviaineksen ylänimellisraja on 16 mm, noudatetaan katkoviivoilla olevia käyriä
- Maksimiraekoon ollessa 32 mm, noudatetaan yhtenäisillä viivoilla olevia käyriä.
- Lisäksi yhdistetyn käyrän tulisi kulkea kussakin tapauksessa erikseen määritettävien ohjeläpäisyarvojen kautta.

Ohjeläpäisyarvot; rakeisuusohje

Seulojen # 0,125 mm ja # 4 mm ohjeläpäisyarvot määritetään *rakeisuusohjeen* avulla.

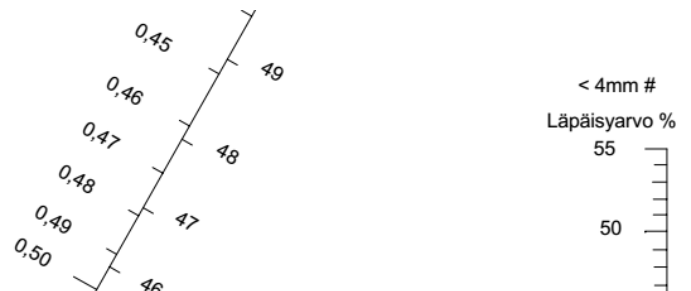
- Ohjeläpäisyarvoja pidetään kiintopisteinä, jotka toteutuessaan antavat tehokkaan lopputuloksen varsinkin betonin lujuuden ja taloudellisuuden kannalta.
- Tällöin keskisuuret rakeet ja betonin hienoainekset ovat parhaassa mahdollisessa tasapainossa.



Ohjeläpäisyarvot; rakeisuusohje

Ohjearvojen määrittämistä varten tulee tuntea käytettävän kiviaineksen maksimiraekoko eli yläanimellisraja ja betonin suhteituslujuus K_s .

- Kiviaineksen yläanimellisraja on sen seulan todellinen tai otaksuttu silmäkoko, jonka kohdalla läpäisyarvo on 95 %. Koska yhdistettyä kiviainesta ei tunneta, joudutaan suurin raekoko arvioimaan suhteituksessa mukana olevan karkeimman osakiviaineksen avulla. Tällöin yläanimellisrajaksi arvioidaan se seulan silmäkoko, jonka kohdalla karkeimman osakiviaineksen läpäisyarvo on 90 %. Yhdistetyn kiviaineksen 95 %:n läpäisyarvoa vastaava raekoko tulee tarkistaa, kun kiviainesten yhdistäminen on suoritettu.



BETONIN KOOSTUMUS

Rakentaja		Rakennustyö	
Rakenneosat			
Betonin luokka ja nimellislujuus	Sementti	Suurin raekoko	Lisäaineet
	Tavoitenotkeus sVB	Sepeliä %	
Tavoitelujuus MN/m ²	Tavoitepainuma mm	Rakeisuusluku H	Annostus
Suhteituslujuus MN/m ²	Tavoiteleviämä mm	Ilmamäärä dm ³ / m ³	

Kiviainekset		Humus	Liete	Rakeisuus										H
Tunnus				0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	64	
a	hiekkä 0/1			26	70	85	95	100	100	100	100	100	100	876
b	hiekkä 0/8			1	4	10	20	35	60	95	100	100	100	525
c	sepeli 4/32			0	0	1	2	2	5	20	40	90	100	260
d														
e														
Kiviainesten yhdistäminen		a	%											
		b	%											
		c	%											
		d	%											
		e	%											
Yhdistetty kiviaines														

Harjoitus 2 (erillisellä lomakkeella) Määritä suhteitettavan betonin # 0,125 mm ja # 4 mm ohjeläpäisyarvot:

