

TALLINNA TEHNICAÜLIKOOJI TOIMETUSED
PUBLICATIONS FROM THE TECHNICAL UNIVERSITY OF ESTONIA
AT TALLINN

Series A № 4

(June 1938)

**Betooni 28-päevase survetugevuse
ennustamisest Eesti Portland-tsemendi
tarvitamisel**

**On the Prediction of the 28-day Compressive Strength
of Concrete Mixtures Using Estonian Portland-Cement**

O. Maddison and H. Oengo

T A L L I N N



Ep. 6.7

TALLINNA TEHNICAÜLIKOOLI TOIMETUSED
PUBLICATIONS FROM THE TECHNICAL UNIVERSITY OF ESTONIA
AT TALLINN

Series A № 4

(June 1938)



Betooni 28-päevase survetugevuse
ennustamisest Eesti Portland-tsemendi
tarvitamisel

On the Prediction of the 28-day Compressive Strength
of Concrete Mixtures Using Estonian Portland-Cement

O. Maddison and H. Oengo

E-16025.



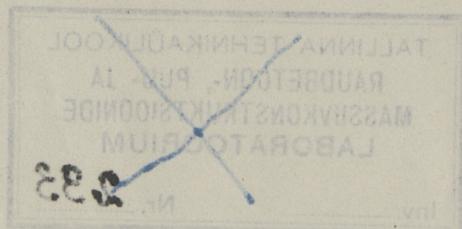
Ep. 114

ENSV Teaduste Akadeemia
Keekraamatukogu

T A L L I N N



Publications from the Technical University of Estonia at Tallinn,
Series A Nr. 4, June 1938.



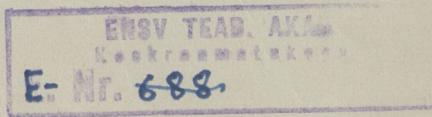
E-5158

E-420



E-5158

K. Mattiesen trükkkoda o.ü., Tartu, 1938.



Eessōna.

Betoon- ja raudbetootööde puhul tarvitatakavate betoonsegude kohta seatakse tavaliselt üles peatingimusena nõue, et saavutatav betoon omaks küllaldast survetugevust. Lähtudes aga betoneerimistööde teostamise seisukohalt, esineb samal ajal veel nõue, et betoonsegud oleksid tarvituselevõetud menetlusviisile vastavalt töödeldavad, s. o. betoonsegud peavad võimaldamata betooni korralikku tihendamist, vormide täitmist ja raudbetooni puhul head raudade ümbritsemist.

Betooni survetugevus, olles sarnaseil juhtumeil peaesemär-
giks, sõltub peamiselt alljärgnevaist tegureist:

1. tsemendi omadusist ja selle hulgast,
 2. agregaadi materjalist ning selle jämedusliikide ositamisest,
 3. seguvee hulgast,
 4. segu töötlemise viisist ja
 5. betooni tardumise ning kivinemise tingimusist.

Lähtudes olukorrast, nagu see tegelikult esineb betoonsegude koostamisel mõne ehitise juures, kus tsemendi omadusi, aggregaadi materjali, segu töötlemise viisi ning betooni kivinemise tingimusi võib praktiliselt lugeda muutmatuiks, tuleb betooni vajaliku survevugevuse saavutamiseks varieerida tsemendi ja seguvee hulgaga ning aggregaadi jämedusliikide ositamisega, silmas pidades sealjuures, et saavutata tavat kombinatsioon kujutaks töödeldava ja vastavale ehitusosale ning tarvituselevõetud menetlusviisile kohase konsistentsiga betoonsegu.

Peale eelmainitud nõuete on tegelikus ehituspraktikas sageli piiratud tehniliste tingimusiga ka minimaalne tsemendi hulk, mida tuleb tarvitada ühe või teise ehitisosa puhul.

Tuleb tähendada, et betoonsegu töödeldavuse ja sobiva konsistentsi, kui ka minimaalse tsemendi hulga nõuetega rahuldamise

piires on võimalik võrdlemisi suur arv kombinatsioone, mis vastavad ettekirjutatud betooni survevastuse nõuetele.

Väljades praktilise ehitustegevuse seisukohalt võimalikest kombinatsioonest, tuleb lugeda sobivaimaks säärast kombinatsiooni, mis annab betooni nõutava survevastuse väikseimate kuludega.

Betooni survevastuse hindajaks on võetud 28 päeva kivine-nud katsukehade survevastus, milline nõue esineb tavaliselt ka ehitispraktikas kehtivais normes.

Kohase ja ökonomise betoonsegu leidmiseks tuleb sageli võr-relda tervet rida betooni survevastust mõjutavate tegurite kom-binatsioone. Kõigi nende puhul oleks survekatsude teostamine 28 päeva kivinenud katsukehadega äärmiselt tülikas ja aegaviitev. Seepärast tuleb sobiva betoonsegu koostamiseks kui ka segu hea-duse kontrollimiseks võtta tarvitusele meetodid, mis võimaldavad kergemalt ja kiiremalt, kuid seejuures praktiliseks otstarbek-s küllaldase täpsusega ette aimata või ennustada betooni 28-päevast survevastust.

Nende meetodite tarvituselevõtmisel harilikel ehitisprakti-kas kehtivais normes ettenähtud tugevuskatsudel, milliseid ise-neest mõistetavalalt täiesti ära jäätta ei tohiks, jäääks ülesandeks kontrollida betooni ennustatud survevastust ning ühtlasi kont-rollida ka betoneerimistöö teostamise headust.

Tallinna Tehnikainstituudi Tugevuslaboratoorium oli endale seadnud 1936./37. a. uurimistöö eesmärgiks leida sobivaid mee-todeid betooni survevastuse ennustamiseks Eesti portland-tse-mendi tarvitamisel, millise uurimistöö tulemused on kokkuvõetult toodud alljärgnevas kirjelduses.

I. Katsumise kava, tarvitatud meetodid ja katsumise tulemused.

1. Katsumise kava ja selle koostamise põhimõtted. Käesoleva uurimistöö puhul teostatud katsude kava on koostatud sarnaselt, et katsumise alla kuuluksid võimalikult mitmekesisemad ehitispraktikas võimalikud betoonsegud. Mitmekesisuse saavutamiseks on varieeritud agregaadi sõelekõveraiga ja terade maksimaalsuurusiga, tsemendi hulgaga ning segu konsistsingiga, sealjuures silmas pidades, et saavutatavad segud oleksid töödeldavad.

Agregaadi terade maksimaalsuurused olid piiratud 7, 15 ja 30 mm. Tsemendi hulk varieerus 180 kuni 400 kg ühes m^3 valmisbetoonis ning betoonsegude konsistsingiks oli võetud valu-, plastiline ja muldniiske konsists.

Teostatud katsude üldkava ühes betoonsegude vastavate kombinatsioonidega on toodud tabelis nr. 1.

Peale mainitud kavas tähdendatud ja käesoleva uurimistöö puhul teostatud katsude on uurimistöö jaoks kasutatud veel Tugusvuslaboratooriumis 1931—1936 a. vältel teostatud tampbetooni-katsudest need katsud, millede kohta olid olemas täpsed andmed segu koostise, valmistamise viisi, hoidmise tingimuste ja tsemendi päritolu kohta.

Kõigi käesolevas uurimistöös käsitletud betoonsegude kohta on registreeritud järgmised andmed:

1. agregaadi sõelekõver ühes vastava peensusmooduliga,
2. tsemendi hulk, arvatud ühe m^3 valmisbetooni kohta,
3. agregaattsement-suhe,
4. vesitsement-suhe,
5. konsistsents raputuskatsu kaudu,
6. katsukehade hoiuruumi temperatuur ja
7. katsukehade 3-, 7- ja 28-päevased survevõrrelded.

2. Tarvitatud tsemendi omadused. Tarvitatud Port-Kunda portland-tsemendi omaduste selgitamiseks on teostatud sellekoha-

sed katsud Eesti portland-tsemendi normide¹⁾ kohaselt. Katsutuse tulemused on koondatud tabelisse nr. 2.

3. Tarvitatud agregaadi omadused. Katsudeks tarvitatud agregaat on koostatud segamise teel Tallinna linna Kurna kruusaugust võetud kruus-liivast ja Veerenni liivaaugust muretsetud liivast. Mõlemad materjalid olid enam-vähem ümmarakujuliste teradega.

Segatult kruusa ja liiva keskmine erikaal osutus $\gamma_a = 2,64$.

Katsumisel D. A. Abrams'i ja O. E. Harder'i järgi²⁾ 3%-lise NaOH-lahuga mõlemad materjalid osutusid huumusainetesalda-vuse mõttes kõlblikeks hea betooni saavutamiseks (reaktsiooni-värv: hele, peaegu värvitu, kollane).

Väljauhutavaid aineid (saviolluseid ja peentolmu) Kurna kruusaaugu kruus-liiv sisaldas 1,4% ja Veerenni liivaaugu liiv 0,7%.

Katsude puhul tarvitatud sõelekõverad on kujutatud jooniseil 1—3 ning vastavad arvulised andmed on toodud tabelis nr. 3.

Sõelekõverate alusel koostatud agregaatide peensusmoodulid m , mahukaalud M ja tühemete tegurid H on koondatud tabelisse nr. 4.

Tampbetoonist katsukehade agregaadi sõeleandmed on paigutatud tabeleisse nr. 5 ja 6.

4. Tarvitatud sõelte komplekt ja peensusmoodul. Agregaadi jämedusliikide ositamisel katsudeks tarvitatakav materjal (looduslik kruus-liiv) on eraldatud üksikuks jämedusliikideks Saksa normi-sõelte komplekti abil³⁾, mille aukude suurused on: ruuduline auk — 0,2 mm (traatsõel) ning ümmarad augud — $d = 1, 3, 7, 15$ ja 30 mm.

Mainitud sõelte komplekt ei vasta D. A. Abrams'i poolt tarvitatud Tyler'i sõelte komplektile⁴⁾.

Agregaadi peensusmooduli määramiseks on seetõttu kasu-

¹⁾ Riigi Teataja, 1926, nr. 33.

²⁾ Proceedings of the American Society for Testing Materials, Vol. XIX, Part 1, 1919, lk. 319—324.

³⁾ DIN 1170 ja 1171.

⁴⁾ D. A. Abrams, Design of Concrete Mixtures, Bulletin 1, Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago, 1925, lk. 11.

tatud A. Hummel⁵⁾) järgi logaritmilises astmikus kujutatud sõelekõveraga, ordinaatide teljega ning abstsisside teljele 100%-ile vastaval kaugusel asuva paralleeljoonega piiratud pinna suurust F .

Agregaadi peensusmoodul m avaldub sel puhul mainitud pinnasuuruse F kaudu järgmiselt⁶⁾:

$$m = 30,1 F. \quad = \frac{F}{30,1}$$

Arvesse võttes, et Tyler'i sõelte komplekt koosneb ruuduliste aukudega traatsõeltest ja et käesoleva uurimistöö puhul kõik sõelad, peale ühe, olid ümmarate aukudega plekksõelad, pole kirjeldatud viisil saavutatud peensusmoodul täpselt võrreldav D. A. Abrams'i peensusmooduliga⁷⁾.

Kirjeldatud viisil leitud peensusmooduli võrdlemiseks D. A. Abrams'i peensusmooduliga on läbi viidud üksik kats, milleks üks ja sama materjal on sõelutud kord läbi käesolevas uurimistöös tarvitatud Saksa sõelte komplekti ja veel kord läbi ruuduliste aukudega traatsõelte komplekti, mille iga järgneva sõela ava oli D. A. Abrams'i põhimõtte kohaselt kaks korda suurem eelmisest.

Sellekohaste joonisel 4 kujutatud sõelekõverate nr. 14 ja nr. 14-a abil leitud peensusmoodulite võrdlus näitas, et ümmarate aukudega Saksa sõelte komplekti tarvitamise puhul aggregaadi peensusmoodul osutub umbes 4% võrra suuremaks, kui seda annab ruuduliste aukudega traatsõelte komplekt.

Leitud peensusmooduli tähenduste vahet 4% ulatuses ei ole käesolevas uurimistöös võetud arvesse üleminekutegurina ühe sõelte-komplekti tarvitamiselt teisele, kuna mainitud vahe arvuline suurus toetub vaid üksiku katsu tulemusele.

5. Betooni konsistentsi määramine. Betooni konsistentsi mõisted: valu-, plastiline ja tampabetoon on üles seatud, väljudes ehitispraktikas esinevaist töötlemisvõimalusist. Valu- ja plastilise betoonsegude puhul on konsistents registreeritud raputuskatsu tagajärgede kaudu Saksa normide⁸⁾ kohaselt, kusjuures

⁵⁾ A. Hummel, *Die Auswertung von Siebanalysen und der Abrams'sche Feinheitsmodul*, Premier Congrès International du Béton et du Béton Armé, Liège, 1930, Vol. II, lk. 205.

⁶⁾ A. Hummel, *Das Beton-ABC*, Berlin, 1935, lk. 46.

⁷⁾ D. A. Abrams, ibidem, lk. 4 ja 11.

⁸⁾ *Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton*, 1932. Verlag von W. Ernst und Sohn, Berlin, 1932, D. § 33, lk. 62—63.

plastilise konsistentsi mõiste on piiratud raputuskatsu tulemusiga $g = 40$ kuni 45 cm ja valubetooni mõiste — piirega $g = 52$ kuni 58 cm.

Tampabetooni konsistents on võetud muldniiske (kuiv) või sellest vähe veerikkam, igal juhtumil aga niisugune, et vesi hoolsal tampimisel tuli nähtavale betooni pinnale.

Vee hulk betoonsegus on hinnatud vesitsement-suhte kaudu, s. o. segus esineva nn. vaba veehulga suhte kaudu tsemendi hulgasse (kaaluliselt), kusjuures vaba veehulk betoonsegus on võetud võrdsena juurdelisatava veehulgaga pluss agregaadi omaniiskus miinus agregaadi materjali poolt absorbeeritud vee hulk.

Tsemendi hulk betoonsegus on väljendatud kas kilogrammides ühe m^3 valmisbetooni kohta või agregaattsement-suhte kaudu, milleks on agregaadi ja tsemendi hulga kaaluline suhe.

6. Katsukehade valmistamine. Segu koostamisel katsukehade valmistamiseks on kõik osaained võetud kaaluliselt. Segu segamine teostus käsitsi labidate või kühvlite abil metallvannis. Ühe katsu seeria jaoks valmistati tavaliselt segu ühes või kahes osas.

Katsukehadena tarvitati kuubikuid mõõtudes $7,1 \times 7,1 \times 7,1$ cm agregaadi puhul maksimaalteradega kuni 7 mm ning mõõtudes $20 \times 20 \times 20$ cm agregaadi puhul kuni 30 mm tera suuruseni. Osa täiendavaid katsusid, peamiselt katsude tulemuste kontrollimiseks, teostati kuubikutega mõõtudes $10 \times 10 \times 10$ cm.

Katsukehade vormid täideti betoonseguga kahes kihis: valubetooni puhul segu hoolsalt raudoraga segades ja kergelt raputades, plastilise betooni puhul 4-sentimeetrilise küljepikkusega ruudukujulise ristlõikega puu-tampijaga käsitsi kergelt tampides ning tampabetooni puhul $20 \times 20 \times 20$ -sentimeetrilise külje-pikkusega kuubikute valmistamisel Saksa 1925. a. normide⁹⁾ kohaselt tampimist toimetades. $7,1 \times 7,1 \times 7,1$ -sentimeetrilise küljepikkusega katsukehade tampimine teostati ühes kihis Böhme-vasaraparaadiga, tarvitades 25 kuni 30 lõöki 3 kg-liste vasaratega 22-sentimeetrilise langemise körguselt. Tuleb tähendada, et lõökide arv oli määratud selle järgi, millal betooni pinnale tuli nähtavale vesi.

Katsukehade valmistamise ruumi kui ka segu osaainete —

⁹⁾ Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton, September 1925, D. §§ 4—5.

tsemendi, vee ja agregaadi temperatuur hoiti $+15^{\circ}$ kuni $+18^{\circ}$ C piires.

Katsukehades esinev tsemendi hulk on arvutatud valmisbetooni ühe m^3 kohta valemi põhjal¹⁰⁾:

$$z = \frac{z_0 M}{100} \text{ (kilogrammides)},$$

kus z_0 on tsemendi hulk betoonsegus kaalu %-des märjast segust ja M — katsukehade keskmise mahukaal kohe pärast vormide täisbetoneerimist.

7. Katsukehade alalhoidmine ja katsumine. Katsukehad vabastati vormidest 1 kuni 2 päeva pärast valmistamist ning hoiti kuni surumiseni niiskes keskkonnas, temperatuuriga $+15^{\circ}$ kuni $+18^{\circ}$ C: 7,1-sentimeetrilise küljepikkusega katsukehad niiskes saepurus ning 10- ja 20-sentimeetrilise küljepikkusega katsukehad niiskete rättide all.

Katsukehade hoiuruumi temperatuur registreeriti maksimum-miinimum-termomeetriga, kusjuures keskmise hoidmise temperatuurina on märgitud äärmiste temperatuuride keskav.

