

5.1 Konsistens

Af Lars Nyholm Thrane og Claus Pade, Teknologisk Institut

Beton skal have den rigtige konsistens for at kunne udstøbes i den valgte form. Afhængigt af forholdene kan den ønskede konsistens være fra flydende til stiv.

De flydende betoner kaldes selvkompakterende (SCC, Self-Compacting Concrete), og de meget stive kaldes jordfugtige, fordi de opfører sig som let fugtig jord (eller grus).

Mange betoner har en konsistens herimellem, hvor de på den ene side virker som en tør eller halvtør grusbunke, og på den anden side bliver letflydende, når de vibreres ved påførelse af højfrekvente bølger – fx med en vibratorstav. Sådanne betoner kan opfattes som en kombination af et friktionsmateriale og en væske. Sand, grus og jord er eksempler på friktionsmaterialer.

Det har stor betydning at kunne beskrive en betons optimale konsistens og at kunne kontrollere, at den er opnået.

Konsistens kaldes ofte også for bearbejdelse. Senere i dette afsnit introduceres også begrebet rheologi, der er græsk og betyder "læren om flydegenskaber".

5.1.1 Flydeegenskaber

SCC betoner flyder af sig selv ud i formen og fylder denne, hvis SCC betonen har den rette konsistens. Der kan nemlig være meget stor forskel på SCC betoner og selv om en meget flydende konsistens umiddelbart gør arbejdet lettere, er det forbundet med risiko for separation at gøre SCC meget tyndtflydende. Det er derfor vigtigt at overveje, hvor flydende en SCC beton skal være til den enkelte støbning. Betoner, der skal vibreres, flyder ikke af sig selv, men under påføring af vibrering bliver de flydende, og de vil ofte være ganske tyndtflydende under vibrering – og også ofte mere tyndtflydende end SCC betoner.



Figur 1. Støbning med hvid SCC beton til venstre. Traditionel sætmålsbeton til højre, hvor vibrering udføres med en bjælkevibrator

For både SCC betoner og vibrerede betoner er det tyngdekraften, der får den flydende betonmasse til at løbe ud i formen, men for SCC er det et kemisk stof, der gør betonen flydende, mens det for vibrerede betoner er vibrationerne, der nedsætter friktionen mellem kornene, således at beton opfører sig som en væske.

5.1.2 Fastlæggelse og måling af konsistens

Ved et betonbyggeri er det normalt den projekterende, der tager sig af at beregne konstruktionsdimensioner og armering samt specificere krav til fx delmaterialer, beton styrke og betonens luftindhold.

Den udførende (fx en entreprenør) har ansvaret for at opfylde disse krav, men også ansvaret for at vurdere, hvad der skal til for at fylde formene fuldstændigt, opnå pæne overflader, undgå lunger osv. Det kræver, at den udførende anvender en beton med den rette konsistens.

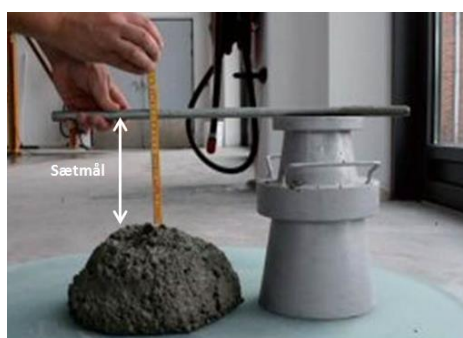
Arbejdet på byggepladsen er i sagens natur håndværkspræget og vurdering af betons rette konsistens har altid været meget erfaringsbaseret. Det er ofte formanden eller den mest erfarne person i sjakket, som beslutter, hvilken betonkonsistens der egner sig til fx en gulvstøbning, en vægstøbning eller et brodæk.

5.1.2.1 Sætmålsbeton

Traditionel betons konsistens udtrykkes ved det såkaldte sætmål. Dette måles ved en simpel prøvningsmetode, hvor en 300 mm høj kegle fyldes med beton ad tre gange, hvert lag stemples med en stang 25 gange, hvorefter keglen løftes og betonen skrider mere eller mindre sammen.

Ideen med denne metode er, at friktionen mellem partiklerne i den 300 mm høje betonkegle ikke er stor nok til at gøre keglen stabil overfor tyngdekraftens påvirkning, og betonen vil derfor begynde at skride sammen. Når sammenskridningen stopper, er friktionen mellem partiklerne i betonen stor nok til, at betonen forbliver stabil.

Den højde, betonen skrider sammen, kaldes sætmålet, som vist i figur 2 til venstre. I henhold til den europæiske standard EN 206 er der defineret fem sætmålsklasser S1-S5 som vist til højre i figur 2.



Sætmålsklasse	Sætmål i mm
S1	10 – 40
S2	50 – 90
S3	80-180
S4	160-210
S5	≥220

Figur 2. Sætmål og sætmålsklasser i henhold til EN 206

Sætmålet er et udmærket mål for traditionel, vibreringskrævende betons konsistens. I klassen S5 begynder betonen dog mere og mere at overgå til en væske, og styring efter sætmålet er uhensigtsmæssig. Sætmål over ca. 250 mm giver ikke megen mening.

5.1.2.2 SCC beton

SCC beton vil målt ved sætmålsmetoden altid få høje værdier, som ikke beskriver betonen særlig godt. I stedet for sætmål måler man for SCC som regel udbredelsen eller flydesætmålet. Til bestemmelse af flydesætmål anvendes samme kegle som til sætmål, dog stemples betonen ikke, keglen løftes og betonen flyder ud i en flad "kage". Diameteren på den totale udbredelse betegnes flydesætmålet. Dette er vist i figur 3 sammen med flydesætmålsklasserne SF1-SF3 defineret i EN 206.