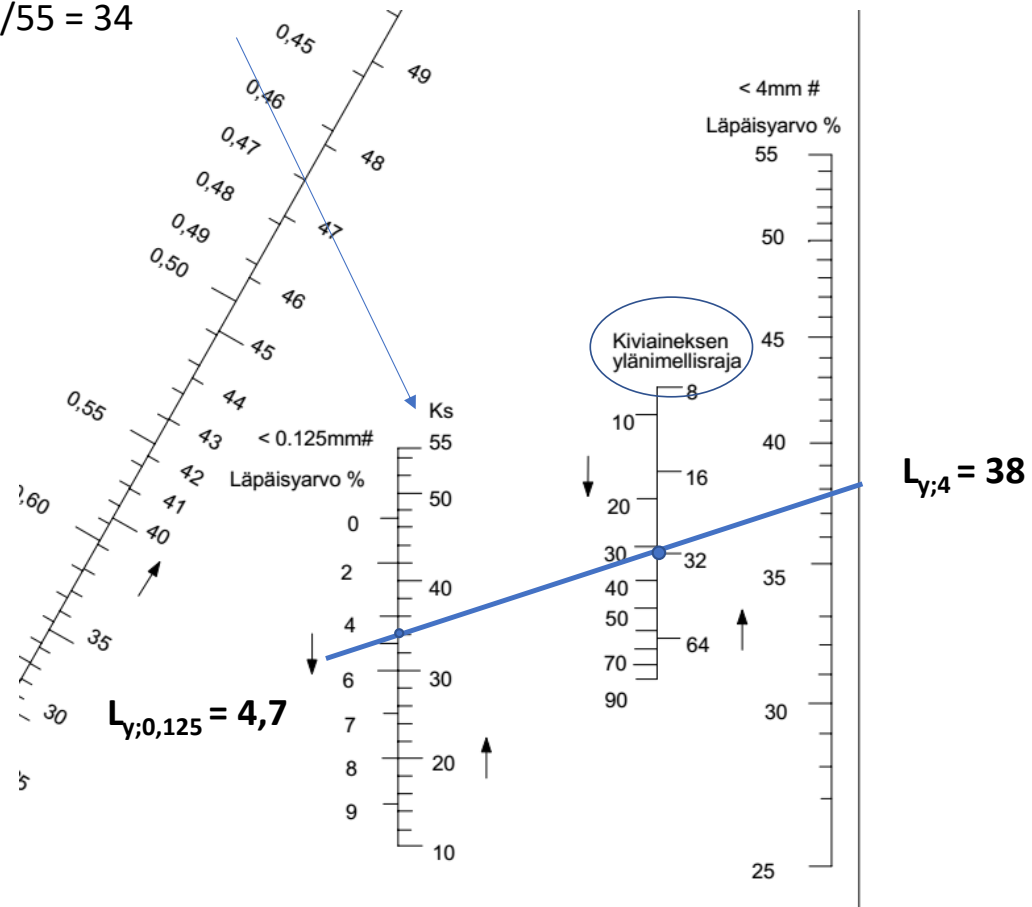
Betonin lujuusluokka on C30/37. Betonin valmistukseen käytetään SR sementtiä ($N = 55 \text{ MN/m}^2$) ja alla olevia kiviaineksia:

BETONIN KOOSTUMUS

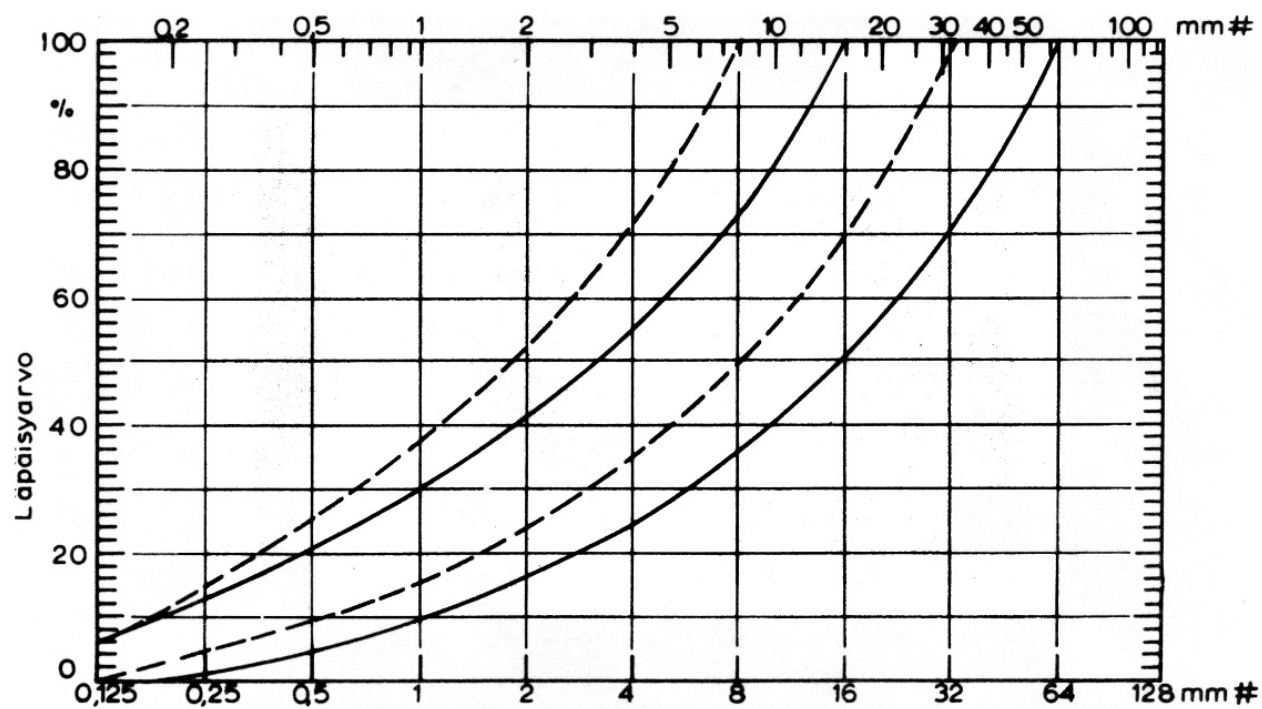
Rakentaja		Rakennustyö	
Rakenneosat			
Betonin luokka ja nimellisluku	Sementti	Suurin raekoko	Lisäaineet
	Tavoitenotkeus sVB	Sepeliä %	
Tavoiteluku MN/m²	Tavoitepainuma mm	Rakeisuusluku H	Annostus
Suhteitusluku MN/m²	Tavoiteleviämä mm	Ilmamäärä dm³ / m³	

Kiviainekset		Humus	Liete	Rakeisuus										H
				0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	64	
Tunnus														
a	hiekkä 0/1			26	70	85	95	100	100	100	100	100	100	876
b	hiekkä 0/8			1	4	10	20	35	60	95	100	100	100	525
c	sepeli 4/32			0	0	1	2	2	5	20	40	90	100	260
d														
e														
Kiviainesten yhdistäminen	a		%											
	b		%											
	c		%											
	d		%											
	e		%											
Yhdistetty kiviaines														

$$K_s = 1,2 * 37 * 42,5 / 55 = 34$$



Rakeisuuden ohjearvot



Runkoaineen yhdistäminen

Betonissa olevan sementtiliiman tarpeen pienentämiseksi runkoaineen rakeisuus on valittava siten, että saadaan mahdollisimman tiiviisti sulloutuva runkoaines = pienet rakeet täyttävät suurempien rakeiden välit.

Yhdistetyn runkoaineen tulisi kulkea betonin koostumuslomakkeen kuvassa olevien raja-arvokäyrien välissä. Rakeisuuskäyrän on oltava mahdollisuuksien mukaan raja-arvokäyrien muotoinen ja sen on lisäksi kuljettava ohjeläpäisyprosenttien kautta

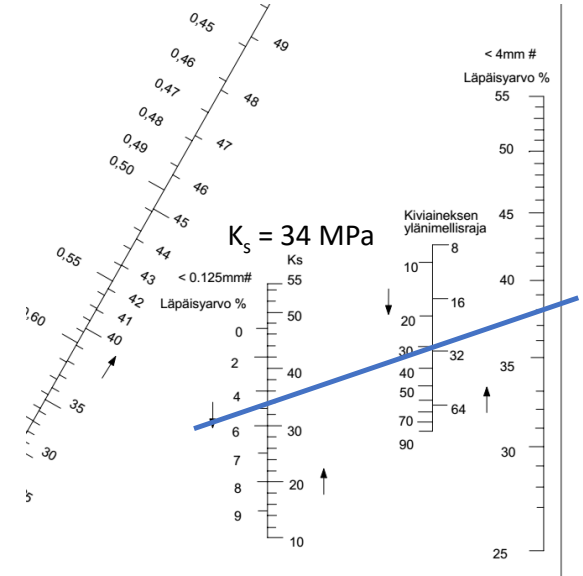
Esimerkki harjoitus 2 pohjalta:

Betonin lujuusluokka C30/37.