Katsumine survele on teostatud risti katsukehade tampimise või täitmise sihile, kusjuures surve tugevusena on märgitud 3, 4 või 5 katsukeha keskmised surve tugevused.

8. Survekatsude tulemused. Kõigi käesoleva uurimistöö puhul teostatud survekatsude tulemused on toodud tabelis nr. 7 ja 8, kuhu peale katskuubikute keskmiste surve tugevustele on koondatud ka kõik teised andmed, mis on registreeritud nii katsukistel kui katsukehade valmistamisel.

Tugevuslaboratooriumis varem teostatud tampbetooni katsukistel leitud surve tugevused ühes teiste sel puhul registreeritud andmetega on koondatud tabelisse nr. 9.

9. Kivinemise temperatuuri alandamise mõju betooni surve tugevusele. Kõik ülaltoodud betooni surve tugevusse puutuvad andmed on saavutatud katsukehadega, mille kivinemise temperatuur püsisis kogu aeg $+15^{\circ}$ kuni $+18^{\circ}$ C piires.

¹⁰⁾ W. Gehler, *Erläuterungen zu den Eisenbeton-Bestimmungen 1932 mit Beispielen*, Verlag von W. Ernst und Sohn, Berlin, 1933, lk. 97 toodud põhimõttele kohaselt.

Ühe katsuseeria, nimelt seeria nr. 8 puhul, osa katsukehasid on hoitud madalama temperatuuri juures selleks, et selgitada, olgugi ligikaudselt, temperatuuri alandamise mõju betooni surve tugevusele Eesti portland-tsemendi tarvitamisel.

Kuna tähendatud katsud on teostatud ainult ühe betoonseguga ning temperatuur on muutunud ainult piiratud ulatuses, siis võib neist katsude tulemusist teha ainult kvalitatiivseid, mitte aga kvantitatiivseid järeldusi.

Madalama $+15^{\circ}\text{C}$ temperatuuri juures kivinenud katsukehade surve tugevused ühes $+15^{\circ}$ kuni $+18^{\circ}\text{C}$ juures kivinenud katsukehade surve tugevusiga on koondatud tabelisse nr. 10 ja kujutatud graafiliselt joonisel 5.

Peale selle madalama kui $+15^{\circ}\text{C}$ kivinemistemperatuuriga katsukehade surve tugevused %-des $+15^{\circ}\text{C}$ kuni $+18^{\circ}\text{C}$ juures kivinenud katsukehade surve tugevusist on toodud tabelis nr. 11.

II. Katsude tulemuste ümbertöötamine.

1. Vesitsement-suhte ja betooni 28-päevase surve tugevuse vahe kord valu- ja plastilise konsistentsiga betoonsegude puhul.

Kandes joonisel 6 betooni 28-päevased surve tugevused koordinaadistikku, milles abstisside teljel esinevad vesitsement-suhte vääritud w ja ordinaatide teljel logaritmilises mõõdus betooni 28-päevased surve tugevused T_{28} , selgub, et valu- ja plastilise konsistentsiga betoonsegude surve tugevusi määравad punktid asetsevad ligikaudu ühel sirgjoonel.

Selle sirgjoone võrrand on joonisel 6 toodud andmeil järgmine:

$$\log T_{28} = 3,18 - 1,32w,$$

ehk vastavalt teisendatult *D. A. Abrams'i* valemi¹¹⁾ kohaselt:

$$T_{28} = \frac{1520}{21^w} \quad (1)$$

Sellega on kontrollitud *D. A. Abrams'i* poolt avastatud otsene sõltuvus betooni 28-päevase surve tugevuse ja betoonsegu vesitse-

¹¹⁾ D. A. Abrams, ibidem, lk. 3 ja joon. 1, lk. 15.

ment-suhte vahel ka Eesti portland-tsemendi tarvitamise puhul. Ühes sellega leiab töendust ka *D. A. Abrams'i* väide, et valu- ja plastilise konsistentsiga betooni 28-päevane surve tugevus on otseselt rippumatu teistest teguritest, nagu: agregaadi oma-dusist (peensusmoodulist) ja tsemendi hulgast.

Kõigi käesoleva uurimistöö puhul valmistatud valu- ja plastilise konsistentsiga betoonsegude 28-päevaste tegelikkude surve tugevuste kõrvalekaldumised joonisel 6 kujutatud sirgjoone abil tuletatud valemi (1) põhjal arvutatud tulemusist on koondatud tabelisse nr. 13, millest on näha, et teostatud survekatsude keskmised kõrvalekaldumised asuvad valemi (1) põhjal arvutatud tulemusist keskmiselt piirides $\pm 10\%$.

Neid kõrvalekaldumise piire arvesse võttes, tuleb tähdada, et valemi (1) põhjal osutub võimalikuks ennustada praktiliseks otsrabeks küllaldase täpsusega (keskmiselt $\pm 10\%$) betooni 28-päevast surve tugevust vastava ehitisosale kohase konsistentsiga katsusegu vesitsement-suhte kaudu.

2. Vesitsement-suhte, agregaadi peensusmooduli ja tsemendi hulga või agregaattsement-suhte omavaheline sõltuvus plastilise konsistentsiga betoonsegude puhul.

Plastilise konsistentsiga betoonsegude vesitsement-suhte, tsemendi hulga, agregaattsement-suhte ja peensusmooduli kohta kehtivad andmed on koondatud tabelisse nr. 12 ning kujutatud graafiliselt joonisel 7. Agregaadi terade maksimaalne suurus oli sealjuures 7, 15 ja 30 mm.

Joonisel 7 toodud katselised andmed näitavad, et on võimalik tõmmata kaks grupper sirgeid, nimelt: vördsete tsemendi hulkadega segudele vastavate punktide kaudu omavahel paralleel-seid sirgeid ja vördsete agregaadi peensusmoodulitega segudele vastavate punktide kaudu abstsisside teljel ühes punktis lõiku-vaid sirgeid.

Mainitud kaks grupper sirgeid on püütud haarata sellekohaste analüütiliste avaldusiga.

a. Betoонsegude vesitsement- ja agregaattsement-suhte ning tsemendi hulga väärustuse omavaheliseks sidumiseks on lähtutud asjaolust, et üks m^3 valmisbetooni saadakse agregaadi ja tsemendi õõnsusteta massist, millele lisanduvad seguvee ja õhu hulkade mahud segus.

Mainitud asjaolu võib avalduda järgmiselt:

$$\frac{a}{\gamma_a} + \frac{z}{\gamma_z} + v + b = 1000 \text{ (liitrites)},$$

kus a on ühe m^3 betooni valmistamiseks vajalik agregaadi hulk kilogrammides,

γ_a — agregaadi erikaal,

z — tsemendi hulk kilogrammides ühe m^3 valmisbetoonis,

γ_z — tsemendi erikaal,

v — seguvee hulk liitrites ühe m^3 valmis betoonis,

b — õhu hulk liitrites ühe m^3 valmis betoonis kohe pärast betoneerimist.

Avaldades a ja v agregaattsement suhte A ja vesitsement-suhte w_p kaudu:

$$a = Az$$

$$v = w_p z$$

ning tarvitades kooskõlas katsude tulemusiga õhuhulga määramiseks avaldist:

$$b = \frac{12500}{z},$$

on võimalik tuletada ülaltoodud võrrandist, ühenduses betoonsegu plastilise konsistentsi saavutamise eesmärgiga, selleks vajaliku vesitsement-suhte määramiseks järgmiste valemi:

$$w_p = \frac{1000}{z} - \frac{12500}{z^2} - \frac{1}{\gamma_z} - \frac{A}{\gamma_a} \quad (2)$$

ehk, arvestades käesoleva uurimistöö puhul leitud suurusi:

$$\gamma_a = 2,64$$

$$\gamma_z = 3,14,$$

$$w_p = \frac{1000}{z} - \frac{12500}{z^2} - 0,318 - 0,379A \quad (2\text{-bis})$$

Tuletatud avaldise (2-bis) põhjal on määratud joonisel 7 kujustatud võrdsetele tsemendi hulkadele vastavad paralleljooned.

Möödaminnes olgu sel puhul tähendatud, et ühel juhtumil, nimelt võrdlemisi väikese tsemendi hulga väärtsuse juures ($z = 180 \text{ kg/m}^3$) valemi (2-bis) põhjal arvutatud sirgjoon erines märgatavalalt katsude tulemusist. (Joonisel 7 sellekohaste katsude tulemuste alusel tömmatud sirgjoon on kujutatud täpp-joonena).

b. Betoonsegude vesitsement- ja agregaattsement-suhete ning peensusmooduli vahel korra määramiseks on kasutatud D. A. Abrams'i valemile¹²⁾ analoogset valemit, mille kuju ja koefitsiendid on valitud, püüdes läheneda joonisel 7 kujutatud katsude tulemusile:

$$w_p = 0,23 + \frac{0,30A}{1,37^m} \quad (3)$$

Toodud valem kujutab eelmainitud võrdsete peensusmoodulite segudele vastavaid abstsisside teljel ühes punktis lõikuvalt sirgeid.

Valemeid (2) ja (3) kui ka joonist 7 võib kasutada plastilise konsistentsi saavutamise eesmärgiga vajaliku vesitsement-suhte väärtsuse leidmiseks, kui on teada agregaadi peensusmoodul ja tarvitatud tsemendi hulk või agregaattsement-suhe.

Säärasel viisil leitud vesitsement-suhte väärtsuse abil ei ole raske määrata betooni 28-päevast survetugevust, kasutades selles vörrandit (1) või joonist 6.

Analoogsel viisil on koostatud joonisel 8 kujutatud diagramm, mis võimaldab määrata plastilise konsistentsiga betooni 28-päeva- seid survetugevusi, olenevalt agregaadi peensusmoodulist ja tsemendi hulgast või agregaattsement-suhtest.

Kõigi käesoleva uurimistöö puhul valmistatud plastilise konsistentsiga betoonsegude 28-päevaste survetugevuste kõrvalekal- dumised joonisel 8 kujutatud diagrammi alusel arvutatud tuge- vusist (või valemite (2) ja (1) või (3) ja (1) abil arvutatud tule- musist) on toodud tabelis nr. 13, millega näha, et tegelikkude katsude keskmised kõrvalekaldumised valemite põhjal arvutuse kaudu saavutatud tulemustest asuvad ligikaudu piires $\pm 10\%$.

Tundes sõltuvust betooni vesitsement-suhte ja agregaadi peensusmooduli ning tsemendi hulga või agregaattsement-suhte vahel, on seega võimalik ennustada praktiliseks otstarbeksi kül- lalda täpsusega (keskmiselt $\pm 10\%$) plastilise konsistentsiga betooni 28-päevast survetugevust, kasutades selleks joonisel 7 kujutatud diagrammi ühenduses valemiga (1) või rakendades betooni 28-päevase survetugevuse arvutamiseks valemeid (2) ja (1) või (3) ja (1).

Ühtlasi tuleb tähendada, et joonistel 6, 7 ja 8 toodud

¹²⁾ D. A. Abrams, ibidem, lk. 7.

diagramme on võimalik samuti kasutada ettemääratud survevugevusega betoonsegude koostamiseks, selleks leides joonisel 8 kujutatud diagrammist nõutavale survevugevusele vastavad võimalikud agregaadi peensusmooduli ja tsemendi hulga kombinatsioonid ning jooniseil 6 ja 7 toodud diagrammidest määrates plastilise konsistentsi saavutamiseks vajaliku vesitsement-suhte väärtsuse.

Valemid (2) ja (3) kui ka jooniseil 7 ja 8 kujutatud diagrammid on koostatud plastilise konsistentsiga betoonsegude jaoks. Paistab väga töenäoline elevat, et analoogsete valemite ja diagrammide koostamine on võimalik ka valukonsistentsiga betoonsegude jaoks.

3. Tampbetooni survevugevuse sõltuvus betoonsegu iseloomustavaist tegureist: vesitsement-suhtest, agregaadi peensusmoodulist ja tsemendi hulgast.

Nagu selgub joonisel 6 toodud katselisist andmeist, punktis II, 1 mainitud betooni 28-päevase survevugevuse ja betooni vesitsement-suhte vaheline sõltuvus ei ole kehtiv tampbetooni puhul.

Väga iseloomustav on tampbetooni kohta asjaolu, et sel ajal kui valu- ja plastilise konsistentsiga betooni puhul tsemendi hulk otseselt mingisugust mõju ei avalda betooni survevugevusele (avalddades seda vaid kaudselt vesitsement-suhte väärtsuse kaudu), on tampbetooni puhul tsemendi hulgal oma eriline mõju.

Kujuka näite sellest pakuvad joonisel 9 toodud Weisgerber'i katsude tulemused¹³⁾, milles selgub, et segud vahekorras 1 : 4, 1 : 6 ja 1 : 8 (kaaluliselt) omavad teatavaid piires, s. o. alates konsistentsist, mis on veerikkam kui maksimaalsele survevugevusele vastav konsistents, ligikaudu ühist survevugevust ühise vesitsement-suhte puhul.

Kõrvalekaldumised sellest ühisest joonest, kus survevugevused on sõltuvad ainult vesitsement-suhte väärtsusest, on otseselt seotud tsemendi rohkusega segus.

On väga töenäoline, et peale vesitsement-suhte ja tsemendi hulga mõjutab tampbetooni survevugevust ka agregaadi peensus-

¹³⁾ G. Eisfelder, *Betonzusammensetzung und Festigkeit*, Forcherarbeiten auf dem Gebiet des Eisenbetons, Berlin, 1927, Heft 31, lk. 7—8, joon. 1.

moodul, kuid eelmainitud *Weisgerber'i* katsud seda kahjuks ei suuda näidata, olles teostatud ühe ja sama agregaadiga.

Asudes tampbetooni survetugevuse sõltuvuse vaatlemisele, on peatumja jäädud ainult segude juurde, mille veehulk on võrdne või suurem maksimaalsele survetugevusele vastavast veehulgast, s. t. on piirdud segudega, mille konsistents on muldniiske või sellest veerikkam.

a. **Muldniiskest vähe veerikkama konsistentsiga tampbetoon.**

Tampbetooni survetugevust on püütud siduda üldjuhtumil kolme eelmainitud teguriga, nimelt: vesitsement-suhte, agregaadi peensusmooduli ja tsemendi hulgaga. Selle eesmärgi saavutamiseks on tarvitusele võetud järgmine meetod.

Agregaadi peensusmooduli ja tsemendi hulga mõju arvestamiseks tampbetooni survetugevusele on, lähtudes nende tegelikust väärustusest, määratud kõigepealt joonisel 7 kujutatud diagrammi või valemite (2) ja (3) põhjal plastilise konsistentsi saavutamiseks vajalik vesitsement-suhte w_p väärthus.

Kujutades tampbetooni asetatuna teatud fiktiivse plastilise konsistentsiga betoonseguga, on võetud tarvitusele tampbetooni fiktiivse vesitsement-suhte w_i mõiste. Selle mõiste kohaselt tampbetooni fiktiivne vesitsement-suhe w_t võrdub niisuguse plastilise konsistentsiga betoonsegu vesitsement-suhtega, mille survetugevus on võrdne tampbetooni survetugevusega. Seega tampbetooni fiktiivne vesitsement-suhe on määratav valemi (1) või joonisel 6 kujutatud diagrammi abil.

Lõpuks on oletatud, et tampbetooni survetugevused kalduvad üldiselt kõrvale valu- ja plastilise konsistentsiga betooni survetugevuse ja sellele vastava vesitsement-suhte olenevuse kõverast ehk logaritmilises mõõdus avaldatud sellekohastest sirgest nii, nagu see on kujutatud joonisel (10), s. t., et kuni maksimaalse survetugevuseni tampbetooni tegeliku vesitsement-suhe w , plastilisele konsistentsile vastava vesitsement-suhe w_p ja tampbetooni survetugevusele vastava fiktiivne vesitsement-suhe w_t on omavahel seotud lineaarselt, s. o. esimese astme avaldisega.

Arvestades katsude põhjal leitud keskmisi väärtsusi, tampbe-

tooni survevugevusele vastav fiktiivne vesiitsement-suhe avalduks kooskõlas tehtud oletusega järgmiselt:

$$w'_t = \frac{w + 1,75 w_p}{2,75} \quad (4).$$

Kõigi käesolevas uurimistöös käsitletud tampbetooni katsukehade survevugevuste kõrvalekaldumised valemitide (4) ja (1) rakendamisel leitud tulemusist on toodud tabelis nr. 14.

Nagu näha selle tabeli andmeist, asuvad katsude tulemuste keskmised kõrvalekaldumised valemitide (4) ja (1) põhjal arvutatud tulemusist ligikaudu piires $\pm 10\%$.

Lähtudes leitud muldniiskest vähe veerikkama konsistentsega tampbetooni survevugevusest seda liiki betooni iseloomustavaist tegureist, on võimalik ennustada praktiliseks otsrabeks küllaldase täpsusega säärase tampbetooni 28-päevast survevugevust valemitide (4) ja (1) või valemi (4) ja joonisel 6 kujutatud diagrammi abil.

b. Muldniske konsistentsega tampbetoon.