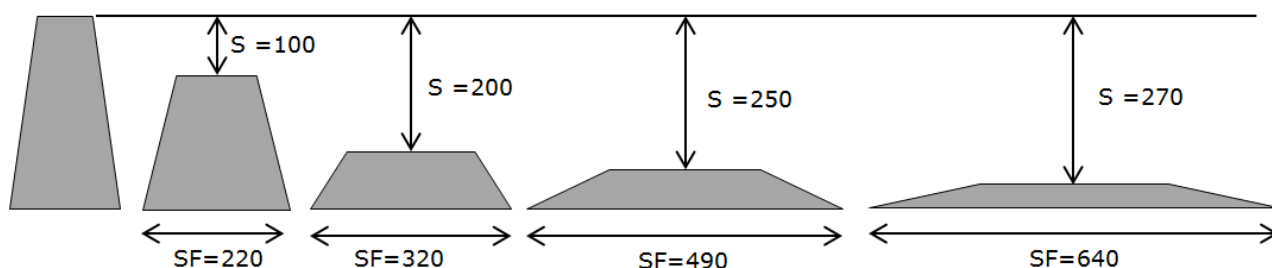
Flydesætmålsklasser	Flydesætmål i mm
SF1	550 – 650
SF2	660 – 750
SF3	760 – 850

Figur 3. SCC og flydesætmålsklasser i henhold til EN 206

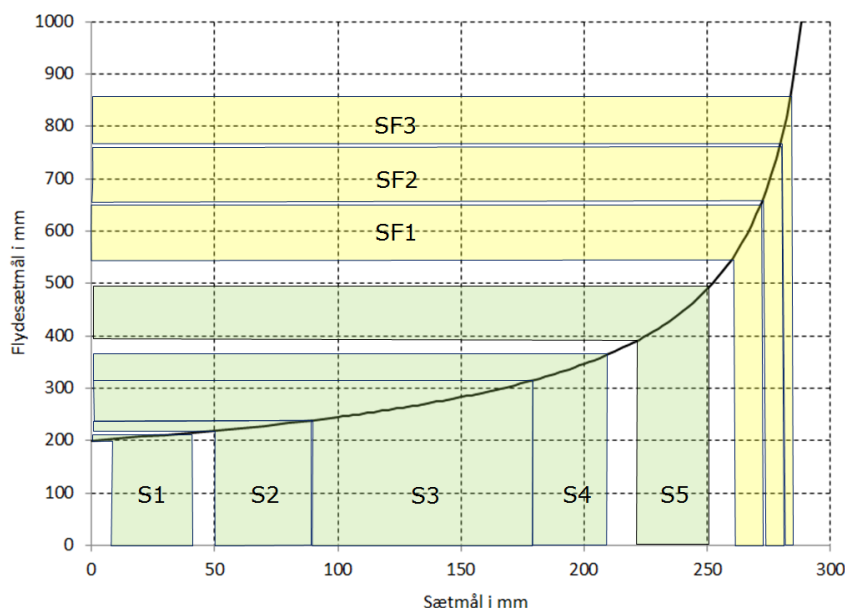
Figur 4 og figur 5 viser sammenhængen mellem sætmål og flydesætmål baseret på simple geometriske antagelser. Grafen i figur 4 viser, at når sætmålet er højt, så er ændringen i sætmål mindre end ændringen i flydesætmål, hvilket gør flydesætmål til et bedre mål for konsistensen. Omvendt, ved små sætmål, er ændringen i sætmål større end ændringen i flydesætmål og dermed er sætmål et bedre udtryk for konsistens.

Der er en "gråzone" mellem traditionel beton og SCC. I Danmark anvender vi ofte betegnelsen SCC for betoner med flydesætmål > 500 mm, svarende ifølge figur 5 til sætmål større end 250 mm.

Man skal desuden forstå, at det absolut største sætmål er 300 mm minus største stenstørrelse, hvilket typisk svarer til 270-280 mm.



Figur 4. Sammenhæng mellem sætmål og flydesætmål



Figur 5. Sammenhæng mellem sætmål og flydesætmål. Bemærk: Overlap mellem klasser er ikke vist (fx S2 og S3) og S5 > 220 mm er kun vist til 250 mm

Den erfaringsbaserede tilgang til konsistens med angivelse af ét tal (sætmålet) er udmærket for traditionel sætmålsbeton. Det er vanskeligere med SCC.

Det skyldes bl.a., at det ikke er nok at karakterisere SCC alene med ét tal fx flydesætmålet. Der kan være meget stor forskel på SCC med samme flydesætmål. Det skyldes den plastiske viskositet, som er et udtryk for betonens sejhed. En lav viskositet giver en beton, der flyder hurtigt og en høj viskositet en beton, der flyder langsomt. Men betoner med forskellig viskositet kan sagtens have samme flydesætmål, men opfører sig vidt forskelligt i formen.

Det gør, at det kan være svært at tolke årsagerne til, hvorfor en støbning er gået godt eller skidt. Var det pga. forkert valg af flydesætmål eller skyldtes det viskositeten? Derudover er kvaliteten af en SCC støbning mere følsom overfor korrekt valg af konsistens end konventionel sætmålsbeton.

Derfor er det vigtigt at optimere SCCs flydeegenskaber, og det er langt fra altid en fordel at vælge en meget flydende konsistens. SCC skal som udgangspunkt kun lige være flydende nok til, at man kan opnå en vellykket støbning.

Disse forhold gør, at der med SCC er sket et skifte i tilgangen til betons flydeegenskaber. Der er i højere grad brug for at koble det håndværks- og erfaringsmæssige med en videnskabelig tilgang og forståelse af betons flydeegenskaber.

Den videnskabelige tilgang til betons flydeegenskaber er forbundet med ordet rheologi. Det er græsk og betyder "læren om flydeegenskaber". Man taler derfor om væsers rheologiske egenskaber. De rheologiske egenskaber er fundamentale, fysiske egenskaber på lige fod med fx hærdet betons elasticitetsmodul. Tattersall og Banfill

var nogen af de første til at beskæftige sig med betons rheologi, og de udgav i 1983 bogen "The Rheology of Fresh Concrete" [1].