BETONIN KOOSTUMUS

Rakentaja		Rakennustyö	
Rakenneosat			
Betonin luokka ja nimellislujuus	Sementti	Suurin raekoko	Lisäaineet
	Tavoitenotkeus sVB	Sepeliä %	
Tavoitelujuus MN/m ²	Tavoitepainuma mm	Rakeisuusluku H	Annostus
Suhteituslujuus MN/m ²	Tavoiteleviämä mm	Ilmamäärä dm ³ / m ³	

Kiviainekset		Humus	Liete	Rakeisuus									H	
Tunnus				0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	64	
a	hiekkä 0/1			26	70	85	95	100	100	100	100	100	100	876
b	hiekkä 0/8			1	4	10	20	35	60	95	100	100	100	525
c	sepele 4/32			0	0	1	2	2	5	20	40	90	100	260
d														
e														
Kiviainesten yhdistäminen		a	%											
		b	%											
		c	%											
		d	%											
		e	%											
Yhdistetty kiviaines														



$$L_{y;0,125} = 4,7$$

$$L_{y;4} = 38$$

Runkoaineen yhdistäminen

Muodostetaan yhtälöt, merkitään runkoaineiden osuuksia tunnuksilla a , b ja c :

$$0,125 \text{ mm läpäisyarvo} = a \times 26 + b \times 1 + c \times 0 = 4,7$$

$$4 \text{ mm läpäisyarvo} = a \times 100 + b \times 60 + c \times 5 = 38$$

$$a + b + c = 1 \quad (=100 \%)$$

Kokeillaan eri arvoja:

a	0,10							
b	0,41							
c	0,49							
Yhteensä	1,00							
							TULOS	TAVOITE
Läpäisy 0,125 mm	26	*a +	1	*b +	0	*c =	3,01	4,7
Läpäisy 4 mm	100	*a +	60	*b +	5	*c =	37,1	38
	0,10	+	0,41	+	0,49	=	1	1

Runkoaineen yhdistäminen

BETONIN KOOSTUMUS

Rakentaja		Rakennustyö	
Rakenneosat			
Betonin luokka ja nimellislujuus	Sementti	Suurin raekoko	Lisäaineet
	Tavoitenotkeus sVB	Sepeliä %	
Tavoitelujuus MN/m ²	Tavoitepainuma mm	Rakeisuusluku H	Annostus
Suhteituslujuus MN/m ²	Tavoitelevijämä mm	Ilmamäärä dm ³ / m ³	