Kui tampbetooni konsistents on muldniiske, siis betooni survevugevus asub selle maksimaalse väärtsuse läheosal ning tegelikul vesiitsement-suhte väärtsusel ei ole sel puhul praktiliselt märgatavat mõju betooni survevugevusele, kuna selle muutumisel tunnatavis piires betooni survevugevus ei näita peaaegu mingisugust märgatavat muutumist.

Lähtudes sellest nähtusest, on võimalik avaldada muldniiske konsistentsega tampbetooni survevugevusele vastavat fiktiivset vesiitsement-suhet ainult tsemendi hulga ja agregaadi peensusmooduli kaudu, tarvitades nende arvutamiseks eelpool mainitud plastilise konsistentsi saavutamiseks vajaliku vesiitsement-suhte väärust ning oletades, et tampbetooni survevugevusele vastav fiktiivne vesiitsement-suhe w'_t on proporsionaalne plastilise konsistentsi saavutamiseks vajaliku vesiitsement-suhtele.

Katsude keskmiste tulemuste alusel on määratud vastav võrdetegur, mille kohaselt muldniiske konsistentsega tampbetooni survevugevusele vastavat fiktiivset vesiitsement-suhet on võimalik avaldada järgmiselt:

$$w'_t = 0,85 w_p \quad (5).$$

Kõik käesoleva uurimistöö puhul muldniiske konsistentsiga tampbetooni valmistatud katsukehade survetugevuste kõrvale-kaldumised valemite (5) ja (1) rakendamisel saadud tulemusist on koondatud tabelisse nr. 14, millest selgub, et katsude tulemuste keskmised kõrvalekaldumised valemite (5) ja (1) alusel arvutatud tulemusist osutuvad ligikaudu piires $\pm 8\%$.

Olgu mõõdaminnes juhitud tähelepanu asjaolule, et katsude tulemuste hälbed muldniiske konsistentsiga tampbetooni puhul osutusid suhteliselt väiksemaiks, kui katsude tulemuste kõrvale-kaldumised muldniiskest vähe veerikkama konsistentsiga tampbetooni puhul (juhus a). Seda asjaolu tuleb seletada vast sellega, et juhtumil (b) tarvitatud betoonsegud olid väga ühtlaselt valmistatud ja vastasid täpselt muldniiske konsistentsile.

Mõida täpselt
mõõtata nä
võtset kõ
tund?

Tundes sõltuvust muldniiske konsistentsiga tampbetooni survetugevuse, tarvitatud agregaadi peensusmooduli ning tsemendi hulga vahel, on võimalik ennustada praktiliseks otstarbeks kül-laldase täpsusega muldniiske tampbetooni 28-päevast survetuge-vust valemite (5) ja (1) või valemi (5) ja joonisel 6 toodud diag-rammi abil.

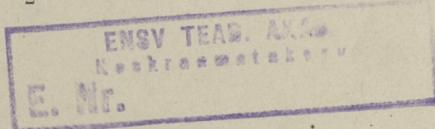
4. Betooni 28-päevase survetugevuse vahekord vähema kivinemisvanusega katsukehade survetugevusiga.

Selleks et avaldada betooni 28-päevast survetugevust vähema kivinemisvanusega katsukehade survetugevuse kaudu, on vaja tunda tarvitatava tsemendi kivinemiskäiku.

Nagu väidab *A. Hummel*¹⁴⁾, kujutab betooni survetugevuse muutumine logaritmilises mõõdus avaldatud kivinemisaja suhtes siinus-taolise kõvera osa, mille käänupunkt asub 3 ja 28 päeva vahel ja millisele kõverale mainitud vahemikus võib vaadata kui sirgjoonele.

Nagu selgub joonisel 11 kujutatud diagrammest, on *A. Hummel*'i väide kehtiv ka Eesti portland-tsemendi kohta, kuid teatava omapärasusega; nimelt iseloomustab Eesti portland-tse-menti asjaolu, et siinustaolige kõvera ärakäändumine sirgjoonest teostub vähne enne 28 päeva.

¹⁴⁾ A. Hummel, *Das Vorhersagen der 28-Tage-Betonfestigkeit auf Grund von Versuchen nach 3 und 7 Tagen, „Zement“*, 1932, nr. 7, lk. 94.



See asjaolu tõendab muuseas Eesti portland-tsemendi võrdlemisi suuremat kivinemiskiirust ning selle lähenemist seega kõrgevääruslikule portland-tsemendile.

a. Betooni 28-päevase surve tugevuse määramine 3- ja 7-päevaste surve tugevuste kaudu.

Tundes eelmainitud kivinemissirgel (kõveral) 3 ja 28 päeva vahel kaht punkti, on võimalik määrata betooni 28 päevale vastavat surve tugevust.

Võttes *A. Hummel'i*¹⁵⁾ soovitusel kaheks sääraseks sirget määrvaks punktiks 3- ja 7-päevased betooni surve tugevused, on võimalik tähendatud sirge määrata kas graafiliselt, nagu seda teeb *A. Hummel*, või analüütiliselt tähendatud sirgjoone võrrandi kaudu.

Sirgjoone võrrand avaldub joonise 12 põhjal järgmiselt:

$$T_x = T_7 + \frac{\log \frac{x}{7}}{\log \frac{7}{3}} (T_7 - T_3),$$

kus T_x , T_3 ja T_7 kujutavad vastavalt x , 3- ja 7-päevase kivinemisvanusega betooni surve tugevusi.

Asetades eeltoodud avaldisse logaritmide arvulised väärtsused ning võttes $x = 28$, leiate:

$$T_{28} = 2,636T_7 - 1,636T_3.$$

Arvesse võttes, et Eesti portland-tsemendi puhul betooni kivinemise kõver kaldub kõrvale eeltoodud avaldise tuletamisel aluseks võetud sirgest enne 28 päeva, betooni 28-päevane tegelik surve tugevus võrdub sirgjoone kohaselt tuletatud betooni 28-päevase surve tugevusega, korrutatud katsude keskmiste tulemuste alusel leitud teguriga 0,92.

Seega Eesti portland-tsemendi tarvitamisel betooni 28-päevane surve tugevus avaldub 3- ja 7-päevase kivinemisvanusega katsukehade surve tugevuste kaudu järgmiselt:

$$T_{28} = 2,42T_7 - 1,51T_3 \quad (6).$$

¹⁵⁾ A. Hummel, *Das Vorhersagen . . . ibidem „Zement“*, 1932, nr. 7, lk. 93.

Kõigi käesoleva uurimistöö puhul teostatud sellekohaste katsude tulemuste kõrvalekaldumised valemi (6) põhjal arvutatud tulemusist on toodud tabelis nr. 15, millest on näha, et teostatud katsude tulemuste kõrvalekaldumised valemi (6) põhjal arvutatud tulemustest asuvad ligikaudu piires $\pm 7\%$.

Eeltoodud sõltuvus betooni 28-päevase ning 3- ja 7-päevaste survetugevuste vahel võimaldab valemi (6) abil ennustada praktiliseks otstarbeks küllaldase täpsusega betooni 28-päevast survetugevust.

b. Betooni 28-päevase survetugevuse määramine 7-päevase tugevuse kaudu.

Vaadeldes joonisel 11 kujutatud kivinemiskõverate sirgjoone-liste osade pikendusi vasakule poole, selgub, et neist suurem osa lõikub ühes punktis abstsisside teljel. See asjaolu võimaldab määrrata iga betoonsegu kohta kehtivat sirget ainult ühe punkti, s. o. ühe kivinemisvanusega katsukehade survetugevuse kaudu.

Võttes mainitud lõikpunkt kiitmiseks kauguseks abstsisside teljel $\log k = 0,12$, on võimalik määrrata betooni kivinemise sirget joonise 12 kohaselt järgmise avaldisega:

$$T_x = T_a \cdot \frac{\log \frac{x}{k}}{\log \frac{a}{k}},$$

kus T_x ja T_a kujutavad vastavalt x - ja a -päevase vanusega betooni survetugevusi.

Võttes betooni tundud survetugevuseks 7-päevase tugevuse ($a = 7$) ning arvestades seda, et betooni 28-päevane survetugevus osutub Eesti tsemendi kivinemise omapärasuse töttu 0,92 sirgjoone kohaselt arvutatud tugevusest, betooni 28-päevane survetugevus avaldub betooni 7-päevase survetugevuse kaudu järgmiselt:

$$\underline{T_{28} = 1,7 T_7} \quad (7).$$

Kõigi käesoleva uurimistöö puhul teostatud sellekohaste katsude tulemuste hälbed valemi (7) põhjal arvutatud tulemusist on toodud tabelis nr. 15, millest selgub, et katsude tulemuste keskmised kõrvalekaldumised valemi (7) põhjal arvutatud tulemustest asuvad ligikaudu piires $\pm 8\%$.

Tundes eelmainitud sõltuvust betooni 28-päevase ja 7-päevase surve tugevuse vahel on võimalik ennustada valemi (7) abil praktiliseks otstarbeks küllaldase täpsusega betooni 28-päevast surve tugevust.

Eelpool betooni 28-päevane surve tugevus oli leitud 7-päevase surve tugevuse kaudu lineaarfunktsiooni abil.

On võimalik määrama betooni 28-päevast surve tugevust, olevalt tema 7-päevastest tugevusest, ka mõne teise funktsiooni, näiteks järgmiste Ameerika päritoluga valemi¹⁶⁾ abil:

$$T_{28} = T_7 + n \sqrt{T_7} \quad (8),$$

kus, nagu leitud käesoleva urimistöö puhul teostatud katsude keskmiste tulemuste alusel, tegurile n tuleb anda väärthus 7.

Kõigi käesoleva urimistöö puhul teostatud vastavate katsude tulemuste kõrvalekaldumised valemi (8) põhjal arvutatud tulemusist on toodud tabelis nr. 15.

Valemite (7) ja (8) põhjal arvutatud surve tugevused on rühmitatud tabelis nr. 16 betooni tegeliku surve tugevuse suuruse järjekorras.

Kui loobuda valemi (8) kasutamisest betoonsegude puhul, mille surve tugevus on alla 80 kg/cm², arvesse võttes seda, et nende kohta valem (8) näitab süsteematiselt suuri kõrvalekaldumisi betooni tegelikust surve tugevusest, siis jõuame veendumusele, et katsude andmete keskmised hälbed valemi (8) põhjal arvutatud tulemusist asuvad piires $\pm 8\%$, s. o. ligikaudu samus piires, milliseid võimaldab valem (7).

Seega on võimalik kasutada valemit (8) betooni 28-päevase surve tugevuse ennustamiseks niisama edukalt nagu valemit (7), ainult selle vahega, et valem (8) ei ole kohane tarvitamiseks betoonsegude puhul, mille surve tugevused on alla 80 kg/cm².

5. Madala kivinemise temperatuuri mõju betooni surve tugevusele ja selle ennustamisele.

Nagu eelpool mainitud, ei ole käesoleva urimistöö puhul selgitatud temperatuuri alandamise mõju betooni kivinemisele kvan-

¹⁶⁾ *Engineering News-Record*, 1925, nr. 7. (A. Hummel, *Das Vorher-sagen...* ibidem „Zement“, 1932, nr. 7 lk. 94, alamärkus 6).

titatiivselt suuremas ulatuses. Seda küsimust on puudutatud ainult sedavõrd, kuivõrd see riivab ülesseatud probleemi, s. o. betooni 28-päevase survetugevuse ennustamist.

Nagu selgub tableis nr. 10 ja 11 toodud andmeist, betooni 28-päevane survetugevus langeb ühes kivinemise temperatuuri langemisega. Näiteks temperatuuri langemisel $+16,2^{\circ}\text{C}$ kuni $+10,1^{\circ}\text{C}$, s. o. $6,1^{\circ}\text{C}$ võrra, survetugevus langes suhteliselt vähe, ainult 7,8%; kuid temperatuuri langemisel kuni $+5,6^{\circ}\text{C}$, s. o. $10,6^{\circ}\text{C}$ võrra, betooni survetugevus langes juba tunduvalt, nimelt 18,2% võrra.

Sellest järgneb, et ülaltoodud betooni 28-päevase survetugevuse ennustamiseks määratud valemitate tulemusi võib võrrelda ainult nende survekatsude tulemusiga, mis on saadud katsukehade abil ja mille kivinemise tingimused on olnud samasugused, nagu see on aset leidnud käesoleva uurimistöö puhul, s. o. kivinemine on teostunud temperatuuri juures $+15^{\circ}\text{C}$ kuni 18°C piires.

Kivinemise temperatuuri mõju betooni 28-päevase tugevuse ennustamisele vähemana kivinemisvanusega katsukehade survetugevuste kaudu on väga märgatav, eriti kui tähendatud katsukehad on kivinenud madalama temperatuuri juures.

Selle väite illustreerimiseks on toodud tabelis nr. 17 madalama temperatuuri juures kivinenud katsukehade survetugevuste kaudu arvutatud 28-päevased betooni survetugevused ühes katsuseeria nr. 8 tegelikkude katsude tulemuste ja nende kõrvalekaldumisiga protsentides.

Huvitava kõrvvalnähtusena madalama temperatuuri juures kivinenud katsukehade puhul saadud tulemusist (tabelid nr. 11 ja 17 ning joonis 5) võiks mainida asjaolu, et madalama kivinemis-temperatuuri tõttu betooni survetugevused jäavad vordlemisi rohkem maha kivinemise algpäevil kui pikema kivinemisaja puhul. Näib, nagu „jõuaks“ betooni kivinemine hiljem järele, algul „mahajäänud“ osa võrra.

III. Katsude tulemuste kokkuvõte.

Käesoleva uurimistöö tulemusena tuleks lugeda rea meetodite väljakujundamist betooni 28-päevase survetugevuse ennustamiseks Eesti portland-tsemendi tarvitamisel.

Tähendatud meetodid omavad praktiliseks otstarbekts küllal-dast täpsust, s. o. nende tulemuste viga ei ületa keskmiselt tehnisti kalkulatsioonide puhul harilikult lubatavaid piire $\pm 10\%$.

Sealjuures tuleb silmas pidada, et tähendatud meetodid näevad ette kruus-liiva agregaati ja betooni käsitsi segamise viisi.

Betooni survevuse ennustamise meetodid oleksid järgmised:

M e e t o d A. See meetod käsiteb valu- ja plastilise konsistentsiga hästi töödeldavate betoonsegude ($g > 40$ cm) 28-päevase survevuse ennustamist segu tegeliku vesitsement-suhte kaudu Eesti portland-tsemendile kohandatud koefitsentidega *D. A. Abrams'i* valemi (1) või joonisel 6 toodud diagrammi abil.

M e e t o d B, a. Plastilise konsistentsiga ($g = 40$ kuni 45 cm) betoonsegude 28-päevase survevuse ennustamine teostub arvutatud vesitsement-suhte kaudu.

Betoonsegude plastilise konsistentsi saavutamiseks vajaliku vesitsement-suhte arvutamine toimub valemite (2) või (3) või joonisel 7 toodud diagrammi abil tarvitatava agregaadi peensusmooduli ja tsemendi hulga või agregaattsement-suhte kaudu.

Betooni ennustatava 28-päevase survevuse arvutamine teostub leitud vesitsement-suhte põhjal meetodi A kohaselt valemi (1) või joonisel 6 toodud diagrammi abil.

M e e t o d B, b. See meetod võimaldab plastilise konsistentsiga ($g = 40$ kuni 45 vm.) betoonsegude 28-päevase survevuse ennustamist joonisel 8 toodud diagrammi abil agregaadi peensusmooduli ja tarvitatava tsemendi hulga või agregaattsement-suhte kaudu.

M e e t o d C, a. Tampbetooni 28-päevase survevuse ennustamine toimub üldiselt nn. *tampbetooni fiktiivse vesitsement-suhte* kaudu.

Konsistentsi juures, mis asub muldniiske ja plastilise konsistentsi piires, tampbetooni fiktiivse vesitsement-suhte määramine teostub valemi (4) põhjal, kusjuures segu plastilise konsistentsi saavutamiseks tarvilik vesitsement-suhe tuleb arvutada valemite (2) või (3) või joonisel 7 toodud diagrammi abil.

Peale seda kui tähendatud fiktiivne vesitsement-suhe on määratud, tampbetooni 28-päevase survevuse arvutamine teostub leitud fiktiivse vesitsement-suhte kaudu meetodi A kohaselt valemi (1) või joonisel 6 toodud diagrammi põhjal.

M e e t o d C, b. Muldniseke tampbetooni 28-päevase survetugevuse ennustamine toimub samuti betooni survetugevusele vastava fiktiivse vesitsement-suhte kaudu.

Fiktiivse vesitsement-suhte määramine teostub käesoleval juhul valemiga (5) abil tarvitatava agregaadi peensusmooduli ja tsemendi hulga või agregaattsement-suhte põhjal valemite (2) või (3), või joonisel 7 toodud diagrammi abil arvutatud plastilisele konsistentsile vastava vesitsement-suhte kaudu.

Peale selle muldniseke tampbetooni 28-päevase survetugevuse ennustamine teostub meetodi A kohaselt valemiga (1) või joonisel 6 toodud diagrammi abil.