Sidenhen har der, specielt med udviklingen indenfor SCC i starten af 1990'erne, været meget fokus på rheologi lige fra udvikling af måleudstyr og fastlæggelse af rheologiske modeller til udvikling af værktøjer til simulering af formfyldning. Der er skrevet mange artikler om emnet, og senest er bogen "Understanding the Rheology of Concrete" udkommet i 2012 [2].

Med udgangspunkt i de rheologiske egenskaber kan man regne på, hvordan frisk beton vil opføre sig.

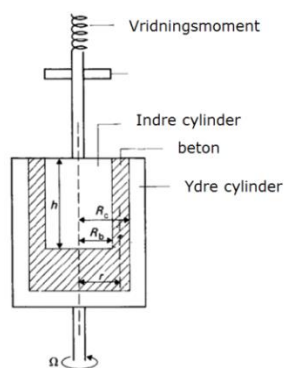
5.1.3 Rheologi - beton er en Bingham væske

Beton består af en række delmaterialer som vand, cement, sten og sand. Selv om det er selvstændige faser, så kan betonen, hvis den forbliver sammenhængende, opfattes som en homogen væske som illustreret i figur 6.



Figur 6. Vægstøbning med beton. Hvis betonen forbliver sammenhængende, kan vi antage, at betonen opfører sig som en homogen væske

Rheologiske målinger foretages med et rheometer, der baserer sig på et af de klassiske rotationsprincipper. BML-viscometret vist i figur 7 er et eksempel på et rheometer til beton, som baserer sig på det co-axiale cylinder-cylinder princip.



Figur 7. BML-viscometer. Eksempel på en cylinder-cylinder rheometer [3]

Væsken (betonen) placeres mellem en indre og en ydre cylinder. Herefter roterer den ydre cylinder og skaber derved forskydning i væsken, der til en vis og målelig grad overføres til den indre cylinder. Modstanden måles ved forskellige rotationshastigheder. Sammenhængen mellem modstand og rotationshastighed optegnes og viser typisk en ret linje, og på baggrund af omfattende målinger har det vist sig, at beton i høj grad opfører sig som en Bingham væske opkaldt efter Eugene C. Bingham, som foreslog den matematiske formel:

$$\tau = \tau_0 + \mu_{pl} \cdot \dot{\gamma}$$

Hvor τ er forskydningsspændingen, τ_0 er flydespændingen, μ_{pl} er den plastiske viskositet og $\dot{\gamma}$ er forskydningshastigheden.

Flydespændingen τ_0 kan opfattes som den kraft, der skal til for at få væsken til at starte med at flyde. Når vi fx måler et sætmål, så er det et udtryk for en ligevægt mellem tyngdekraften og den indre friktion i betonen (flydespændingen). Når sætmålet er lille, er det et udtryk for en høj flydespænding og omvendt. Visse typer af betoner - omtalt som jordfugtige betoner - har så høj en flydespænding, at det ikke giver nogen mening at benytte sætmål, da sætmålet er nul (deraf betegnelsen zero slump concrete i USA).

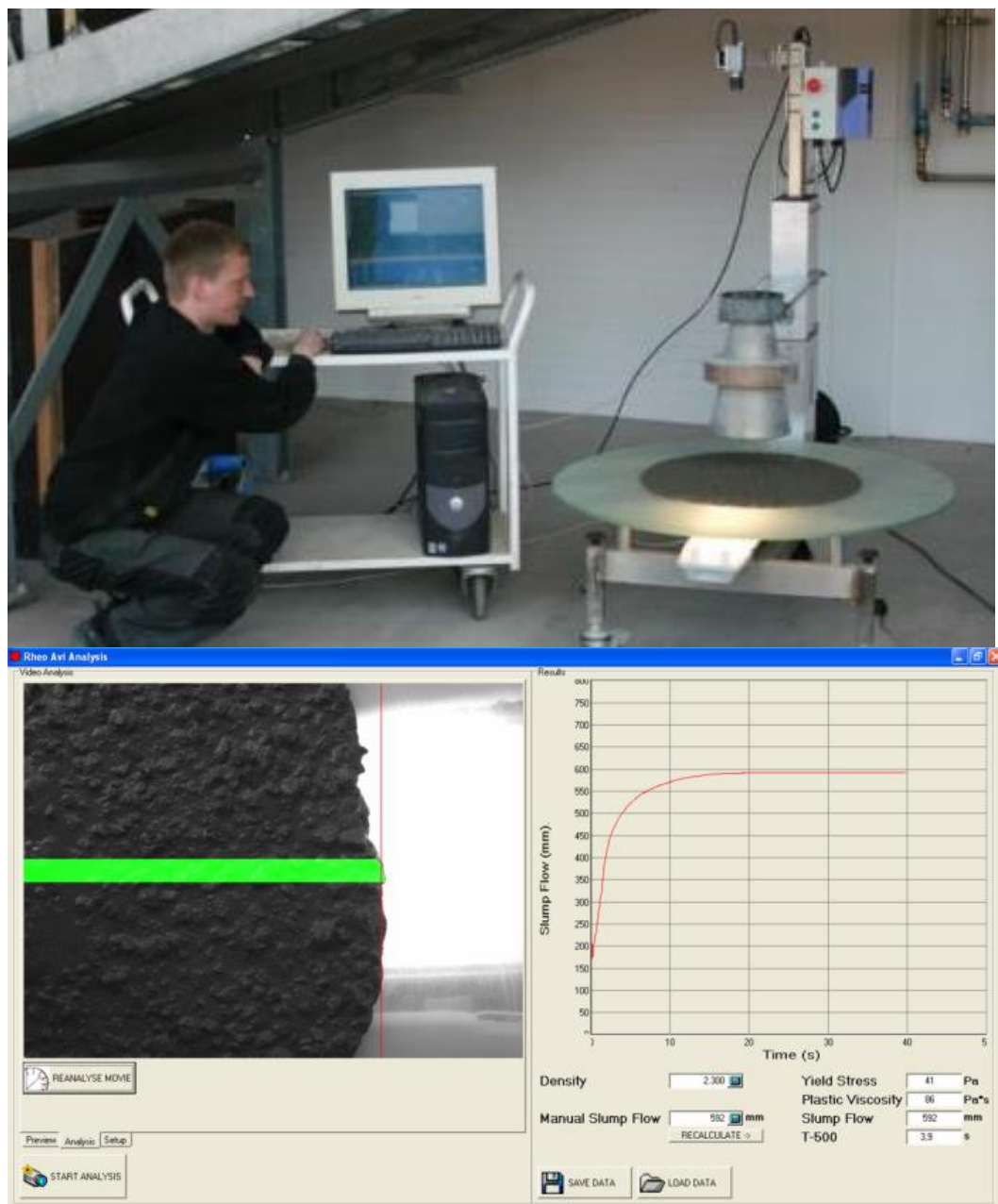
Flydespændingen er en meget vigtig parameter ved SCC støbninger. Specielt i konstruktioner med relativt svære støbebetingelser, er det helt afgørende at flydespændingen ikke er højere end at tyngdekraften kan presse betonen ud i alle hjørner. Omvendt må flydespændingen ikke blive for lav, da det øger risikoen for separation.