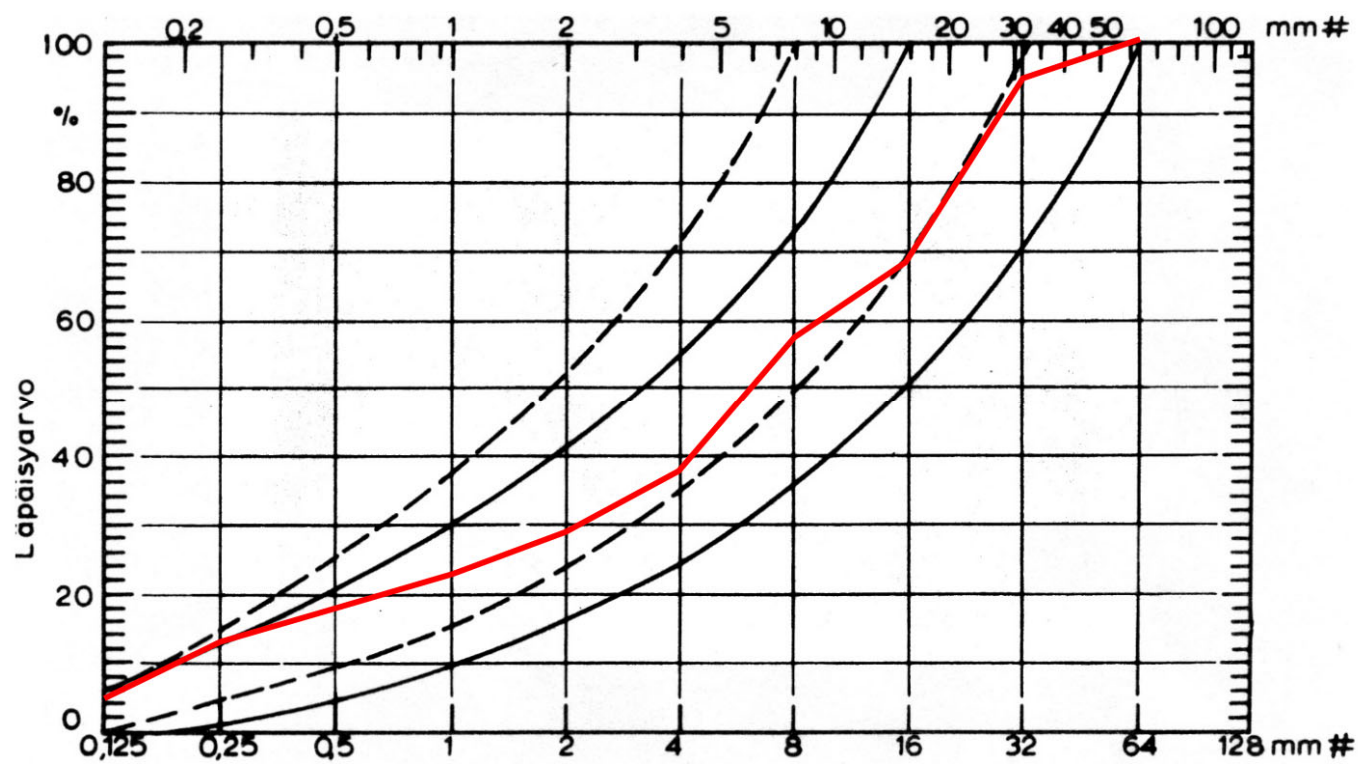
Kiviainekset		Humus	Liete	Rakeisuus										H
Tunnus				0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32	64	
a	hiekkä 0/1			26	70	85	95	100	100	100	100	100	100	876
b	hiekkä 0/8			1	4	10	20	35	60	95	100	100	100	525
c	sepeli 4/32			0	0	1	2	2	5	20	40	90	100	260
d														
e														
Kiviainesten yhdistäminen		a	%											
		b	%											
		c	%											
		d	%											
		e	%											
Yhdistetty kiviaines														

BETONIN KOOSTUMUS

Rakentaja		Rakennustyö	
Rakenneosat			
Betonin luokka ja nimellislujuus C30/37	Sementti	Suurin raekoko	Lisäaineet
	Tavoitenotkeus sVB	Sepeliä %	
Tavoitelujuus MN/m ²	Tavoitepainuma mm	Rakeisuusluku	Annostus
Suhteituslujuus MN/m ²	Tavoiteleviämä mm	Ilmamäärä dm ³ / m ³	

Kiviainekset		Humus		Liete	Rakeisuus									H	
Tunnus					0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	32		64
a	Hiekka 0/1				26	70	85	95	100	100	100	100	100	876	
b	Hiekka 0/8				1	4	10	20	35	60	95	100	100	525	
c	Sepeli 4/32				0	0	1	2	2	5	20	40	90	260	
d															
e															
Kiviainesten yhdistäminen		a	17	%	4,4	11,9	14,5	16,2	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	149
		b	31	%	0,3	1,2	3,1	6,2	10,9	18,6	29,5	31,0	31,0	31,0	163
		c	52	%	0,0	0,0	0,5	1,0	1,0	2,6	10,4	20,8	46,8	52,0	135
		d		%											
		e		%											
Yhdistetty kiviaines					4,7	13,1	18,1	23,4	28,9	38,2	56,9	68,8	94,8	100,0	447

RAKEISUUSLUKU H



Suhteituksen kulku

a) *0,125 ja 4 mm:n läpäisyarvojen ohjearvot*

”Betonin suhteitus” -lomakkeelta saadaan ohjearvot runkoaineen 0,125 ja 4 mm:n läpäisyarvoille, kun tunnetaan (on laskettu) suhteituslujuus K_s ja suurin raekoko.