M e e t o d D, a. Betooni 28-päevase survetugevuse ennustamine 3- ja 7-päevaste katsukehade survetugevuste kaudu toimub valemiga (6) põhjal.

Tuleb tähendada, et valem (6) on kehtiv kõigi töödeldavate valu-, plastilise ja muldniseke konsistentsiga betoonsegude kohta, kui on rahuldatud nõudmine, et 3- ja 7-päevased katsukehad on kivinenud temperatuuri juures $+15^{\circ}$ kuni $+18^{\circ}$ C.

M e e t o d i d D, b ja D, c. Betooni 28-päevase survetugevuse ennustamine 7-päevaste katsukehade survetugevuste kaudu on võimalik valemite (7) või (8) abil, seejuures silmas pidades, et valem (8) ei ole kehtiv betoonsegude puhul survetugevusega alla 80 kg/cm^2 .

Valemid (7) ja (8) on kehtivad kõigi töödeldavate valu-, plastilise ja muldniseke konsistentsiga betoonsegude kohta, kui 7-päevased katsukehad on kivinenud temperatuuri $+15^{\circ}$ kuni $+18^{\circ}$ C juures.

Tabelis nr. 18 on kokkuvõetult toodud betooni survetugevuse ennustamiseks ette pandud meetodite ülesseadmisel teostatud katsume tulemuste kõrvalekaldumised mainitud meetodite kaudu arvutatud tulemusist.

L ö p p k o k k u v õ t e. Parema kooskõlastatud ülevaate saavutamiseks ette pandud meetodeist betooni 28-päevase survetugevuse ennustamiseks Eesti portland-tsemendi tarvitamisel, kõik tähdendatud meetodeisse puutuvad andmed ühes meetodite kasutamise juhnõöridega on koondatud alljärgnevasse üldkokkuvõttesse.

Sel puhul olgu siin kokkuvõtlikult toodud valemeis esinevate suuruste tähenused:

- T_{28} tähendab betooni 28-päevast tugevust,
 T_7 " " 7- " " ,
 T_3 " " 3- " " ,
 w betoonsegu tegelikku vesitsement-suhet, s. o.
segule juurdelisatud veehulka pluss aggregaadi
omaniiskus miinus aggregaadi poolt absorbee-
ritud veehulk, jagatud tsemendi hulgaga segus
(kaaluliselt),
 w_p plastilise konsistentsi saavutamiseks vajalikku
vesitsement-suhet,
 w_t' tampbetooni surve tugevusele vastavat fiktiiv-
set vesitsement-suhet,
 m aggregaadi peensusmoodulit Saksa sõelte kompli-
lekti kasutamisel,
 z tsemendi hulka kilogrammides ühes m^3 val-
misbetoonis,
 A aggregaattsement-suhet, s. o. aggregaadi ja tse-
mendi hulkade kaalulist suhet segus,
 g betoonsegu konsistentsmõõtu sentimeetreis
Saksa normide kohaselt teostatud raputus-
katsu puhul,
 M aggregaadi mahukaalu kilogrammides liitri
kohta.

Betooni 28-päevase surve tugevuse ennustamise
(määramise) juhtnörid.

Märkus: Betooni kivinemine peab toimuma $+15^{\circ}$ kuni $+180^{\circ}\text{C}$ temperatuuriga keskkonnas.

Meetod	Meetodite kasutamise piirid	Katsude abil määratavad vajalikud suurused	Valemite ja jooniste kasutamise kord
A	Valu- ja plastilise konsistentsiga betoonsegud: $g > 40 \text{ cm.}$	w	T_{28} on määratav D. A. Abrams'i järgi valemiga $T_{28} = \frac{1520}{21w} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (1)$ või joonisel 6 toodud diagrammi abil.
B, a	Plastilise konsistentsiga betoonsegud: $g = 40 \text{ kuni } 45 \text{ cm.}$	m ja z või m ja A	Vesitsement-suhe on määratav valemeiga: $w_p = \frac{1000}{z} - \frac{12500}{z^2} - 0,318 - 0,379 A. \quad (2)$ $w_p = 0,23 + \frac{0,30 A}{1,37^m} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (3)$ või joonisel 7 toodud diagrammi abil. T_{28} määramine teostub peale selle leitud w_p alusel meetodi A kohaselt.
B, b	Plastilise konsistentsiga betoonsegud: $g = 40 \text{ kuni } 45 \text{ cm.}$	m ja z või m ja A	T_{28} on määratav joonisel 8 toodud diagrammi abil.
C, a	Muldniiskest kuni plastilise konsistentsiga betoonsegud.	m, w ja z või m, w ja A	Kõigepealt tuleb määrata: 1) vesitsement-suhe w_p meetodi B, a kohaselt ja 2) tampbetooni surve tugevusele vastav fiktitiivne vesitsement-suhe w'_t valemi põhjal: $w'_t = \frac{w + 1,75 w_p}{2,75} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (4)$ T_{28} määramine teostub peale selle meetodi A kohaselt.
C, b	Muldniiske konsistentsiga betoonsegud.	m ja z või m ja A	Kõigepealt tuleb määrata: 1) vesitsement-suhe w_p meetodi B, a kohaselt ja 2) tampbetooni surve tugevusele vastav fiktitiivne vesitsement-suhe w'_t valemi põhjal: $w'_t = 0,85 w_p \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (5)$ T_{28} määramine teostub peale selle meetodi A kohaselt.
D, a	Kõik töödeldavad valu-, plastilise ja muldniiske konsistentsiga betoonsegud.	T_3 ja T_7	T_{28} on määratav valemeiga: $T_{28} = 2,42 T_7 - 1,51 T_3 \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (6)$
D, b			$T_{28} = 1,70 T_7 \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (7)$
D, c		T_7	$T_{28} = T_7 - 7 \sqrt{T_7} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (8)$ Engineering News-Record järgi.

On the Prediction of the 28-day Compressive Strength of Concrete Mixtures Using Estonian Portland-Cement

BY

O. Maddison and H. Oengo

I. Short description of the tests carried out by the Strength Laboratory of the Tallinn Institute of Technology during the period 1936/1937.

The Strength Laboratory of the Tallinn Institute of Technology had set itself the task as an investigation problem for the period 1936/37 to work out the most suitable methods of determining the 28-day compressive strength of concrete when using Estonian Portland-Cement.

For this purpose the Strength Laboratory has carried out a large number of corresponding tests with concrete mixtures of the possibly greatest variety being used in practice. The diversity of mixtures has been obtained by varying the sieve analysis curves of aggregate, the quantities of cement and the consistencies of mixtures as well as paying especial attention to their good workability.

For the valuation of the compressive strength of concrete, the strength of the specimens (cubes) made by hand and kept for 28 days in a damp place at a temperature of from +15° to +18° C has been taken.

The list of tests carried out by the Strength Laboratory is shown in Table No. 1.

As an aggregate a mixture of natural gravel and sand of almost round granulation has been used.

The Portland-cement of the Estonian Port-Kunda Cement Manufactory Ltd used for the present investigation was tested in accordance with the Estonian Standards for the Testing of Portland-Cement¹⁾. The results are concentrated in Table No. 2.

The sieve analysis curves of the aggregate used have been

¹⁾ Riigi Teataja 1926, No. 33.

made up in logarithmic scale according to the set of German Standard Sieves²⁾.

The fineness modulus of the aggregate has been determined by the value of the area, as specified by A. Hummel³⁾ by the sieve analysis curve represented in logarithmic scale. It is possible to turn from the value of the area mentioned to D. A. Abrams' shape of the fineness modulus by the following expression:

$$m = 30,1 F,$$

where m denotes the D. A. Abrams' fineness modulus and

F „ the value of the area, as specified by A. Hummel by the sieve analysis curve mentioned.

As German Standard Sieves with round openings have been used when carrying out the sieve analysis curves, the fineness modulus found in this manner is not strictly comparable with D. A. Abrams' fineness modulus⁴⁾ being usually determined by the Tyler Standard Sieves made of square-mesh wire cloth.

In order to clear the state, a comparative test has been undertaken, which has shown that by using sieves with round openings the fineness modulus received is nearly 4% greater than the fineness modulus determined by the Tyler standard square-mesh sieves.

The corresponding comparative data are shown in Fig. 4.

The casting and plastic consistency of concrete has been determined by a shaking test according to the German Standards⁵⁾.

The consistency of cast concrete has been taken in the domain $g = 52$ to 58 cm and that of plastic concrete — in the domain $g = 40$ to 45 cm.

²⁾ DIN 1170 and 1171.

³⁾ A. Hummel, *Die Auswertung von Siebanalysen und der Abramsche Feinheitsmodul*. Premier Congrès International du Béton et du Béton Armé, Liège, 1930, Vol. II, p. 205.

A. Hummel, *Das Beton-ABC*, Berlin, 1935, p. 46.

⁴⁾ D. A. Abrams, *Design of Concrete Mixtures*, Bulletin 1, Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago, 1925, pp. 4 and 11.

⁵⁾ *Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton*, 1932. Verlag von W. Ernst u. Sohn, Berlin, 1932, D, § 3, pp. 62—63.

The consistency of tamped concrete has been determined as earth-moist or as consistency with a little greater watercontent, than it corresponds to the earth-moist consistency.

The quantity of mixing-water was valued by the water-cement-ratio, that is by the weight-ratio of water and cement.

The quantity of cement has been calculated in kg referred to a m³ of prepared concrete⁶⁾ or determined by the aggregate-cement-ratio, that is by the weight-ratio of aggregate and cement quantities.

The data concerning the aggregate used, and the sieve analysis curves are given in Tables Nos. 3—6 and plotted in Figs. 1—3.

The results of compressive strength tests carried out by the Strength Laboratory are shown in Tables Nos. 7, 8 and 9 and plotted in Fig. 11.

The influence of low temperature on the hardening process of concrete has been cleared by the test-series No. 8. The results of the tests referring to it are placed in Tables Nos. 10 and 11 and plotted in Fig. 5.

As these tests have been carried out with only one series of specimens it should be possible to draw only qualitative conclusions from them and this only as much as they refer to the problem to be solved.

II. Summary of the testing results.

Taking as a basis the results of the tests carried out it is possible to make the following summary regarding the methods described below to determine the 28-day compressive strength of concrete using Estonian Portland-Cement and aggregate in the shape of natural gravel and sand.

A. Cast and Plastic Concrete. Based on the data shown in Fig. 6 the 28-day compressive strength of concrete of casting and plastic consistency ($g > 40$ cm) has been determined in accordance with D. A. Abrams⁷⁾ depending on the water-cement-ratio in the following manner:

⁶⁾ W. Gehler, *Erläuterungen zu den Eisenbeton-Bestimmungen 1932 mit Beispielen*, Berlin, 1933; agreeing with the principle brought on the page 97.

⁷⁾ D. A. Abrams, ibidem, p. 3 and Fig. 1.

$$T_{28} = \frac{1520}{21w} \quad (1)$$

where T_{28} denotes the 28-day compressive strength of concrete in kg/cm² and w — the water-cement-ratio of concrete mixture.

The divergences of the results of the tests carried out from the results calculated by the aid of formula (1) or the diagram shown in Fig. 6 are brought in Table No. 13.

These divergences allow one to conclude that beginning with the real water-cement-ratio of concrete mixtures it is possible to determine by the aid of the formula (1) or diagram shown in Fig. 6 for practical purposes with sufficient accuracy the 28-day compressive strength of cast and plastic concrete.

B. Plastic concrete. The testing results referring to the plastic concrete mixtures ($g = 40$ to 45 cm) are concentrated in Tables Nos. 12 and 13 and plotted in Fig. 7, where by the aid of points corresponding to the concrete mixtures with equal values of fineness modulus a set of straight lines has been determined crossing the axis of w in one point, and by the aid of points corresponding to the concrete mixture with equal quantities of cement — a set of parallels.

In the following we have endeavoured to translate the two sets of straight lines mentioned into analytical expressions.

a. In order to connect one with another the water-cement-ratio, the aggregate-cement-ratio and the quantity of cement of the concrete mixtures, that is to determine the mathematical expression corresponding to the set of parallels mentioned we have begun with the consideration that one m³ of prepared concrete consists of poreless masses of aggregate and cement to which the volumes of mixing water and air are to be added.

The consideration mentioned is expressed as follows:

$$\frac{a}{\gamma_a} + \frac{z}{\gamma_z} + v + b = 1000 \text{ (in liters)},$$

where a denotes the quantity of aggregate in kilogrammes sufficient to make one m³ of concrete,

γ_a „ the specific gravity of aggregate,

z „ the quantity of cement in kilogrammes in one m³ prepared concrete,

- γ_z denotes the specific gravity of cement,
 v „ the quantity of mixing water in one m³ of prepared concrete,
 b „ the quantity of air in one m³ of prepared concrete directly after the making.

Expressing a and v correspondingly by the aggregate-cement-ratio A and the water-cement-ratio w_p :

$$a = Az$$

$$v = w_p z$$

and using in correspondence with the testing results for the determination of the air quantity the expression:

$$b = \frac{12500}{z},$$

it is possible in connection with the purpose of obtaining a plastic consistency of concrete to derive from the equation abovementioned the following formula for the determination of water-cement-ratio securing plastic consistency:

$$w_p = \frac{1000}{z} - \frac{12500}{z^2} - \frac{1}{\gamma_z} - \frac{A}{\gamma_a} \quad (2).$$

Taking into account in connection with the present investigation the quantities found:

$$\gamma_a = 2,64$$

$$\gamma_z = 3,14$$

the preceding formula can be presented in the following manner:

$$w_p = \frac{1000}{z} - \frac{12500}{z^2} - 0,318 - 0,379 A \quad (2\text{-bis}).$$

b. In order to connect mutually the fineness modulus, the aggregate-cement-ratio and the water-cement-ratio of the concrete mixtures, that is to determine the mathematical expression corresponding to the set of straight lines crossing the axis of w in one point the following formula analogous to D. A. Abrams' ⁸⁾ formula has been utilized, the shape and the coefficients of the formula being chosen suitable to the test results plotted in Fig. 7:

$$w_p = 0,23 + \frac{0,30 A}{1,37^m} \quad (3).$$

⁸⁾ D. A. Abrams, ibidem p. 7.

The formulae (2) and (3), also the diagram in Fig. 7 can be used to determine the water-cement-ratio necessary to obtain concrete mixtures of plastic consistency when the fineness modulus and the quantity of cement or the aggregate-cement-ratio are given.

On the basis of the water-cement-ratio found it is possible to determine further the 28-day compressive strength of concrete making use for this purpose of the equation (1) or the diagram in Fig. 6.

The diagram in Fig. 8 made up in a manner analogous to the diagram in Fig. 7 allows to determine the 28-day compressive strength of plastic concrete mixtures depending on the fineness modulus of aggregate and the quantity of cement used or the aggregate-cement-ratio.

The divergences of the tested 28-day compressive strengths of plastic concrete mixtures compared with the strength results calculated by the diagram in Fig. 8 or the formulae (2) and (1) or (3) and (1) are given in Table No. 13, from which we can see that the method described possesses for practical purposes sufficient accuracy to determine the 28-day compressive strength of plastic concrete mixtures.

C. Tamped concrete. As is to be seen from the diagram shown in Fig. 6 the relation between the water-cement-ratio and the 28-day compressive strength, valid for cast and plastic concrete mixtures, does not exist regarding tamped concrete.

It is characteristic that while the quantity of cement does not directly influence the compressive strength of cast and plastic concrete mixtures (doing it indirectly by the value of water-cement-ratio) it possesses an especial influence on the compressive strength of tamped concrete mixtures.

A convincing example of it is given in the tests carried out by Weisgerber⁹⁾ and shown in Fig. 9.

From the testing results mentioned is to be seen that the concrete mixtures used possess in certain domain beginning with the consistency of concrete mixture, which is richer in water

⁹⁾ G. Eisfelder, *Betonzusammensetzung und Festigkeit*, Forscherarbeiten auf dem Gebiet des Eisenbetons, Berlin, 1927, Heft 31, pp. 7—8 and Fig. 1.

than the mixture corresponding to the maximum of compressive strength, a common compressive strength depending on water-cement-ratio.

The divergences from the common line, where the compressive strength of concrete mixtures depends only on the water-cement-ratio, are directly connected with the quantities of cement.

It is probable that besides the water-cement-ratio and the quantity of cement the compressive strength of tamped concrete is influenced also by the fineness modulus of aggregate, but the tests of *Weisgerber* mentioned, being carried out with one and the same aggregate, do not show it.

Considering the compressive strength relation of tamped concrete mixtures the water content of which is equal or greater than that corresponding to the maximum of compressive strength, we have adhered to the mixtures whose consistency is earth-moist or richer in water.

a. Tamped concrete the consistency of which is a little richer in water than that of an earth-moist consistency.

In the following we have endeavoured to connect the compressive strength of tamped concrete with three factors above mentioned, namely: the water-cement-ratio, the fineness modulus of aggregate and the quantity of cement.