Den plastiske viskositet μ_{pl} siger noget om betonens sejhed. Den plastiske viskositet spiller en væsentlig rolle i forhold til at styre betonens stabilitet. Hvis fx flydespændingen er lav, er det fordel, at den plastiske viskositet er høj og omvendt. Høj plastisk viskositet er ofte en fordel ved vægstøbninger, hvorimod lav plastisk viskositet er en fordel ved gulvstøbninger, da det her er nemmere at udføre overfladebearbejdning fx ved jutning.

For flere detaljer om forskellige klassiske rheometre til beton, se bl.a. de to rapporter der udkom i 2000 og 2003 i forbindelse med en sammenligning af de forskellige rheometre. Undersøgelserne blev foretaget på LCPC (Laboratoire central des ponts et chaussées) i Nantes, Frankrig, og ved MB (Master Builder) i Cleveland, USA [3][4].

Som alternativ til de klassiske rotationsrheometre findes bl.a. det såkaldte 4C-Rheometer udviklet i Danmark specifikt til SCC betoner, som er vist i figur 8 [5]. Det er i princippet et fuldautomatisk pc-styret flydesætmål. Keglen løftes automatisk og et kamera optager betonens udbredelse. Ved simpel billedanalyse bestemmes den såkaldte flydekurve, som er sammenhængen mellem udbredelse og tid. Den kurve kan se meget forskellig ud alt afhængig af flydeegenskaberne. Ud fra kurvens forløb

bestemmes flydespænding og plastisk viskositet. Metoden er baseret på numerisk analyse af flydesætmålet, dvs. der ligger computersimuleringer bag denne omregning. Udstyret er udviklet med henblik på at lette forståelsen for rheologi i praksis og som et værktøj, der kan bruges både i laboratoriet og på byggepladsen.



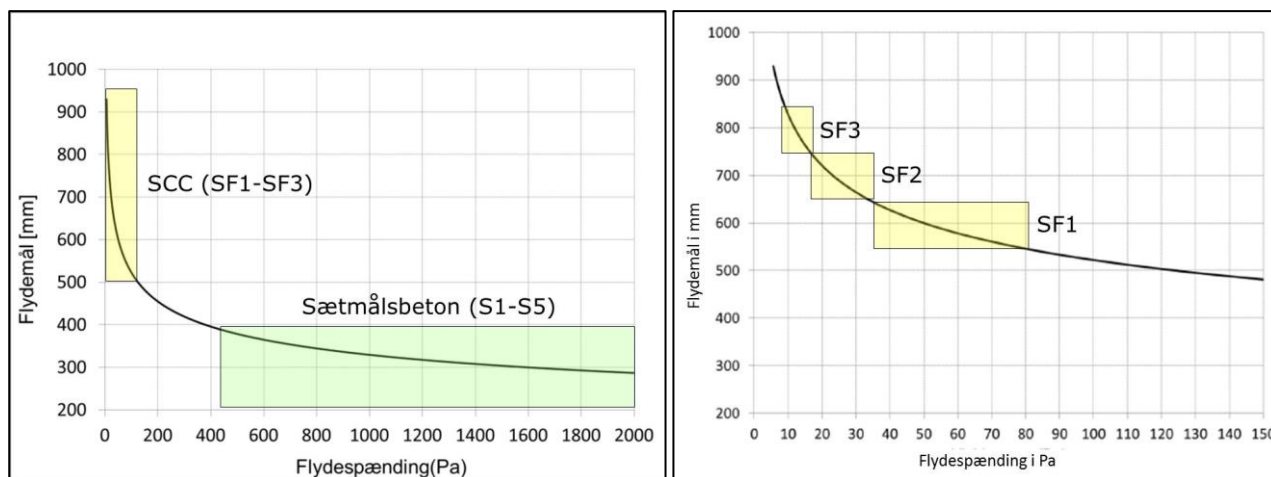
Figur 8. 4C-Rheometer til måling af SCC betons rheologiske egenskaber. Udstyr og måling er vist øverst, og programmets brugerflade er vist nederst [5]

5.1.4 Måling af de rheologiske egenskaber med simple testmetoder

I praksis er det de simple testmetoder, som sætmål og flydesætmål, der anvendes. Rheometre anvendes kun sjældent på byggepladsen, men da rheologi, specielt for SCC, er så vigtige parametre, er der de sidste 10 år arbejdet på at opnå en større forståelse for sammenhængen mellem betons opførsel i simple testmetoder og de rheologiske egenskaber.