b) *runkoaineen yhdistäminen*

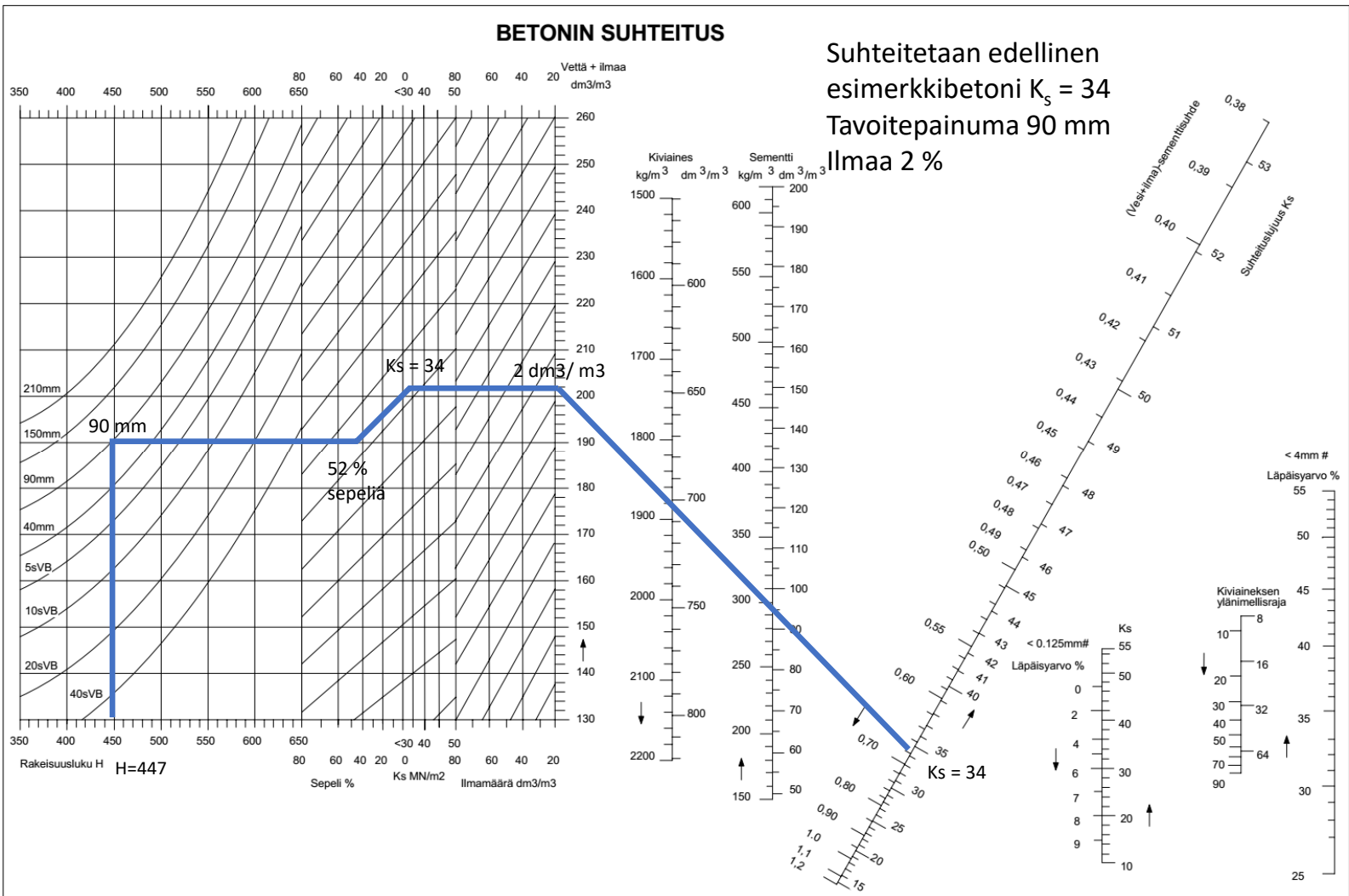
Erillinen esimerkki/harjoitus

Suhteituksen kulku jatkuu

Käytetään ”Betonin suhteitus” -lomaketta.

- 1) Piirretään tunnetun rakeisuusluvun kohdalta pystysuora viiva, kunnes törmätään haluttuun notkeuteen.
- 2) Jatketaan vetämällä vaakasuora viiva, kunnes vastaan tulee tunnetun sepeliprosentin (murskattu kiviaines, runkoaineen yhdistämisestä) pystyviiva.
- 3) Piirretään vinoviivojen suuntaista suoraa, kunnes saavutetaan lasketun suhteituslujuuden pystyviivalle. Jos suhteitusluuus $K_s \leq 30 \text{ MN/m}^2$, käytetään arvoa 30 MN/m^2 .