For this purpose it has proved suitable to use a fictitious water-cement-ratio of tamped concrete, equal to the water-cement-ratio of such a concrete of plastic consistency whose compressive strength is equal to that of the tamped concrete considered.

We take for granted:

1) that the compressive strengths of tamped concrete diverge from the curve representing the relation between compressive strength and water-cement-ratio of cast and plastic concrete or, which is the same, from the corresponding straight line representing the relation mentioned in logarithmic measure in the manner shown in Figs. 6 and 10,

2) that up to the maximum of compressive strength of tamped concrete exists a linear relation between three following water-cement-ratios:

- a) the real water-cement-ratio w of concrete considered,
- b) the water-cement-ratio of plastic consistency w_p corresponding to the real fineness modulus of aggregate and the real quantity of cement used and
- c) the fictitious water-cement-ratio w'_t corresponding to the real compressive strength of tamped concrete.

The testing results show that the fictitious water-cement-ratio w'_t depends on w and w_p , as follows:

$$w'_t = \frac{w + 1,75 w_p}{2,75} \quad (4).$$

On the basis of the fictitious water-cement-ratio found it is possible to determine the 28-day compressive strength of tamped concrete utilizing the equation (1) or the diagram in Fig. 6.

The divergences of the tested 28-day compressive strengths of tamped concrete mixtures compared to the strength results calculated based on the formulae (4) and (1) are given in Table No. 14.

b. Tamped concrete of earth-moist consistency.

In the case of earth-moist consistency the influence of the real water-cement-ratio on the compressive strength of tamped concrete is comparatively small and therefore it is possible in this case to neglect the real water-cement-ratio.

The expression for the fictitious water-cement-ratio is found in the case of earth-moist consistency by the help of the testing results as follows:

$$w'_t = 0,85 w_p \quad (5).$$

The 28-day compressive strength of tamped earth-moist concrete can be calculated in the manner analogous to the preceding case a.

The divergences of the tested 28-day compressive strengths of tamped earth-moist concrete compared with the strength results calculated by the help of the formulae (5) and (1) are also given in Table No. 14.

D, a. The 28-day compressive strength of cast, plastic and earth-moist concrete expressed by its 3- and 7-day compressive strengths.

Notoriously it is possible to express, according to A. Hummel¹⁰⁾, the 28-day compressive strength of cast, plastic and earth-moist concrete by the aid of its 3- and 7-day compressive strengths.

Taking into account that the relation between compressive strength of concrete and the corresponding hardening age of it, expressed in logarithmic measure, is determined approximately by a part of sinus curve with very small sinuosity in the middle, the inflexion-point being placed between 3 and 28 days, — we may replace the part of the curve near the inflexion-point by a straight line.

This straight line can be fixed by the aid of the compressive strengths of 3- and 7-day ages.

Besides it should be quite important to call special attention to the phenomena of the hardening curves of Estonian Portland-Cement. These curves diverge from the linear hardening relations mentioned earlier than 28 days. Therefore, when using Estonian Portland-Cement, the 28-day compressive strength of concrete represents on an average 92% of that calculated by the aid of the linear hardening relation.

In accordance with the preceding remarks the 28-day compressive strength of cast, plastic and earth-moist concrete is determined as follows:

$$T_{28} = 2,42 T_7 - 1,51 T_3 \quad (6).$$

The divergences of the testing results from the results calculated by the formula (6) are shown in Table No. 15.

b. The 28-day compressive strength of cast, plastic and earth-moist concrete expressed by its 7-day compressive strength.

From Fig. 11 we see that the majority of the hardening curves cross the axis of abscissae approximately in the same point.

This fact allows the determination of the hardening straight lines of concrete by the aid of only one completing point, that is by the aid of the compressive strength corresponding to only one hardening age, for instance to 7-day age.

¹⁰⁾ A. Hummel, *Das Vorhersagen der 28-Tage-Betondruckfestigkeit auf Grund von Versuchen nach 3 und 7 Tagen*, Zement, 1932, No. 7, p. 94.

Taking 7-day compressive strength as known and noticing that for Estonian Portland-Cement the 28-day compressive strength represents on an average 92% of the compressive strength calculated by the linear hardening relation, and that the intersecting point of the hardening straight lines on the axis of abscissae is situated at the distance of 0,12 from the origine, the 28-day compressive strength of cast, plastic and earth-moist concrete is found by the 7-day compressive strength as follows:

$$T_{28} = 1,7 T_7 \quad (7).$$

The divergences of the testing results from the results calculated by formula (7) are shown in Table No. 15.

The same data but ranged corresponding to the value of the compressive strength of concrete are placed in Table No. 16.

c. In the preceeding remarks the 28-day compressive strength of concrete has been found depending on that of 7-day by the hypothesis of linear relation.

It is possible to determine the 28-day compressive strength also depending on that of 7-day but starting from another relation, for instance using the following formula of American origin¹¹⁾:

$$T_{28} = T_7 + n \sqrt{T_7}$$

The corresponding tests carried out in connection with the present investigation have given $n = 7$.

Therefore the 28-day compressive strength of cast, plastic and earth-moist concrete is determined when using Estonian Portland-Cement as follows:

$$T_{28} = T_7 + 7\sqrt{T_7} \quad (8).$$

The divergences of the testing results from the results calculated by the aid of formula (8) are concentrated in Table No. 15.

The same data but ranged corresponding to the value of the compressive strength are shown in Table No. 16, from which we can see that the use of formula (8) is not suitable for concrete mixtures which compressive strengths are lower than 80 kg/cm².

¹¹⁾ Engineering News-Record, 1925, No. 7 (Zement, 1932, No. 7, A. Hummel, ibidem, p. 94, note 6).

E. The influence of low hardening temperature on the compressive strength of concrete mixtures.

In connection with the general problem to design well-matched methods to determine the 28-day compressive strength of concrete mixtures we have tried to follow up the influence of the low hardening temperature on the compressive strength, especially the influence of it on the possibility of prediction of the 28-day compressive strength by that of a smaller hardening age.

The differences between the testing results received in connection with the accomplishment of the testing series No. 8 and the compressive strength calculated on the basis of the formulae (6), (7) and (8) are placed in Table No. 17.

As we see, the faults of the determination of the compressive strength are relatively great at the low hardening temperature, therefore the methods D, a, D, b and D, c of predicting the compressive strength of concrete mixtures are applicable only at the hardening temperature of + 15° to + 18° C.

The summary observation on the divergences of testing results having been received in connection with the present investigation from the results calculated by the aid of the methods proposed for the determination of the 28-day compressive strength of concrete mixtures is concentrated in Table No. 18.

III. Summary observation on the methods proposed for the determination of the 28-day compressive strength of concrete mixtures using Estonian Portland-Cement.

The scheme on p. 41 shows the summary observation on the methods proposed and the rules of treatment for the determination of the 28-day compressive strength of concrets mixtures by using Estonian Portland-Cement.

For this, the marks denoting the quantities represented in the formulae to be applied are repeated here:

T_{28} denotes the 28-day compressive strength of concrete,

T_7 " " 7- " " " "

T_3 " " 3- " " " "

w " the water-cement-ratio of concrete mixture, that is the quantity of water added to the concrete mixture plus the proper moisture of aggregate minus that which will be absorbed by it divided by the quantity of cement (by weight),

w_p " the water-cement-ratio necessary to receive a plastic consistency of concrete mixture,

w'_t " the fictitious water-cement-ratio corresponding to compressive strength of tamped concrete,

m " the fineness modulus corresponding to that of D. A. Abrams using the set of German Standard Sieves,

z " the quantity of cement in kilogrammes in one m^3 of prepared concrete,

A " the aggregate-cement-ratio, that is the weight-ratio of the quantities of aggregate and cement in concrete mixture and

g " the consistency measure of concrete mixture in cm to be received by the Shaking test according to the German Standards,

M " the volume weight of the aggregate in kg per liter.

The rules to be observed to determine the 28-day compressive strength of concrete mixtures using Estonian Portland-Cement.
 Notice: The hardening of concrete mixtures has to be obtained at a damp place with a temperature of $+15^{\circ}$ to $+18^{\circ}$ C.

Methods	Conditions under which methods can be used	The necessary quantities to be determined by testing	Directions for the use of formulae and figures.
A	Concrete mixtures of casting and plastic consistency: $g > 40$ cm	w	T_{28} is determined corresponding to D. A. Abrams by the formula: $T_{28} = \frac{1520}{21w} \dots \dots \dots \quad (1)$ or by the aid of the diagram shown in Fig. 6.
B, a	Concrete mixtures of plastic consistency: $g = 40$ to 45 cm	m and z or m and A	The water-cement-ratio w_p is determined by the formulae: $w_p = \frac{1000}{z} - \frac{12500}{z^2} - 0,318 - 0,379 A \quad (2)$ $w_p = 0,23 + \frac{0,30 A}{1,37^m} \dots \dots \dots \quad (3)$ or by the aid of the diagram shown in Fig. 7. T_{28} is determined after this in correspondence with method A based on water-cement-ratio w_p found.
B, b		m and z or m and A	T_{28} is determined by the aid of the diagram shown in Fig. 8.
C, a	Concrete mixtures of consistency between that of earth-moist and plastic	m , w and z or m , w and A	1. The water-cement-ratio w_p is determined corresponding to the method B, a. 2. The fictitious water-cement-ratio $w't$ corresponding to the compressive strength of tamped concrete is determined by the aid of the formula: $w't = \frac{w + 1,75 w_p}{2,75} \dots \dots \dots \quad (4)$ T_{28} is determined after this in correspondence with method A based on water-cement-ratio $w't$ found.
C, b	Concrete mixtures of earth-moist consistency	m and z or m and A	1. The water-cement-ratio w_p is determined corresponding to the method B, a. 2. The fictitious water-cement-ratio $w't$ corresponding to the compressive strength of tamped concrete is determined by the aid of the formula: $w't = 0,85 w_p \dots \dots \dots \quad (5)$ T_{28} is determined after this in correspondence with method A.
D, a	All the workable concrete mixtures of casting, plastic and earth-moist consistency	T_3 and T_7	T_{28} is determined by the formulae: $T_{28} = 2,42 T_7 - 1,51 T_3 \dots \dots \dots \quad (6)$ $T_{28} = 1,70 T_7 \dots \dots \dots \quad (7)$
D, b			In correspondence with the Engineering News-Record: $T_{28} = T_7 + 7 \sqrt{T_7} \dots \dots \dots \quad (8)$
D, c		T_7	

Tabelite loetelu.

1. Tugevuslaboratooriumis seoses käesoleva uurimistööga teostatud katsumiste üldkava.
2. Tarvitatud Eesti portland-tsemendi omadused (Port-Kunda tsemendivabrik).
3. Tarvitatud agregaadi (loodusliku kruus-liiva) sõelumise andmed.
4. Tarvitatud sõelekõveraile vastavad agregaadi peensusmoodulid, mahukaalud ja tühemete tegurid.
5. Tugevuslaboratooriumis ajavahemikus 1931—1936 a. tampbetooniga teostatud katsumistel tarvitatud agregaadi sõelumise andmed.
6. Tugevuslaboratooriumis tampbetooniga teostatud katsumistel tarvitatud agregaadi sõelumise andmed (järg).
7. Ühenduses käesoleva uurimusega teostatud survekatsude tulemused.
8. Ühenduses käesolevate uurimustega teostatud survekatsude tulemused (järg).

List of Tables.

1. List of tests carried out by the Strength Laboratory in connection with the present investigation.
2. Properties of Estonian Portland-Cement used (Port-Kunda Cement Manufactory L^{td}).
3. Sieve analysis data of aggregate used (natural gravel and sand).
4. Fineness moduli, volume weights and pore coefficients of the aggregate correspondent to the sieve analysis curves used.
5. Sieve analysis data of aggregate used by the Strength Laboratory for tamped concrete tests carried out during the period 1931—1936.
6. Sieve analysis data of aggregate used by the Strength Laboratory for tamped concrete tests (continuation).
7. Results of compressive strength tests carried out in connection with the present investigation.
8. Results of compressive strength tests carried out in connection with the present investigation (continuation).

9. Tampbetooniga ajavahe-
mikus 1931—1936 a. teostatud survekatsude tulemused.

10. Madala temperatuuri
juures kivinenud katsukeha-
dega teostatud survekatsude tu-
lemused.

11. Madala ja normaalsete
temperatuuri juures kivinenud
katsukehade survevugevuste
võrdlus.

12. Plastilise konsistentsiga
betoonsegude puhul tarvitatud
agregaadi peensusmoodulid,
tsemendi hulgad ja vesitse-
ment- ning agregaattsement-
suhted.

13. Valu- ja plastilise be-
tooni katsuliste 28-päevaste
survetugevuste võrdlus vale-
mite (2) ja (1) või (3) ja (1)
põhjal arvutatud survevugevu-
siga.

14. Tampbetooni katsuliste
28-päevaste survevugevuste
võrdlus valemite (4) ja (1)
ning (5) ja (1) põhjal arvuta-
tud survevugevusiga.

15. Valu-, plastilise ja tamp-
betooni katsuliste 28-päevaste
survetugevuste võrdlus tähen-
datud betoonsegude 3- ja 7-päe-
vaste survevugevuste kaudu ar-
vutatud 28-päevaste survevuge-
vusiga.

16. Tabelis 15 toodud and-

9. Results of compressive
strength tests with tamped
concrete carried out during the
period 1931—1936.

10. Results of compressive
strength tests carried out with
specimens hardened at low tem-
perature.

11. Comparing of the com-
pressive strengths of specimens
hardened at low and normal
temperature.

12. Data concerning the fi-
neness modulus of aggregate,
the quantity of cement, the wa-
ter-cement-ratio and the aggre-
gate-cement-ratio of plastic con-
crete mixtures used.

13. Comparing of the tested
28-day compressive strengths
of cast and plastic concrete
with the results calculated by
the formulae (2) and (1) or
(3) and (1).

14. Comparing of the tested
28-day compressive strengths
of tamped concrete mixtures
with the results calculated by
the formulae (4) and (1) or
(5) and (1).

15. Comparing of the tested
28-day compressive strengths
of cast-, plastic and tamped
concretes with those calculated
by 3- and 7-day compressive
strengths.

16. Data of Table 15 dis-

med, järjestatud betoonsegude katsuliste 28-päevaste surve tugevuste kohaselt.

17. Madala temperatuuri juures kivinenud betoonsegude 28-päevaste surve tugevuste võrdlus tähendatud segude 3- ja 7-päevaste surve tugevuste kaudu arvutatud 28-päevaste surve tugevusiga.

18. Kokkuvõtlik ülevaade betoonsegude katsuliste 28-päevaste surve tugevuste kõrvale kaldumised ette pandud meetodite põhjal ennustatud 28-päevavastist surve tugevusist.

posed conveniently to the tested 28-day compressive strengths of concrete mixtures.

17. Comparing of the tested 28-day compressive strengths of concrete mixtures hardened at low temperature with those calculated by their 3- and 7-day compressive strengths.

18. Summary observation on the divergences of the tested 28-day results from those calculated by the methods proposed for the prediction of the 28-day compressive strength of concrete mixtures.

Table 1.

List of tests carried out by the Strength Laboratory in connection with the present investigation.

Aggregate used		Consistency of mixtures		Quantity of cement in kg per m ³ of prepared concrete					
Nos. of sieve analysis curves	maximum size mm	Description	Shaking test g cm	180	200	270	300	350	400
Nos. of test series carried out									
1	7	cast	52—58	—	—	—	—	3	—
		plastic	40—45	1	—	—	—	—	—
		earth-moist	40	2	—	—	—	4	—
2	7	cast	52—58	—	—	7	—	10	—
		plastic	40—45	5	—	8	—	—	—
		earth-moist	40	6	—	9	—	11	—
3	7	cast	52—58	—	—	—	—	14	—
		plastic	40—45	12	—	—	—	—	—
		earth-moist	40	13	—	—	—	15	—
4	30	cast	52—58	—	21	—	23	—	—
		plastic	40—45	—	22	—	24	—	—
5	30	cast	52—58	—	25	—	27	—	—
		plastic	40—45	—	26	—	28	—	—
6	30	plastic	40—45	—	31	—	33	—	32
		plastic	40—45	—	34	—	36*)	—	35
7	30	"	"	—	38	—	—	—	37
8	30	"	"	—	39*)	—	40	—	—
9	30	"	"	—	41*)	—	42*)	—	—
10	30	"	"	—	43*)	—	44*)	—	—
11	30	"	"	—	45*)	—	46*)	—	—
12	15	"	"	—	47*)	—	48	—	—
13	15	"	"	—	—	—	371**) —	—	—
14	30	"	"	—	—	—	—	—	—

*) these tests are carried out to determine only the consistency,

**) the quantity of cement had been taken 325 kg/m³.

Table 2.

Properties of Estonian Portland Cement used.
(The cement used was from the Estonian Port-Kunda Cement Manufactory Ltd).