Roussel og Coussot foreslog i 2005 nogle simple ligninger, der beskriver sammenhængen mellem flydespænding og flydesætmål [6]. Dette er vist i figur 9 til venstre, som viser flydesætmålet som funktion af flydespændingen. Området for SCC og sætmålsbeton er fremhævet. Til højre er der zoomet ind på området for SCC, hvor de tre flydesætmålsklasser fra EN 206 er fremhævet.

Tabel 1 viser, at når man fx skifter fra SF3 til SF2, så falder flydesætmålet med ca. 100 mm svarende til ca. 12 %. Derimod stiger flydespændingen markant, da den fordobles fra ca. 12 til 25 Pa. I forhold til at vurdere betonens evne til at fyldeformen, bør man tage udgangspunkt i flydespændingen og relativt set betyder det, at formfyldningsevnen er halveret. Tilsvarende gør sig gældende når man skifter fra SF2 til SF1, se tabel 1.

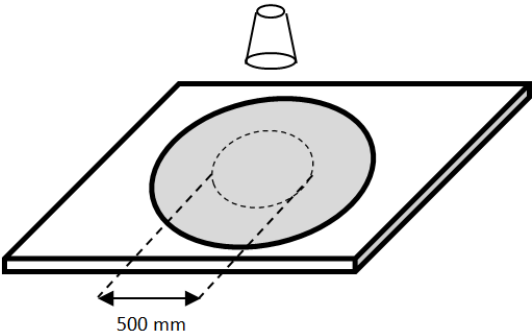


Figur 9. Sammenhæng mellem flydesætmål og flydespænding

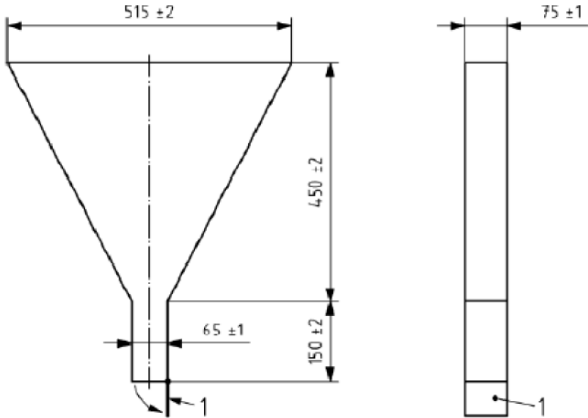
Flydesætmål klasse	Flydesætmål Gennemsnit	Relativ ændring	Flydespænding Gennemsnit	Relativ ændring
SF1	600	-14 %	50	100 %
SF2	700	-12 %	25	100 %
SF3	800		12	

Tabel 1. Sammenhæng mellem flydesætmål og flydespænding

For at vurdere den plastiske viskositet benyttes ofte " t_{500} " og/eller "V-funnel-tiden". t_{500} kommer fra samme test som flydesætmålet og udtrykker den tid, det tager for betonen at flyde ud til en diameter på 500 mm. "V-funnel-tiden" stammer fra metoden af samme navn. Her fyldes en tragt med beton, og den tid det tager at tømme keglen udtrykker "V-funnel-tiden". I EN 206 er der defineret to viskositetsklasser for hver af disse talværdier, se figur 10 og 11.

	t_{500} klasser	Tid i sekunder
	VS1	< 2,0
	VS2	≥ 2,0

Figur 10. Viskositetsklasser defineret i EN 206 ud fra måling af " t_{500} ", som er den tid det tager for betonen at nå en udbredelse på 500 mm

	V-funnel klas-ser	Tid i sekunder
	VF1	< 9,0
	VF2	9,0 – 25,0

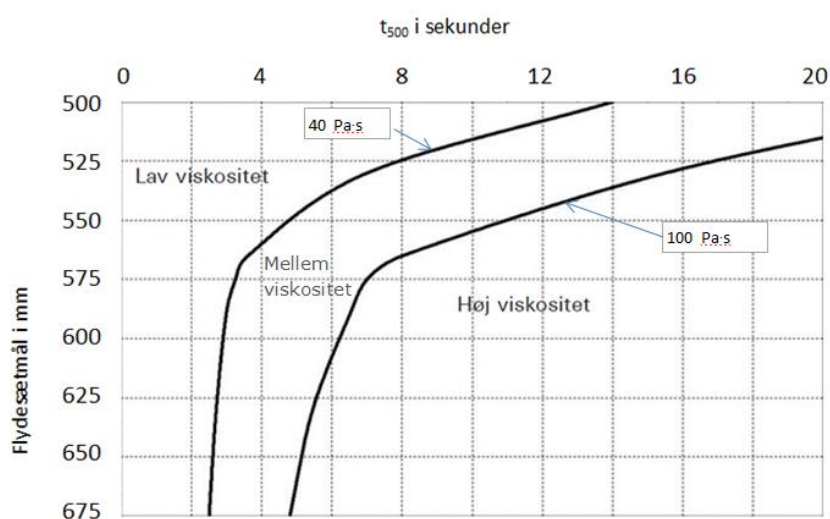
Figur 11. Viskositetsklasser defineret i EN 206 ud fra måling af "V-funnel-tiden", som er den tid, det tager at tømme tragten

I forhold til flydespænding findes der ikke på samme måde en simpel relation mellem t_{500} /V-funnel-tid og den plastiske viskositet. Det skyldes, at plastisk viskositet siger noget om, hvor hurtigt betonen flyder, hvilket er mere følsomt overfor grænsefladebetingelser såsom, hvor hurtigt keglen løftes i flydesætmålet. Desuden er betons flydehastighed ikke uafhængig af flydespændingen.