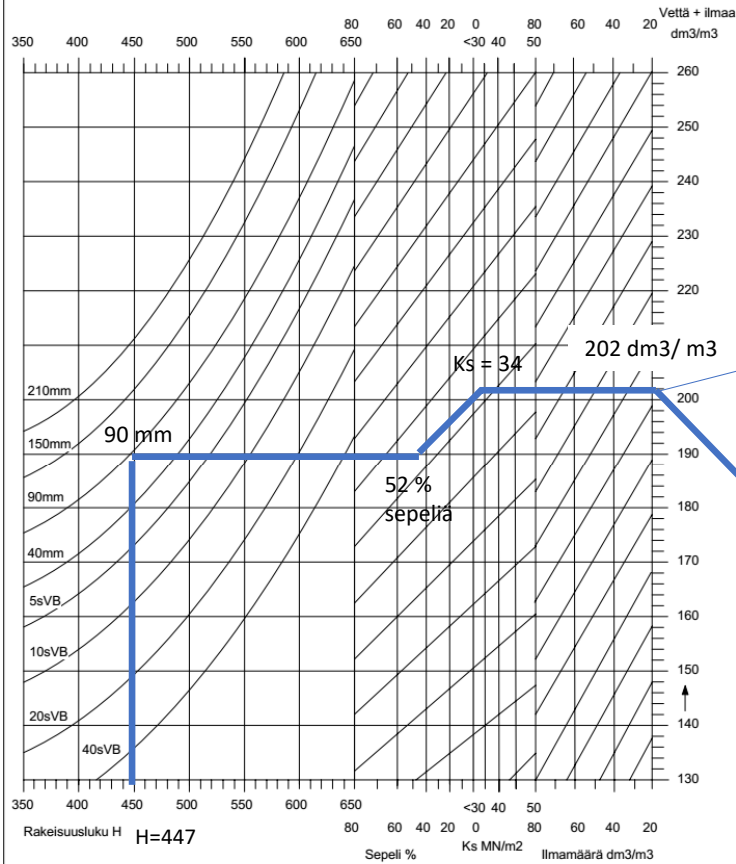
- 4) jatketaan vaakasuoraan, kunnes törmätään oletetun ilmamäärän pystyviivalle, josta edetään vinoviivojen suuntaisesti "vesi+ilmaa" -asteikolle.
- 5) asteikon "vesi+ilma" -piste yhdistetään viivalla nomogrammilla olevaan laskettuun suhteituslujuuteen.



- 6) "runkoaine" ja "sementti" -asteikoilta luetaan edellisessä kohdassa piirretyn suoran leikkauspisteistä runkoaineen ja sementin määrät.
- 7) Siirretään ainemäärät "Betonin koostumus" -lomakkeelle.

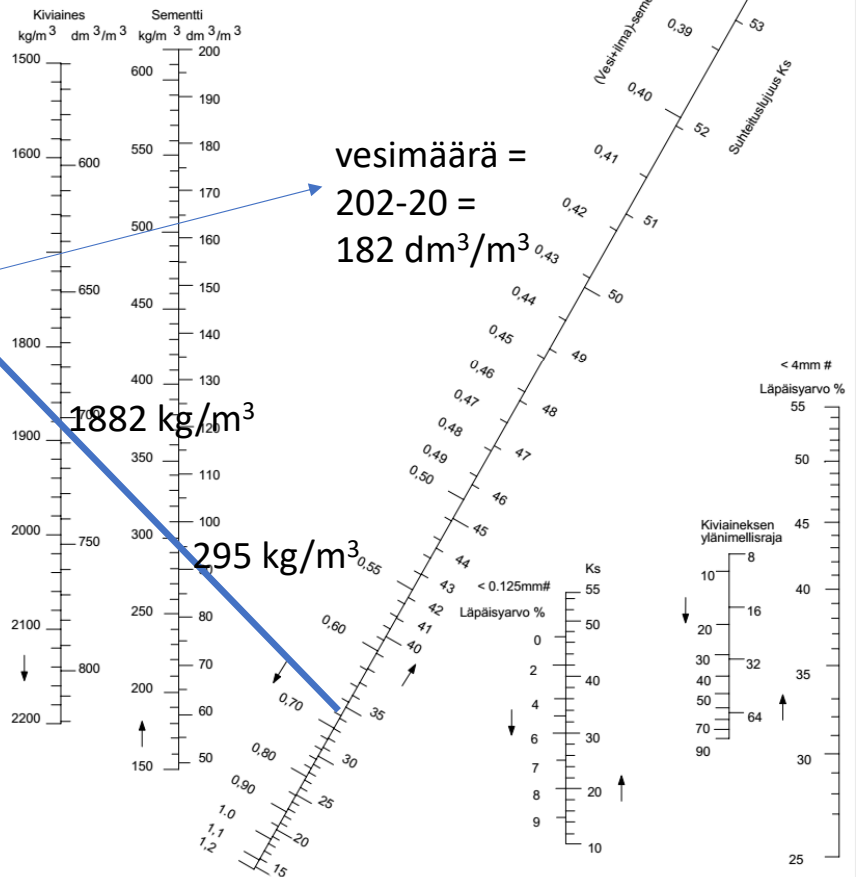
$$\text{vesimäärä} = (V_{\text{vesi}} + V_{\text{ilma}}) - V_{\text{ilma}}$$