I. Chemical Properties.
(Chemical determinations).

Silicic anhydride SiO ₂	per cent	20,6
Aluminium oxide Al ₂ O ₃	" "	5,9
Ferric oxide Fe ₂ O ₃	" "	3,0
Calcium oxide CaO	" "	64,4
Magnesia MgO	" "	3,1
Sulfuric anhydride SO ₃	" "	1,9
Insoluble residue	" "	1,1
	per cent	100,0
Loss on ignition	per cent	4,0

II. Physical Properties.

1. Specific Gravity . . . 3,14.
2. Fineness: the residue on the 900-mesh standard sieve, per cent . . . 0,13.
" " " 4900 " " " 7,68.
3. Soundness: heating test at 120° C cold water test hot water test le Chatelier test . . . The pasts tested showed no signs of distortion, cracking, checking or desintegration. 2,9 mm.
4. Time of setting: initial set . . . 5 h. — min.
final " 8 " 20 "
5. Compressive Strength:
Cubical specimens 7,1 × 7,1 × 7,1 cm of one part cement and three parts Germany standard sand.
Mixing water, per cent . . . 8,5.

Age at test	Storage of specimens	Compressive strength kg/cm ²
1 day	Kept 1 day in moist air	36,9
3 days	" 1 day in moist air, 2 days in water . . .	240
7 "	" 1 day in moist air, 6 days in water . . .	359
28 "	" 1 day in moist air, 27 days in water . . .	427
28 "	" 1 day in moist air, 6 days in water and 21 days in air of normal moisture . . .	519

Table 3.

Sieve analysis data of aggregate (natural gravel and sand).

Nos. of sieve analysis curves Openings of sieves	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
d = 30 mm	—	—	—	100	100	100	100	100	100	100	100	—	—	100
15 "	—	—	—	87	72,5	98,5	92	82,5	69	78	73,5	100	100	79,5
7 "	100	100	100	70	50	94	80,5	65	43	55	73,5	84,5	67	61,4
3 "	87	72	56	56,5	32,5	85	66	46	24	55	48,5	65	40,5	45,6
1 "	70	40	20	40	16	65	43	24	9	28	23,5	39	19,5	10,4
0,2 × 0,2 mm	8,5	4,9	2,4	3,0	1,2	4,9	3,2	1,8	0,7	2,1	1,8	2,9	1,5	1,5

Table 4.

Fineness moduli, volume-weights and pore coefficients of the aggregate correspondent to the sieve analysis curves used.

Nos. of the sieve analysis curves	Fineness moduli of aggregate m	Volume-weights M in kg per liter	$\frac{M}{\gamma_a}$	Pore coefficients of the aggregate $H = (1 - \frac{M}{\gamma_a}) \cdot 100$ per cent
1	2,78	1,759	0,666	33,4
2	3,67	1,810	0,685	31,5
3	4,40	1,855	0,703	29,7
4	4,42	2,011	0,762	23,8
5	5,65	2,083	0,790	21,0
6	3,00	1,886	0,714	28,6
7	4,00	1,941	0,735	26,5
8	5,00	2,008	0,761	23,9
9	6,00	2,008	0,761	23,9
10	5,00	2,050	0,776	22,4
11	5,00	2,018	0,764	23,6
12	4,00	1,927	0,730	27,0
13	5,00	1,962	0,743	25,7
14	5,36	—	—	—

Remark: The average value of the specific gravity of the aggregate used:
 $\gamma_a = 2,64$.

Table 5.

Sieve analysis data of aggregate used by the Strength Laboratory for tamped concrete tests carried out during the period 1931—1936.

Nos. of sieve analysis curves \ Openings of sieves	35	36	37	38	39	40
$d = 40$ mm	100,00	—	100,0	100,0	100,0	100,0
25 "	87,59	100,0	98,4	91,3	97,3	95,6
12 "	76,56	68,3	86,6	79,2	85,7	85,6
7 "	64,40	42,0	71,3	67,2	71,7	73,0
3 "	54,81	31,8	60,5	57,9	61,6	62,3
1 "	33,80	15,9	36,8	33,4	39,1	40,2
$0,2 \times 2,0$ mm	2,08	4,5	2,1	2,3	2,4	3,0

Table 6.

Sieve analysis data of aggregate used by the Strength Laboratory for tamped concrete tests (continuation).

Nos. of sieve analysis curves \ Openings of sieves	41	42	43	44	45	46
$d = 50$ mm	100,0	—	—	100,0	—	—
30 "	90,6	100,0	100,0	93,6	100,0	100,0
15 "	79,2	83,4	78,7	85,9	88,8	71,1
7 "	73,9	74,8	62,5	74,6	70,4	55,6
3 "	69,3	68,4	54,0	64,8	59,6	35,6
1 "	26,6	22,8	29,9	34,0	39,1	11,1
$0,2 \times 0,2$ mm	3,9	2,7	9,2	0,53	0,8	0,5

Table 7.

Results of the compressive strength tests carried out in connection with the present investigation.

Nos. of test series	Nos. of sieve analysis curves	Quantity of cement kg/m^3	Water- cement- ratio w	Consistency of concrete mixtures	Volume- weights of con- crete mixtures M kg/m^3	Average hardening tem- perature in degrees of C during hardening	Age at test			Compressive strengths of concrete mixtures T_{3-7-28} in kg/cm^2	
							3 days			7 days	
							Description	g cm	3 days	7 days	28 days
1	1	179	1,25	plastic tamped	42	2060	16,7	16,3	16,1	6,2	18,0
2	1	188	0,94	cast	—	2150	16,3	15,9	16,1	20,5	47,2
3	1	348	0,75	tamped	53	2070	16,3	15,9	16,1	40,8	93,8
4	1	363	0,55	plastic	—	2230	15,9	15,9	16,2	71,4	174,0
5	2	181	1,05	tamped	42	2170	16,3	16,0	16,1	12,0	239,0
6	2	176	0,86	plastic	—	2170	15,9	15,9	16,2	27,6	51,2
7	2	272	0,84	cast	50	2160	16,3	15,7	16,2	19,5	45,0
8	2	273	0,70	plastic	42	2230	15,9	15,8	16,2	53,9	86,6
9	2	265	0,57	tamped	—	2210	16,2	16,3	16,4	38,9	109,0
10	2	361	0,65	cast	53	2210	15,5	15,6	16,2	45,2	87,8
11	2	363	0,47	tamped	—	2310	16,1	16,5	16,2	51,6	164,9
12	3	182	0,78	plastic	43	2190	15,9	15,8	16,2	126,2	192,5
13	3	173	0,70	tamped	—	2110	17,1	17,0	17,3	120,0	221,5
14	3	365	0,63	cast	52	2270	16,7	17,1	16,5	125,1	221,5
15	3	360	0,43	tamped	—	2280	17,0	17,0	17,1	214,0	338,2
21	4	198	1,14	cast	54	2205	16,3	16,3	16,2	23,6	102,8
22	4	198	1,02	plastic	42	2210	16,3	16,3	16,1	52,4	59,4
23	4	303	0,74	cast	58	2240	16,3	16,2	16,1	23,5	99,4
24	4	297	0,64	plastic	42	2240	16,0	16,0	16,1	72,8	263,2
25	5	205	0,86	cast	55	2360	16,0	15,8	16,4	125,1	278,1
26	5	200	0,70	plastic	43	2360	16,9	16,6	16,3	17,0	61,3
27	5	302	0,61	cast	56	2390	16,4	16,3	16,2	51,9	79,9
28	5	304	0,50	plastic	42	2415	16,2	16,3	16,2	74,1	158,4
371	4	325	0,50	plastic	40	—	—	—	—	136,6	234,3
										133,1	556,8
										15—18°C	334,8

Table 8.

Results of compressive strength tests carried out in connection with the present investigation (continuation).

Nos. of test series	Nos. of sieve analysis curves	Quantity of cement z kg/m ³	Water-cement- ratio w	Consistency of concrete mixtures		Volumeweights of concrete mixtures M kg/m ³	Average hardening temperatures in degrees of C	28-day compressive strengths of concrete mixtures of C	T_{28} in kg/cm ²
				Description	g cm				
31	6	207	1,20	plastic	42	2129	16,1	51,3	
32	6	407	0,60	"	45	2185	16,1	230,5	
33	6	308	0,81	"	43	2144	16,1	119,4	
34	7	206	0,76	"	43	2213	16,1	78,4	
35	7	399	0,52	"	43	2291	16,1	287,0	
36	7	309	0,74	"	46	2265	—*)	—*)	
37	8	410	0,49	"	44	2363	16,1	322,7	
38	8	207	0,81	"	42	2341	16,0	114,5	
39	9	195	0,64	"	43	2264	—*)	—*)	
40	9	313	0,49	"	45	2436	16,1	301,0	
41	10	200	0,84	"	42	2261	—*)	—*)	
42	10	300	0,65	"	45	2346	—*)	—*)	
43	11	204	0,89	"	42	2287	—*)	—*)	
44	11	299	0,66	"	45	2332	—*)	—*)	
45	12	204	1,08	"	42	2218	—*)	—*)	
46	12	301	0,76	"	46	2244	—*)	—*)	
47	13	204	0,90	"	43	2299	—*)	—*)	
48	13	304	0,60	"	45	2392	16,0	227,7	

*) these tests are carried out to determine only the consistency of concrete mixture.

Table 9.

Results of compressive strength tests with tamped concrete carried out during the period 1931—1936.

Nos. of the test series	Aggregate		Quantity of cement $\gamma \text{ kg/m}^3$	Water-cement-ratio w	Consistency of concrete (description)	Volume-weights of concrete $M \text{ kg/m}^3$	28-day compressive strength of concrete T_{28} in kg/cm^2
Nos. of the sieve analysis curves	Fineness modulus m						
311	38	4,57	294	0,45	earth-moist	2330	314
312	36	5,58	278	0,34	"	2425	305
313	36	5,58	264	0,34	"	2310	318
314	35	4,68	299	0,45	"	2370	313
315	36	5,58	289	0,37	"	2530	402
321	37	4,30	304	0,32	"	2280	262
324	41	4,42	337	0,44	"	2350	298
327	42	4,54	335	0,36	"	2360	346
328	43	4,67	350	0,36	"	2455	393
332	43	4,67	290	0,40	"	2340	311
333	43	4,67	294	0,29	"	2375	373
334	44	4,45	314	0,42	"	2185	253
340	40	4,27	292	0,34	"	2290	267
342	43	4,67	291	0,29	"	2320	295
362	45	4,46	302	0,40	"	2320	277
363	39	4,49	296	0,34	"	2280	251
364	43	4,67	292	0,29	"	2325	291
365	43	4,67	292	0,31	"	2340	319
366	46	5,64	311	0,43	"	2390	429
367	46	5,64	300	0,41	"	2500	397

Table 10.

Results of compressive strength tests carried out with specimens hardened at low temperature.

Nos. of test series	Average hardening temperatures in degrees of C during				Compressive strengths of concrete in kg/cm ² hardened during			
	3 days	7 days	28 days	42 days	3 days	7 days	28 days	42 days
8	15,9	15,8	16,2	16,2	38,9	87,8	164,9	178,1
8, a	10,1	10,2	10,1	10,4	25,9	68,8	153,7	177,3
8, b	6,1	5,9	5,6	5,4	15,9	47,5	134,9	151,4

Table 11.

Comparing of the compressive strengths of specimens hardened at low and normal temperature.

Nos. of test series	Compressive strengths in per cent concerned to those of the series No. 8.			
	3-day test	7-day test	28-day test	42-day test
8	100,0	100,0	100,0	100,0
8, a	66,5	78,3	93,2	99,5
8, b	40,8	54,1	81,8	85,0

Table 12.

Data concerning the fineness modulus of aggregate, the quantity of cement, the aggregate-cement-ratio and the water-cement-ratio of plastic concrete mixtures used.

Nos. of test series	Aggregate			Quantity of cement z kg/m ³	Consistency		Water- cement ratio w_p
	Maximum size mm	Fineness modulus m	Aggrega- te-cement ratio A		Description	Shaking test g cm	
1	7	2,78	9,26	179	plastic	42	1,25
5	7	3,67	9,88	181	"	42	1,05
8	7	3,67	6,42	273	"	42	0,70
12	7	4,40	10,25	182	"	43	0,78
22	30	4,42	9,15	198	"	42	1,02
24	30	4,42	5,94	297	"	42	0,64
26	30	5,65	10,07	200	"	43	0,70
28	30	5,65	6,44	304	"	42	0,50
31	30	3,00	8,05	207	"	42	1,20
32	30	3,00	3,77	407	"	45	0,60
33	30	3,00	5,13	308	"	43	0,81
34	30	4,00	8,56	206	"	43	0,96
35	30	4,00	4,20	399	"	43	0,52
36	30	4,00	5,65	309	"	46	0,74
37	30	5,00	4,29	410	"	44	0,49
38	30	5,00	9,24	206	"	42	0,81
39	30	6,00	10,10	195	"	43	0,64
40	30	4,00	6,33	313	"	45	0,49
41	30	5,00	9,63	199	"	41	0,84
42	30	5,00	6,23	300	"	45	0,65
43	30	5,00	9,71	203	"	42	0,89
44	30	5,00	6,36	298	"	45	0,66
45	15	4,00	8,90	204	"	42	1,08
46	15	4,00	5,80	301	"	46	0,76
47	15	5,00	9,60	203	"	43	0,90
48	15	5,00	6,34	304	"	45	0,60
371	30	5,36	5,71	325	"	40	0,50

Table 13.

Comparing of the tested 28-day compressive strengths of cast- and plastic concrete with the results calculated by the formulae (2) and (1) or (3) and (1).

No.	Series of testing No.s.	Quantity of ce- ment 2 kg/m ³	Fineness modulus m	Descripti- on	Shak- ing test g cm	Consistency	Water-cement-ratio calculated basing		28-day compressive strengths in kg/cm ² calculated basing	Divergences of the tested results in per cent from the strengths calculated by the formulae		
							on real for- mu- la (1)	on real for- mu- la (2)	on real for- mu- la (3)	on real for- mu- la (1)	on real for- mu- la (2)	on real for- mu- la (3)
3	348	2.78	—	cast	53	174.0	0.75	—	155	+12.3	—	—
7	272	3.67	—	"	50	109.0	0.84	—	118	-7.6	—	—
10	361	3.67	—	"	53	221.5	0.65	—	210	+5.5	—	—
14	363	4.40	—	"	52	263.2	—	—	223	+18.0	—	—
21	198	4.42	—	"	54	61.3	1.14	—	47.3	+29.6*)	—	—
23	303	4.42	—	"	58	158.4	0.74	—	160	-1.0	—	—
25	205	5.65	—	"	55	112.7	0.86	—	111	+1.5	—	—
27	302	5.65	—	"	56	234.3	0.61	—	237	-1.1	—	—
1	179	2.78	9.26	plastic	42	28.9	1.25	1.370	1.388	23.5	22.2	+23.0*)
5	181	3.67	9.88	"	42	51.2	1.05	1.082	1.164	56.4	-17.7	+30.2*)
8	273	3.67	6.42	"	42	164.9	0.70	0.745	0.837	157.3	43.9	+16.6
22	198	4.42	9.15	"	42	79.9	1.02	0.915	0.913	118.9	-8.9	-38.7*)
24	297	4.42	5.94	"	42	193.4	0.64	0.670	0.673	198	94.3	-14.8
26	200	5.65	10.07	"	43	173.2	0.70	0.715	0.740	195.9	-10.9	-1.3
28	304	5.65	6.44	"	42	356.8	0.50	0.530	0.556	303	159.7	+4.3
31	207	3.00	8.05	"	42	51.3	1.20	1.170	1.169	39.4	+7.5	+8.5
32	407	3.00	3.77	"	45	230.5	0.60	0.655	0.670	207	197.6	+18.5
33	308	3.00	5.13	"	43	119.4	0.81	0.835	0.828	129	122.2	-7.4
34	206	4.00	8.56	"	43	78.4	0.96	0.963	0.959	81.1	82.5	-4.2
35	399	4.00	4.20	"	43	28.0	0.52	0.575	0.588	264	253.7	-8.0
37	410	5.00	4.29	"	44	322.7	0.49	0.483	0.497	350	334.8	-5.6
38	207	5.00	9.24	"	42	114.5	0.81	0.790	0.804	129	131.4	-7.8
40	313	6.00	6.33	"	45	301.0	0.49	0.495	0.517	342	314.9	-16.4
48	304	5.00	6.34	"	45	227.7	0.60	0.595	0.624	245	227.4	-10.7
371	325	5.36	5.71	"	40	334.8	0.50	0.540	0.547	332	294	-8.6
											+0.1	+13.9
											+16.5	+13.9
											+0.15	+3.24
											+8.97	+12.86
											-7.15	-8.18
											-6.37	-6.37

*) Divergences greater than 20 % have not been taken into account.

Table 14.

Comparing of the tested 28-day compressive strengths of tamped concrete mixtures with the results calculated by the formulae (4) and (1) or (5) and (1).