Under nogle givne antagelser om keglens løfthastighed er der i figur 12 foreslået en relation mellem t_{500} , flydesætmålet (hvilket indirekte er flydespænding) og plastisk viskositet. Figuren er fra "Vejledning i udførelse med selvkompakterende beton", som udkom i forbindelse med SCC-konsortiet i 2007.

Her blev der defineret tre viskositetsklasser - lav, mellem og høj - på baggrund af målinger med 4C-Rheometer på danske SCC betoner.

Overgangen mellem lav/mellem og mellem/høj viskositet blev her fastsat til henholdsvis 40 Pa·s og 100 Pa·s. Figur 12 viser, hvordan der tages højde for flydesætmål (flydespænding). Fx for den samme t_{500} værdi kan man opnå meget forskellig viskositet alt afhængig af flydesætmålet. Bemærk at EN 206 arbejder med en grovere inddeling. Her er der kun defineret to klasser for t_{500} - over og under 2 sekunder. Det bør man være opmærksom på, specielt når flydesætmålet er mindre end ca. 625 mm.



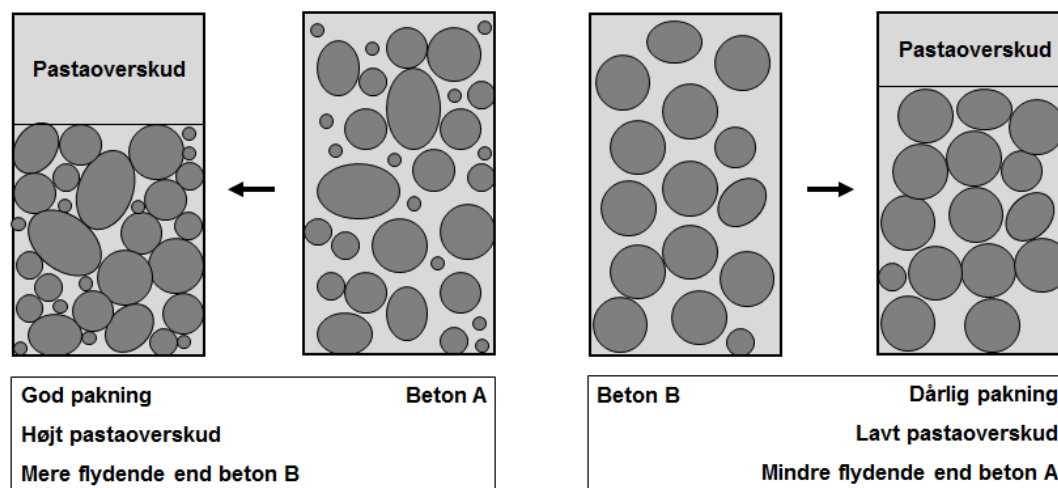
Figur 12. Bestemmelse af viskositetsklasse ud fra tidsmålingen t_{500} og flydesætmålet. Det antages, at keglen er retvendt og løftes 15 cm på ca. 2 sekunder i en jævn bevægelse. Viskositetsklasserne refererer til definitionerne i "Vejledning i udførelse med selvkompakterende beton" fra 2007 [7]

Til SCC er der, udover flydesætmålet, t_{500} og V-funnel, udviklet en lang række andre simple testmetoder, så som L-box, J-ring, Filling box, Orimet Test, U-box, hvoraf nogle udover fyldningsevne (filling ability) også forsøger at beskrive betonens evne til at passere armering (passing ability).

5.1.5 Sammenhæng mellem konsistens og recept

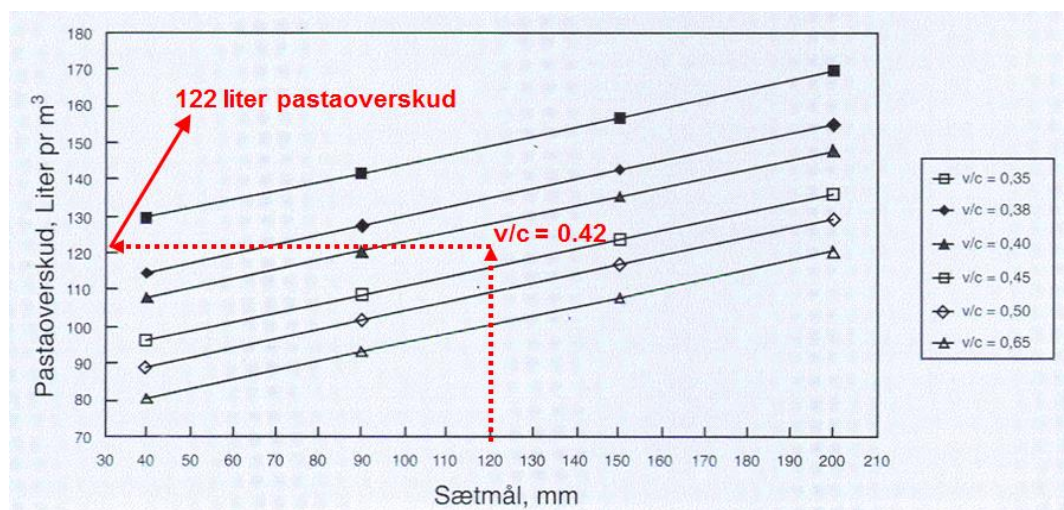
Der er en klar sammenhæng mellem konsistens og betonens sammensætning. Beton består som sagt af mange forskellige delmaterialer - cement, flyveaske, mikrosilika, vand, kemiske additiver, sand og sten. En måde at forklare, hvordan de forskellige delmaterialer påvirker konsistensen, er at dele betonen op to dele - pasta og tilslag. Pastaen udgør den flydende del af beton og består af vand, pulver, kemiske additiver, og luft. Pastaen kan i sig selv være mere eller mindre flydende. Tilslaget består så af sand og sten.