BETONIN SUHTEITUS



Suhteitetaan esimerkkibetoni Ks = 34
Tavoitepainuma 90 mm
Ilmaa 2 %

$$\begin{aligned} \text{vesimäärä} &= \\ 202 - 20 &= \\ 182 \text{ dm}^3/\text{m}^3 \end{aligned}$$



Aineosat	Suhteitusseos					Kiviaineksen vesipitoisuus				Työseos kg/m ³	ANNOS ____m ³
	kg/m ³ (dm ³ / m ³)	%	Kiintotiheys Mg/m ³	dm ³ / m ³	kg/m ³	kokonais %	absorboi- tunut %	vapaa %	vapaa kg		
sementti	296		3,10	95	296	-----	-----	-----	-----		
Kiviaines	(95)	a 17	2,68	119	319						
	1882	b 31	2,68	218	584						
	(702)	c 52	3,00	365	1 095						
		d									
	-----	e									
Vesi	182	-----	1,00	182	182	-----	-----	-----			
Ilma	(20)	-----	-----	20	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Yhteensä	2357	-----	-----	1000	2 476	-----	-----	-----	-----		

Lopullinen vesimäärä

Kun runkoainefraktioiden kosteuspitoisuudet tunnetaan, voidaan niiden sisältämät vesimäärät laskea. Runkoainefraktioiden sisältämistä kokonaisvesimääristä (%) vähennetään absorboitunut osuus (%), jolloin saadaan tehollinen vesimäärä (%), joka lasketaan yksiköksi (kg). Runkoainefraktioiden sisältämät teholliset vesimäärät lasketaan yhteen ja tämä summa vähennetään seokseen lisättävästä vesimäärästä. Runkoainemääriä lisätään vastaavasti niiden sisältämän tehollisen vesimäärän painon verran.

Esimerkki

Aineosat	Suhteitusseos					Kiviaineksen vesipitoisuus				Työseos kg/m³	ANNOS ____m³
	kg/m³ (dm³ / m³)	%	Kiintotiheys Mg/m³	dm³ / m³	kg/m³	kokonais %	absorboi- tunut %	vapaa %	vapaa kg		
sementti	296		3,10	95	296	-----	-----	-----	-----		
Kiviaines	(95)	a 17	2,68	119	319	3,7	0,9	2,8	8,93	327,9	
	1882	b 31	2,68	218	584	Vapaa vesi = kokonais % - absorboitunut %					
	(702)	c 52	3,00	365	1 095						
		d									
		e									
Vesi	182	-----	1,00	182	182	-----	-----	-----			
Ilma	(20)	-----	-----	20	-----	-----	-----	-----	-----		
Yhteensä	2357	-----	-----	1000	2 476	-----	-----	-----	-----		

319 kg + 8,93 kg =
327,9 kg

$$0,028 * 319 \text{ kg} = 8,93 \text{ kg}$$

Itsenäinen suhteitusharjoitus

- Harjoitukset jaetuilla lomakkeilla