Nos. of test series	Test results Water-ce-ment-ratio w	Water-cement-ratio calculated basing			28-day compressive strengths T_{28} in kg/cm ² calculated basing		Divergences of the results tested from the strengths calculated basing		
		28-day com-pressive strength T_{28} in kg/cm ²		on the for-mula (2) w_p	on the for-mula (4) $w_{p'}$	28-day compressive strengths T_{28} in kg/cm ²		on the for-mulae (4) and (1) per cent (1)	
		on the for-mula (2)	on the for-mula (4)			on the for-mula (4) and (1)	on the for-mula (5) and (1)		
311	0,45	314	0,655	0,580	0,557	270	290	+ 8,3	
312	0,34	305	0,575	0,490	0,489	358	359	- 14,8	
313	0,34	318	0,580	0,492	0,493	355	354	- 10,4	
314	0,45	317	0,610	0,552	0,519	295	325	- 2,5	
315	0,37	402	0,560	0,490	0,476	358	375	+ 7,2	
321	0,32	262	0,675	0,547	0,574	298	275	+ 12,3	
324	0,44	298	0,615	0,551	0,523	295	322	+ 12,1	
327	0,36	346	0,595	0,509	0,506	338	340	+ 1,0	
328	0,36	393	0,570	0,494	0,484	353	365	+ 2,4	
332	0,40	311	0,650	0,559	0,553	286	292	+ 11,3	
333	0,29	373	0,645	0,515	0,548	330	300	+ 8,7	
334	0,42	253	0,640	0,560	0,543	286	302	+ 13,0	
340	0,34	267	0,700	0,568	0,595	280	258	- 11,5	
342	0,29	295	0,650	0,519	0,553	325	292	- 10,2	
362	0,40	277	0,655	0,562	0,557	285	290	- 2,8	
363	0,34	251	0,665	0,547	0,565	298	283	- 4,5	
364	0,29	291	0,645	0,516	0,549	330	298	- 11,8	
365	0,31	319	0,645	0,523	0,549	322	298	- 9,9	
366	0,43	429	0,530	0,493	0,451	356	401	+ 7,0	
367	0,41	397	0,540	0,493	0,459	356	392	+ 1,3	

Table 15.

Comparing of the tested 28-day compressive strengths of cast, plastic and tamped concretes with those calculated by 3- and 7-day compressive strengths.

No. of test series	Consistency of concrete mixtures (Description)	Testing results in kg/cm ²				28-day compressive strengths calculated basing				Divergences of the results tested from the strengths calculated basing			
		3-day test		7-day test		28-day test		on formu- la (6) T_{28}		on formu- la (7) T_{28}		on formu- la (8) T_{28}	
		T_3	T_7	T_7	T_{28}	T_{28}	T_{28}	T_{28}	T_{28}	T_{28}	T_{28}	T_{28}	T_{28}
1	plastic	6,2	18,0	28,9	34,2	30,6	47,7	-15,5	-5,6	-39,4*)	-12,9	-3,2	-39,4*)
2	tamped	20,5	47,2	83,0	83,2	80,1	95,3	-0,2	+ 9,1	+ 7,7	+ 6,8	+ 5,2	-12,9
3	cast	40,8	93,8	174,0	165,4	159,5	161,5	+ 5,2	+ 2,6	+ 0,0	+ 20,5	+ 8,9	-20,5
4	tamped	71,4	140,8	239,0	232,9	239,0	223,9	+ 2,1	+ 8,9	+ 13,2	- 5,8	- 5,8	- 5,8
5	plastic	12,0	27,6	51,2	48,7	47,0	64,4	+ 8,9	+ 19,1	+ 19,1	+ 3,5	+ 3,5	+ 3,5
6	tamped	19,5	45,0	86,6	79,5	76,5	91,9	+ 10,8	+ 10,4	+ 10,4	+ 7,5	+ 7,5	+ 7,5
7	cast	21,2	53,9	109,0	98,4	91,5	105,3	+ 15,3	+ 7,2	+ 7,2	+ 4,7	+ 4,7	+ 4,7
8	plastic	38,9	87,8	164,9	153,8	149,3	153,4	+ 3,0	+ 2,4	+ 2,4	+ 12,6	+ 8,6	+ 12,6
9	tamped	45,2	110,2	192,5	198,4	188,0	183,8	+ 4,2	+ 4,2	+ 4,2	+ 6,9	+ 6,9	+ 6,9
10	cast	51,6	120,0	221,5	212,5	204,0	196,7	+ 3,3	+ 3,3	+ 3,3	+ 15,5	+ 15,5	+ 15,5
11	tamped	126,2	214,0	338,2	327,3	364,0	316,4	+ 12,7	+ 12,7	+ 12,7	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,3
12	plastic	23,6	52,4	102,8	91,2	89,0	103,1	+ 8,1	+ 8,1	+ 8,1	- 12,3	- 12,3	- 12,3
13	tamped	23,5	59,4	99,4	108,2	100,1	113,4	-10,0	-10,0	-10,0	+ 2,5	+ 2,5	+ 2,5
14	cast	72,8	166,3	263,2	292,4	283,0	256,7	-9,0	-9,0	-9,0	-19,9	-19,9	-19,9
15	tamped	125,1	204,4	278,1	305,7	347,0	304,4	-3,9	-3,9	-3,9	-25,0	-25,0	-25,0
21	cast	17,0	37,0	61,3	63,8	62,9	79,6	-10,8	-10,8	-10,8	-22,0*)	-22,0*)	-22,0*)
22	plastic	24,0	52,0	79,9	89,6	88,4	102,5	-9,6	-9,6	-9,6	-0,2	-0,2	-0,2
23	cast	46,4	91,7	158,4	151,8	156,0	158,7	+ 4,4	+ 4,4	+ 4,4	+ 3,8	+ 3,8	+ 3,8
24	plastic	63,9	123,2	193,4	201,6	209,0	201,0	-4,1	-4,1	-4,1	-8,4	-8,4	-8,4
25	cast	26,5	66,1	112,7	120,0	112,0	123,0	+ 6,1	+ 6,1	+ 6,1	+ 0,7	+ 0,7	+ 0,7
26	plastic	51,9	101,9	173,2	168,2	173,0	172,0	+ 3,0	+ 3,0	+ 3,0	+ 9,0	+ 9,0	+ 9,0
27	cast	74,1	133,6	234,3	211,4	227,0	214,5	+ 10,8	+ 10,8	+ 10,8	+ 2,9	+ 2,9	+ 2,9
28	plastic	136,6	238,8	356,8	371,6	406,0	346,8	-4,0	-4,0	-4,0	+ 2,4	+ 2,4	+ 2,4
371	plastic	133,1	222,5	334,8	337,5	378,0	327,0	-0,8	-0,8	-0,8	-8,62	-8,62	-8,62
General average divergence								+ 0,11	+ 1,19	+ 1,19	+ 0,10	+ 0,10	+ 0,10
Average positive								+ 6,52	+ 7,38	+ 7,38	+ 5,46	+ 5,46	+ 5,46
negative								- 6,29	- 8,43	- 8,43	- 8,62	- 8,62	- 8,62

*) Divergences greater than 20 % have not been taken into account.

Table 16.

Data of Table 15 disposed conveniently to the tested 28-day compressive strengths of concrete mixtures.

Nos. of series tested	Consistency of concrete mixtures (description)	Compressive strengths tested T_{28} in kg/cm ²	28-day compressive strengths T_{28} in kg/cm ² calculated basing			Divergences of the re- sults tested from the strengths calculated basing		
			on for- mula (6)	on for- mula (7)	on for- mula (8)	on for- mula (6) per cent	on for- mula (7) per cent	on for- mula (8) per cent
1	plastic	28,9	34,2	30,6	47,7	-15,5	-5,5	-39,4*)
5	plastic	51,2	48,7	47,0	64,4	+5,1	+8,9	-20,5*)
21	cast	61,3	63,8	62,9	79,6	-3,9	-2,5	-23,0*)
22	plastic	79,9	89,6	88,4	102,5	-10,8	-9,6	-22,0*)
2	tamped	83,0	83,2	80,1	95,3	-0,2	+3,6	-12,9
6	tamped	86,6	79,5	76,5	91,9	+8,9	+13,2	-5,8
13	tamped	99,4	108,2	100,1	113,4	-8,1	-0,7	-12,3
12	plastic	102,8	91,2	89,0	103,1	+12,7	+15,5	-0,3
7	cast	109,0	98,4	91,5	105,3	+10,8	+19,1	+3,5
25	cast	112,7	120,0	112,0	123,0	-6,1	+0,6	-8,4
23	cast	158,4	151,8	156,0	158,7	+4,4	+1,5	-0,2
8	plastic	164,9	153,8	149,3	153,4	+7,2	+10,4	+7,5
26	plastic	173,2	168,2	173,0	172,0	+3,0	+0,1	+0,7
3	cast	174,0	165,4	159,5	161,5	+5,2	+9,1	+7,7
9	tamped	192,5	198,4	188,0	183,8	-3,0	+2,4	+4,7
24	plastic	193,4	201,6	209,0	201,0	-4,1	+7,5	+3,8
10	cast	221,5	212,5	204,0	196,7	+4,2	+8,6	+12,6
27	cast	234,3	211,4	227,0	214,5	+10,8	+3,2	+9,0
4	tamped	239,0	232,9	239,0	223,9	+2,6	+0,0	+6,8
14	cast	263,2	292,4	283,0	256,7	-10,0	-7,0	+2,5
15	tamped	278,1	305,7	347,0	304,4	-9,0	-19,9	-8,6
371	plastic	334,8	337,5	378,0	327,0	-0,8	-11,4	+2,4
11	tamped	338,2	327,3	364,0	316,4	+3,3	-7,1	+6,9
18	plastic	356,8	371,6	406,0	346,8	-4,0	-12,1	+2,9
General average divergence						+ 0,11	+ 1,19	+ 0,10
Average positive " "						+ 6,52	+ 7,38	+ 5,46
" negative " "						- 6,29	- 8,43	- 8,62

*) Divergences greater than 20% have not been taken into account.

Table 17.

Comparing of the tested 28-day compressive strengths of concrete mixtures hardened at low temperature with those calculated by their 3- and 7-day compressive strengths.

Nos. of series tested	Consistency of mixtures (description)	Average hardening temperature in degrees of C	Tested compressive strengths of concrete in kg/cm ² hardened during			28-day compressive strengths in kg/cm ² calculated:		Divergences of results tested from those of calculation		
			3 days T_3	7 days T_7	28 days T_{28}	Basing on formulae	Strengths received T_{28}	In comparison with results corresponding to low temperature, per cent	In comparison with results corresponding to normal temperature, per cent	
8	plastic	15—18	38,9	87,8	164,9	6	153,8	+ 7,2	+ 7,2	
						7	149,3	+10,4	+ 10,4	
						8	153,4	+ 7,5	+ 7,5	
8 a	plastic	10,2	25,9	68,8	153,7	6	127	+21,0	+ 29,8	
						7	117	+31,4	+ 41,0	
						8	127	+21,0	+ 29,8	
8 b	plastic	6,0	15,9	47,5	134,9	6	91	+48,3	+ 81,2	
						7	81	+66,5	+103,6	
						8	96	+40,5	+ 71,8	

Table 18.

Summary observation on the divergences of tested 28-day compressive strengths from those calculated by the methods proposed for the prediction of the 28-day compressive strength of concrete mixtures.

Methods Data taken from tables	Divergences of the results tested from those received by calculation					
		Average divergences in per cent		Greatest divergences in per cent (only particular tests)		
		+	-	+	-	
A	13	8,97	7,15	18,0	17,7	
B, a	13	10,86 (12,86)	8,18 (6,37)	18,7 (18,5)	16,4 (15,3)	
B, b	—	—	—	—	—	
C, a	14	10,45	9,39	20,5	15,8	
C, b	14	5,13	8,26	7,7	16,2	
D, a	15	6,52	6,29	12,7	15,5	
D, b	15	7,38	8,43	19,1	19,9	
D, c	15	5,46	8,62	12,6	20,5	

Remark: Divergences greater than 20% have not been taken into account as concerning only to particular tests.

Jooniste loetelu.

1. Tarvitatud agregaadi sõelekõverad.
2. Tarvitatud agregaadi sõelekõverad (järg).
3. Tarvitatud agregaadi sõelekõverad (järg).
4. Sõelumise võrdluskats ümmarate ja ruuduliste aukudega sõelte tarvitamisel.
5. Madala kivinemise temperatuuri mõju betoonsegu survevugevusele.
6. Valu- ja plastilise betoonsegu survevugevuse sõltuvus vesiitsement-suhest.
7. Plastilise konsistentsiga betoonsegu koostamise diagramm.
(Vesiitsement-suhte, tsementi hulga, agregaattsement-suhte ja agregaadi peensusmooduli omavaheline sõltuvus.)
8. Plastilise konsistentsiga betoonsegu koostamise diagramm.
(Survetugevuse, tsementi hulga, agregaattsement-suhte

List of Figures.

1. Sieve analysis curves of the aggregate used.
2. Sieve analysis curves of the aggregate used (continuation).
3. Sieve analysis curves of the aggregate used (continuation).
4. Comparing sieve analysis test using sieves with round and square openings.
5. Influence of low hardening temperature on the compressive strength of concrete mixtures.
6. Relation between compressive strength of cast- and plastic concrete and its water-cement-ratio.
7. Diagram for the design of plastic concrete mixtures.
(Relation between the water-cement-ratio, the quantity of cement, the aggregate-cement-ratio and the fineness modulus of aggregate.)
8. Diagram for the design of plastic concrete mixtures.
(Relation between the compressive strength, the quantity of cement, the aggregate-ce-

ning agreggaadi peensusmooduli
omavaheline sõltuvus.)

ment-ratio and the fineness mo-
dulus of aggregate.)

9. Weisgerber'i katsude tu-
lemused.

9. Weisgerber's testing re-
sults.

10. Skeem.

10. Scheme.

11. Betoonsegude kivine-
mise diagrammid.

11. Hardening diagrams of
concrete mixtures.

12. Skeem.

12. Scheme.

**Joonised
Figures**

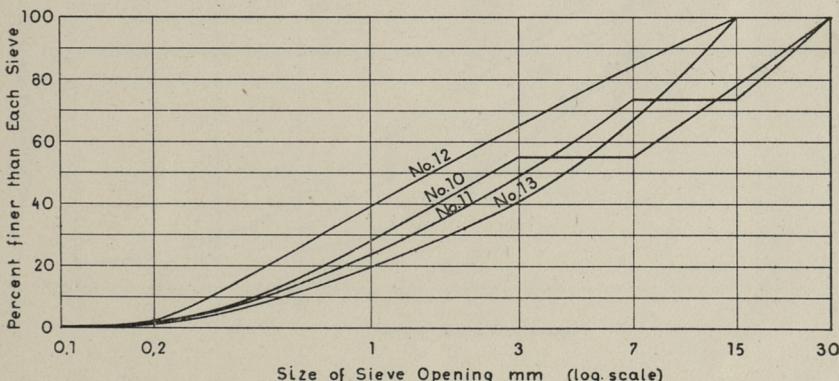
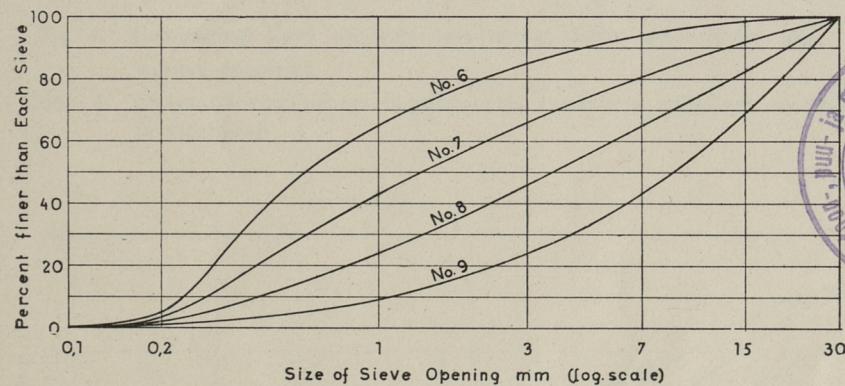
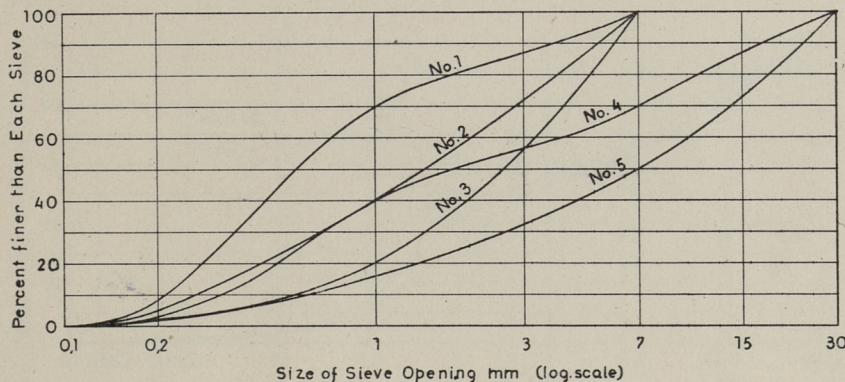


Fig. 1—3. Sieve analysis curves Nos. 1—13.
Joon. 1—3. Sõelekõverad nr. 1—13.