En af de vigtige parametre for sand og sten er deres kornstørrelsesfordeling. En af metoderne til at tage højde for kornkurven bygger på princippet om pakning. Pakning udtrykker sand og stens evne til pakke sig. Jo bedre sand og sten er til at pakke sig, desto højere konsistens kan man opnå med samme mængde pasta. Dette er illustreret i figur 13. Her er vist to betoner med samme mængde pasta. Forskellen er alene tilslagets kornstørrelsesfordeling. Beton A pakker godt, og det betyder, at der skal mindre pasta til at udfylde hulrummet mellem partiklerne. Det giver et højere pastaoverskud, og desto højere pastaoverskuddet er, desto mere flydende bliver betonen. Omvendt pakker Beton B dårligt og har derfor lavere pastaoverskud og konsistens. Der kan være mange penge sparet ved at optimere pakningen af tilslagene, da det kan minimere mængden af pasta, som ofte er den dyreste bestanddel i beton.



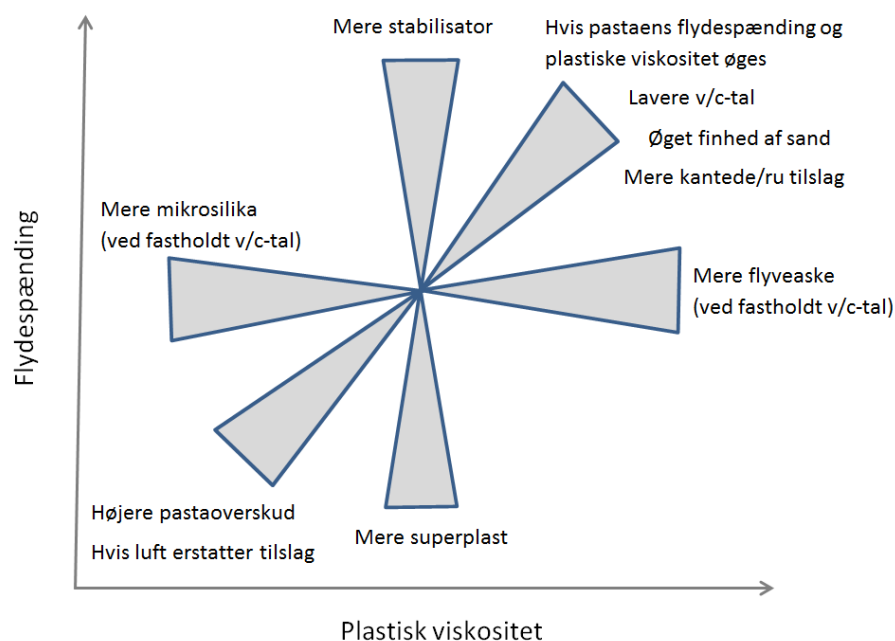
Figur 13. Illustration af pastaoverskud for to betoner med samme mængde tilslag og pasta, men med forskellige kornkurver

I CtO Betonteknik "Pakningsberegninger som hjælpemiddel ved betonproportionering" fra 1999 er der vist nogle erfaringstal for sammenhæng mellem pastaoverskud og sætsmål [8]. Som eksempel er vist, at der skal ca. 122 liter pastaoverskud til at opnå et sætsmål 120 mm ved et v/c-tal på 0.42 (se figur 14). Bemærk at desto højere v/c-tallet bliver, desto mindre pastaoverskud er der brug for. Det skyldes, at pastaen i sig selv bliver mere flydende pga. mere vand i forhold til cement. Bemærk desuden at figuren kun er vejledende, fx kan tilslagstypen (kantede kontra afrundede korn), cementtype samt anvendelse af flyveaske/mikrosilika påvirke pastabehovet væsentligt.



Figur 14. Sammenhæng mellem pastaoverskud, sætmål og v/c-tal fra CtO Betonteknik "Pakningsberegninger som hjælpemiddel ved betonproportionering" [8]. Figurerne er kun vejledende

For SCC beton er der i figur 15 vist forskellige figurer, der illustrerer betydningen af nogle receptændringer for de rheologiske egenskaber, flydespænding og plastisk viskositet. Figurerne stammer fra "Vejledning i sammensætning af selvkompakterende beton", som også udkom i forbindelse med SCC-konsortiet i 2007 [9]. Wallevik har fundet helt tilsvarende trends for sætmålsbeton [10].



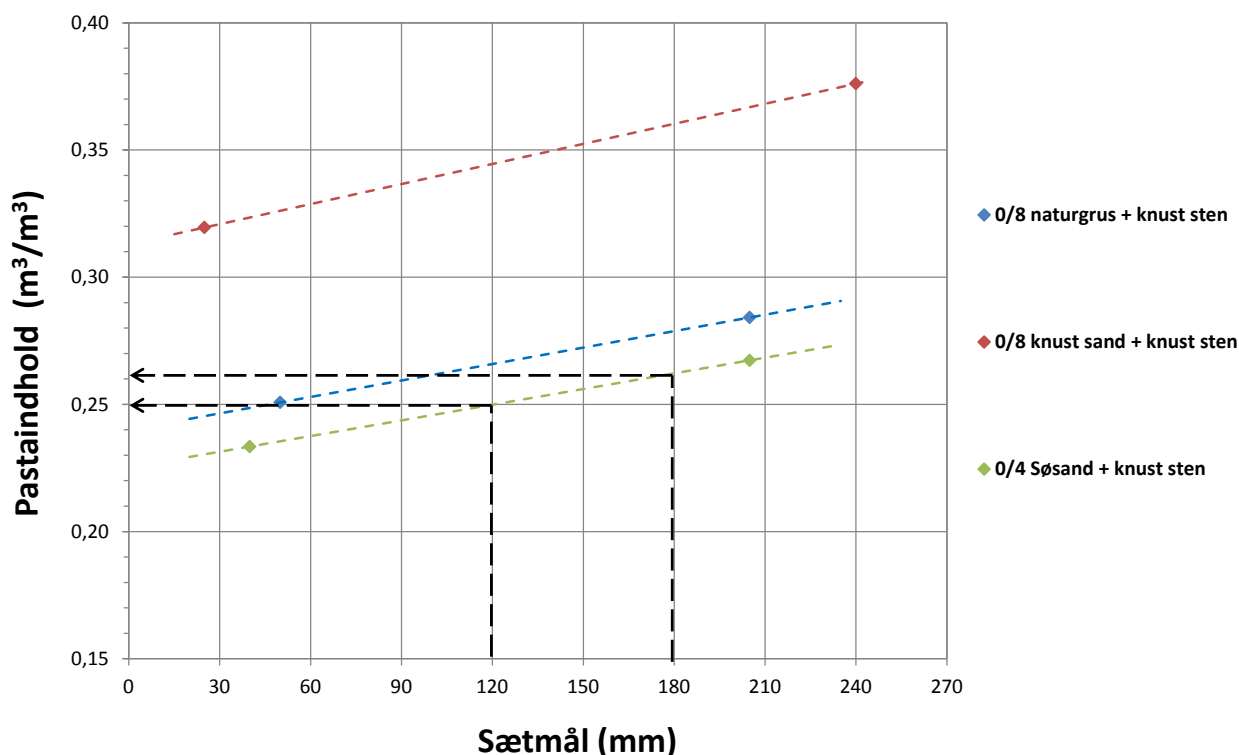
Figur 15. Receptændringers betydning for SCC betons rheologiske egenskaber. Uddrag fra "Vejledning i sammensætning af selvkompakterende beton" fra 2007 [9]

5.1.6 Styring af konsistens på betonfabrikken (konsistens i produktionen)

Et sortiment af betonrecepter til en given exponeringsklasse men med varierende sætmål, baseres typisk på fx en enkelt "grundrecept" med et sætmål på fx 120 mm. Lavere sætmål leveres ved at reducere pastaindholdet i betonen, mens højere sætmål kræver et øget pastaindhold.

Princippet er illustreret i figur 16, hvor af det fremgår, at en beton (søsten + knust sten) med sætmål 180 mm kan fås ved at øge pastaindholdet med ca. $0,012 \text{ m}^3/\text{m}^3$ i forhold til en grundrecept med sætmål 120 mm. I figur 16. bemærkes i øvrigt den store forskel i pastabehovet afhængigt af tilslagskombinationen.

Tilsvarende sker styring af konsistensen i den daglige produktion på en betonfabrik normalt gennem småjusteringer af den enkelte betons pastaindhold. Hvis betonen er lidt for tør (lavere end ønsket sætmål), øges pastaindholdet en smule i forhold til den nominelle recept og vice versa, hvis betonen er for våd.



Figur 16. Sammenhæng mellem pastaindhold og sætmål for tre forskellige kombinationer af tilslag

5.1.7 Kvalitetskontrol på byggepladsen

Det er altid anbefalelsesværdigt at teste konsistensen af betonen så tæt på udstøbningsstidspunktet som muligt. Herved sikres, med en yderst beskedne indsats, at der opnås mindst mulig risiko for udførelsesfejl, idet de valgte udførelsesmetoder er optimeret til den forventede betonkonsistens. Med en sætmålskegle, en plyfaplate og et stopur kan konsistensen af såvel sætmålsbeton som SCC beton vurderes. For SCC

beton kan man så ved hjælp af diagrammet i figur 12 bedømme betonens rheologiske parametre.

5.1.8 Litteratur

- [1] Tattersall G H and Banfill P F G, The Rheology of Fresh concrete, Pitman Publishing INC, 356 pp., 1983.
- [2] Roussel N (Ed.), Coussot P, Overlez G, Ferraris C F, Martys N S, Gauffinet-Garrault S, Chateau X, Flatt R, Khayat K H, Grunewald S, Thrane L N, Billberg P, Feys D, Understanding the rheology of concrete, Published by Woodhead Publishing Limited, 364 pp., 2012.
- [3] Ferraris C F, Brower L E, Banfill P, Beaupre D, Chapdelaine F, de Larrard F, Domone P, Nachbaur L, Sedran T, Wallevik O, Wallevik J E, Comparison of concrete rheometers: International tests at lcpc (nantes, france) in October, 2000, Technical report, NISTIR 6819, 156p, National Institute of Standards and Technology, NIST, 2000.
- [4] Beaupre D, Chapdelaine F, Domone P, Koehler E, Shen L, Sonebi M, Struble L, Tenke D, Wallevik O, Wallevik J E, Comparison of concrete rheometers: 219 Bibliography International tests at mb (cleveland oh, usa) in may, 2003, Technical report, NISTIR 7154, 47p, National Institute of Standards and Technology, NIST, 2003.
- [5] Thrane L, Pade C, Nielsen C, Determination of Rheology of Self-Consolidating Concrete Using the 4C-Rheometer and How to Make Use of the Results, Journal of ASTM International, Volume 7, issue 1, 10 pp., 2010.
- [6] Roussel N, Coussot P, "Fifty-cent rheometer" for yield stress measurements: from slump to spreading flow, J. Rheol. 49(3), 705-718, 2005.
- [7] Thrane L N, Pade C, Nielsen C V, Vejledning i udførelse med selvkompakterende beton, SCC-konsortiet, 47 pp., 2007.
- [8] Glavind M, Sørensen I, Thygesen E, Pakningsberegninger som hjælpemiddel ved betonproportionering, Beton-Teknik, november, 1999.
- [9] Pade C, Thrane L N, Nielsen C V, Vejledning i sammensætning af selvkompakterende beton, SCC-konsortiet, 21 pp., 2007.
- [10] Wallevik O H, Introduction to Rheology of Fresh Concrete. Course Compendium, ICI Rheocenter, Reykjavik, Iceland. 2009.