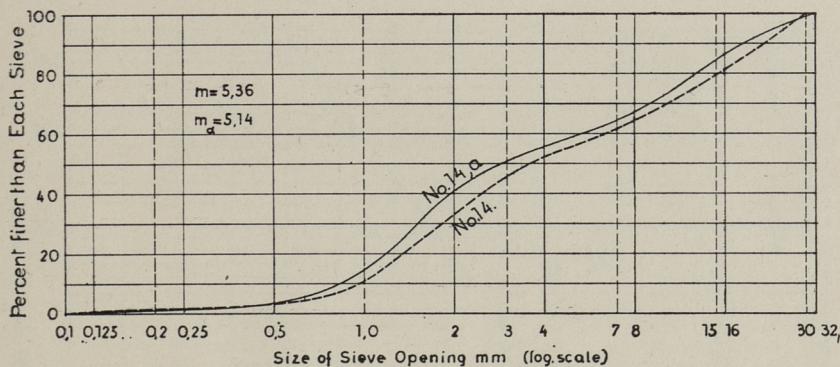


Fig. 4. Comparing sieve analysis test using sieves with round and square openings.

Joon. 4. Söelumise võrdluskats ümmarate ja ruuduliste aukudega sõelte tarvitamisel.

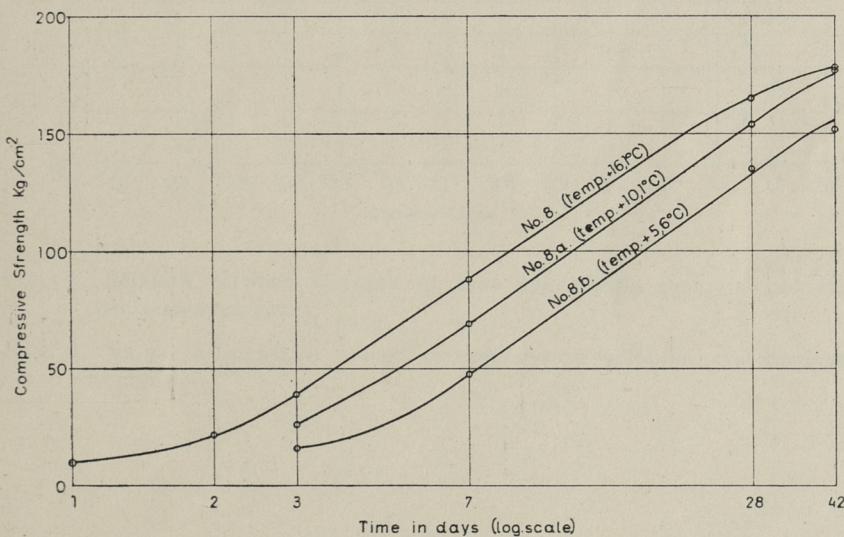


Fig. 5. Compressive strengths of concrete hardened at low temperature.
Joon. 5. Betooni surve tugevused kivinemisel madala temperatuuri juures.

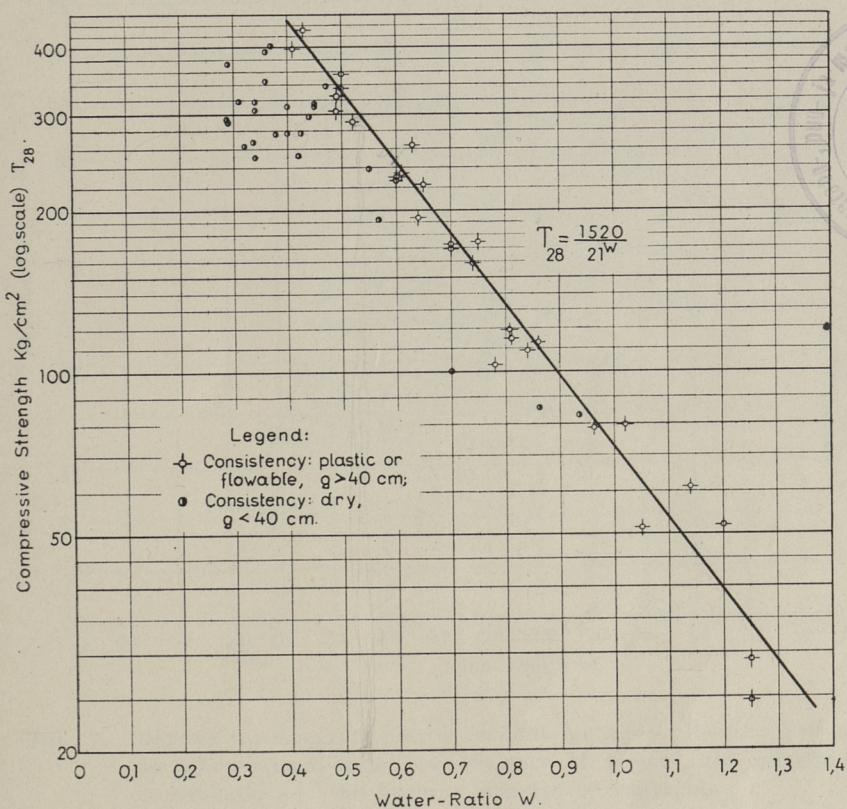


Fig. 6. Relation between strength of cast and plastic concrete and its water-cement-ratio.

Joon. 6. Valu- ja plastilise betooni survetugevuse sõltuvus vesi-tsement suhest.

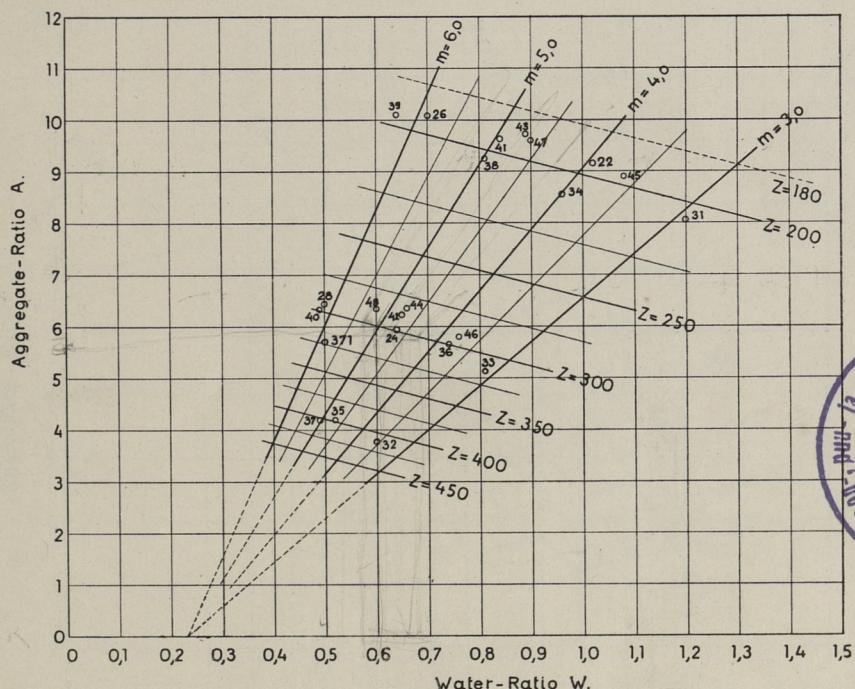


Fig. 7. Diagram for design of plastic concrete mixtures. (Relation between the water-cement-ratio, the quantity of cement, the aggregate-cement-ratio and the fineness modulus of aggregate.)

Joon. 7. Plastilise konsistentsiga betoonsegude koostamise diagramm. (Vesi-tsement-suhte, tsemendi hulga, aggregaat-tsement-suhte ja aggregaadi peensusmooduli vahekord.)



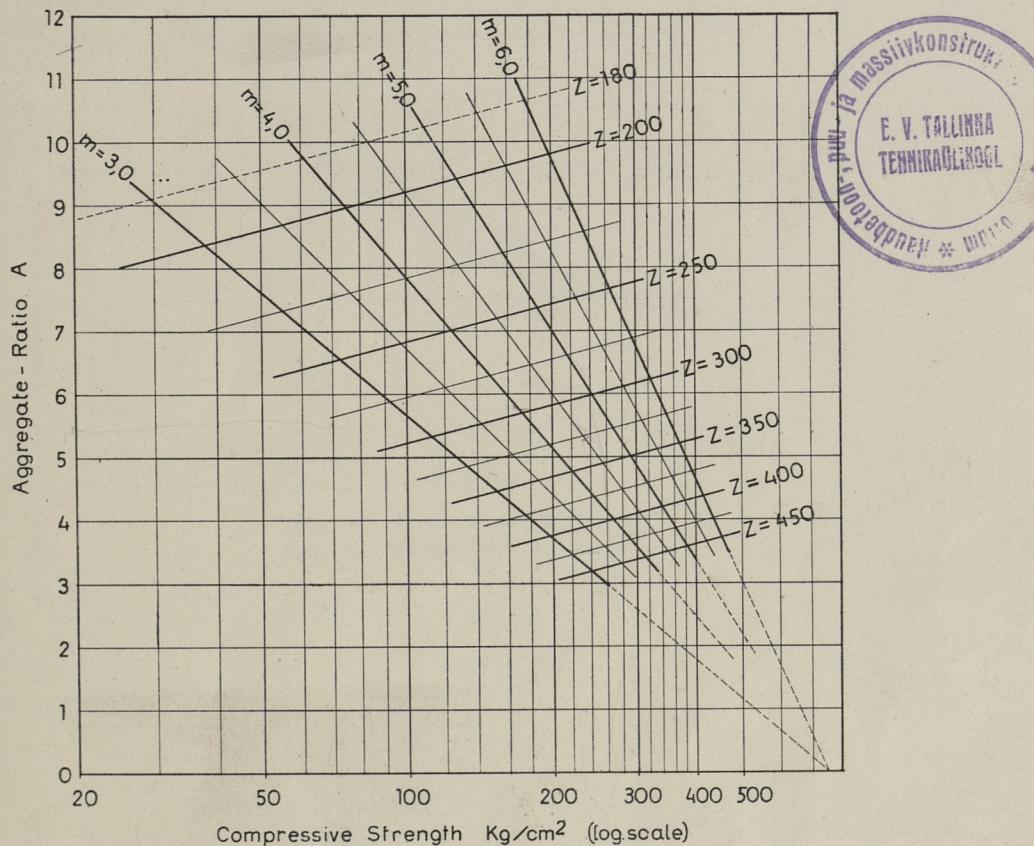


Fig. 8. Diagram for design of plastic concrete mixtures. (Relation between the compressive strength, the quantity of cement, the aggregate-cement-ratio and the fineness modulus of aggregate.)

Joon. 8. Plastilise konsistentsiga betoonseguude koostamise diagramm. (Survetugevuse, tsemendi hulga, agregaat-tsement-suhte ja agre-gaadi peensusmooduli vahekord.)

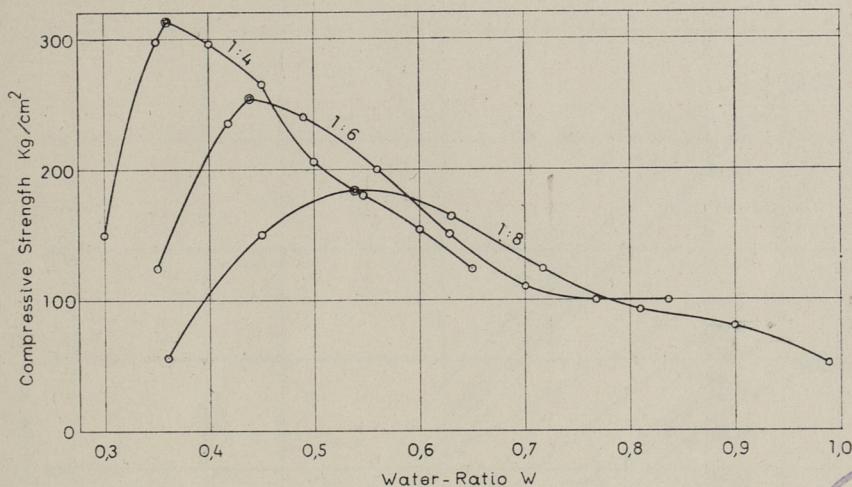


Fig. 9. Weisgerber's tests.
Joon. 9. Weisgerber'i katsud.

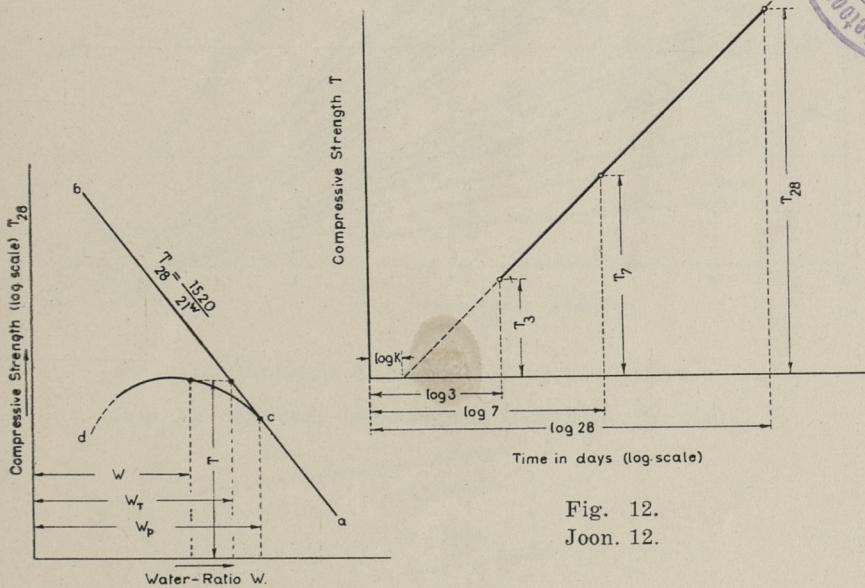


Fig. 10.
Joon. 10.

Fig. 12.
Joon. 12.

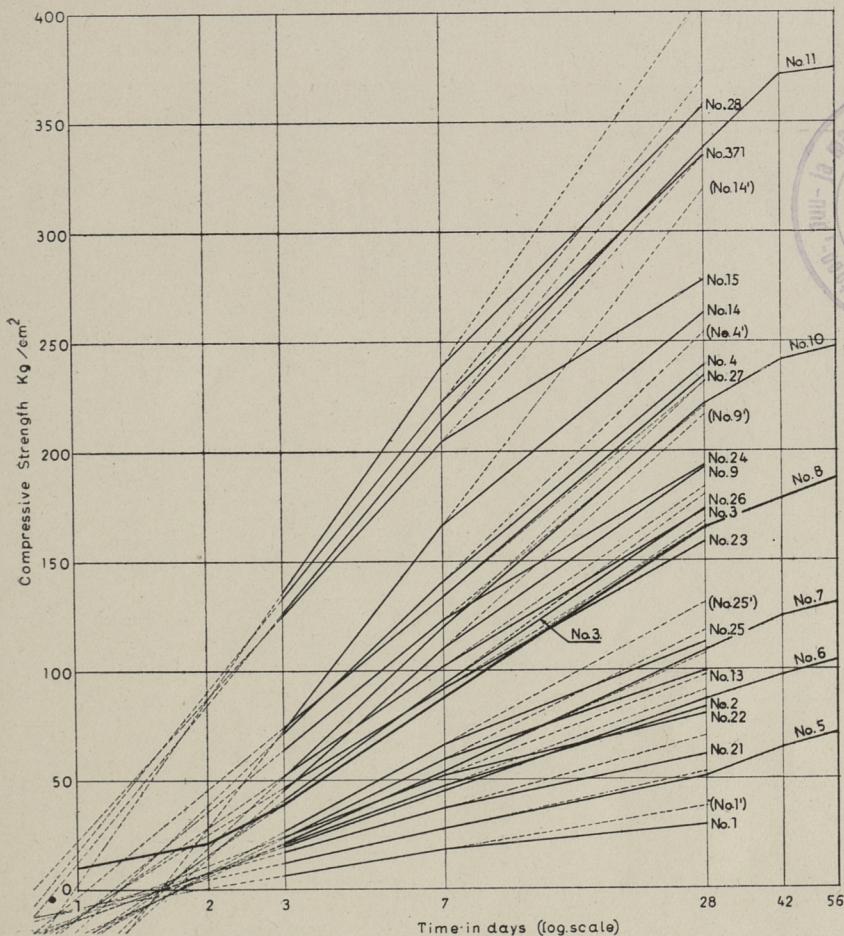
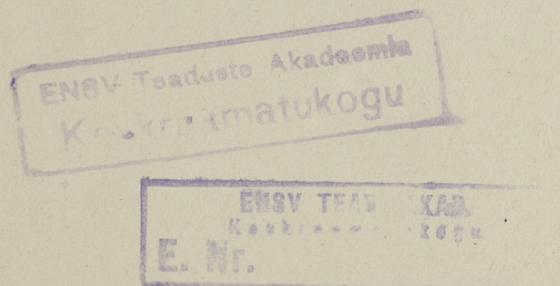


Fig. 11. Hardening diagrams of concrete mixtures tested.

Joon. 11. Katsutud betoonsegude kivinemise diagrammid.



28.9.59.
9.11.59.

