



Institutt for bygg- og energiteknikk
Postadresse: Postboks 4 St.Olav plass, 0130 Oslo
Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

GRUPPE NR.
34
TILGJENGELIGHET
Åpen

Telefon: +47 67 23 50 00
www.hioa.no

BACHELOROPPGAVE

TITTEL Årsaker til den lave bruken av selvkomprimerende betong i Norge		DATO 24. Mai 2017
FORFATTERE Mats Fjærestrand, Simen M. D. Hjelseth og Øyvind Fremmergård		SIDER / VEDLEGG 74 / 4
UTFØRT I SAMARBEID MED Unicon AS	EKSTERNE VEILEDERE Ida Malene Sommerstad Kaiwan Quadri Koplanto	INTERNE VEILEDERE Ann Karina Lassen Mahdi Kioumars

SAMMENDRAG

I følge flere forskningsartikler skal bruk av selvkomprimerende betong (SKB) kunne gi flere fordeler som tradisjonell betong ikke kan tilby. Likevel har SKB en relativt lav markedsandel i Norge, og bruken er hovedsakelig konsentrert i Oslo og omegn. Teorien Diffusion of Innovations har blitt brukt til å finne ut hvorfor SKB som en innovasjon ikke har tatt de nødvendige markedsandeler for å bli et veletablert produkt i Norge. I denne rapporten presenteres mulige årsaker til den lave bruken av SKB. Årsakene har blitt utforsket gjennom tolv dybdeintervjuer med fagfolk i byggebransjen. Laboratorieforsøk har også blitt gjennomført for å studere effekter av variasjoner i betongsammensetninger, samt effektene av dårlig utførelse, som kan oppstå på grunn av manglende kompetanse hos utførende på byggeplass. Ifølge rapportens resultater er ikke de opplevde fordelene med SKB så mange som forventet. Ustabilitet og manglende fokus på rutiner anses som de største utfordringene med denne typen betong i dag.

STIKKORD

-Selvkomprimerende betong
-Betongteknologi
-Separasjon

Forord

Denne rapporten er et avsluttende arbeid for bachelorstudiet i ingeniørfag - bygg (studieretning konstruksjon) ved Høgskolen i Oslo og Akershus, våren 2017.

Rapporten er skrevet i samarbeid med Unicon AS, som er Norges ledende leverandør av ferdigbetong. De har vært viktige bidragsyttere på grunn av deres kompetanse innen produksjon av betong og kjennskap til hvilke kunder som benytter selvkomprimerende betong. I tillegg har Unicon AS gitt oss tilgang til deres betonglaboratorium hvor det har vært mulig å gjennomføre ulike forsøk på selvkomprimerende betong.

Gjennom studietiden på HiOA har vi blitt introdusert for ulike fag hvor betong som byggemateriale har stått sentralt, og disse fagene har ført til egeninteresse innen temaet for samtlige av rapportens forfattere. Vi har derfor ønsket å fordype oss i fagfeltet for å øke forståelsen av dette komplekse materialet som gir uendelige muligheter i byggsammenheng. Arbeidet med rapporten har til tider vært utfordrende, men for det meste har det vært svært lærerikt og spennende. Det har gitt mange erfaringer som vi ser frem til å ta med oss inn i arbeidslivet.

Vi ønsker å rette en stor takk til våre veiledere for hjelp de har bistått med gjennom arbeidet med denne rapporten.

Unicon AS

Ida Malene Sommerstad

Kaiwan Quadri Koplanto

Høgskolen i Oslo og Akershus

Ann Karina Lassen

Mahdi Kioumarsi

Vi vil også takke Alejandro Figueres ved HiOA for mange gode innspill.

Oslo 24.05.2017



Mats Fjærestrand



Simen M. D. Hjelseth



Øyvind Fremmergård

Sammendrag

I følge litteraturstudien som har blitt gjennomført i denne rapporten skal selvkomprimerende betong (SKB) kunne gi fordeler som tradisjonell betong ikke kan tilby. Fordelene som kan oppnås omfatter både praktiske, økonomiske, helsemessige og kvalitetsmessige aspekter, og da produktet ble introdusert for det norske markedet på slutten av 90-tallet ble det forventet at det skulle ta en betydelig markedsandel i kommende år. I 2016 utgjorde SKB 5,1% av totalt produsert betongvolum på landsbasis, hvilket er mye mindre enn tidligere forventet. I denne rapporten blir mulige årsaker til dette undersøkt og drøftet på bakgrunn av tolv kvalitative intervjuer med ulike aktører i betongbransjen, og gjennom to laboratorieforsøk som omhandler stabilitet og tidligfasthet i SKB.

Betongbransjen i Norge kan på mange måter anses som en noe konservativ bransje, hvor valg av materialer og metoder i stor grad preges av vane og subjektive holdninger. Derfor har teorien om Diffusion of Innovations blitt brukt som et verktøy for å bedre kunne forstå hvordan ulike faktorer har påvirket markedsandelen til SKB over tid.

Intervjuene viser at SKB i dag er et produkt som i stor grad har blitt forbedret siden slutten av 90-tallet, men at produktets egenskaper ennå ikke er tilfredsstillende nok til å møte alle brukeres forventninger, som er vesentlig for at produktet skal kunne ta en stor markedsandel. Ustabilitet i betongen blir ansett som den største utfordringen, men lav tidligfasthet, økt forskalingstrykk og manglende fokus på tilpasning av interne rutiner er også ansett som medvirkende årsaker til usikkerhet og økt risiko ved bruk av SKB. I tillegg antydes det i intervjuene at fagforeninger kan stille krav til støpelag, som gjør at det å bruke SKB blir mindre gunstig for entreprenører. I dag er tradisjonell betong et mer pålitelig produkt som innebærer mindre risiko ved bruk, og derfor er det for mange mer naturlig å velge dette fremfor SKB.

Laboratorieforsøkene viser at lave herdetemperaturer ikke burde være til noe større hinder for bruk av SKB enn for bruk av tradisjonell betong og at riktige herdetiltak er vesentlig for å oppnå gode resultater, uavhengig av betongtype. Forsøkene viser også at det ikke nødvendigvis skal så mye til for at en SKB separerer, og at dette kan ha betydning for betongens fasthet i deler av en konstruksjon.

For at SKB skal bli et mer pålitelig produkt er det viktig at alle relevante aktører bidrar på sine områder. Produsenter må få bedre kontroll på delmaterialer, utførende må stramme inn rutiner for mottakskontroll og utførelse av arbeider. Det anses som viktig at gjeldende standardverk revideres med fokus på SKB spesielt og at det stilles strengere krav til produksjon og håndtering. Kompetanseheving i alle ledd, gjennom erfaringsoverføring på tvers av fagfelt er vesentlig for å oppnå bedre resultater med SKB. Et engelsk, utvidet sammendrag er vedlagt (vedlegg D).

Abstract

According to the literature study that has been conducted in this thesis, self-consolidating concrete (SCC) should be able to offer advantages over conventional concrete. The potential benefits include economical, health-related and quality-related aspects. As the product was introduced to the Norwegian construction industry in the late 1990s, it was expected to take a significant market share in the coming years. In 2016, SCC made up 5,1% of the total concrete volume produced nationally, which is much less than previously expected. In this thesis, possible reasons to the low use of SCC in Norway are investigated and discussed on the basis of twelve qualitative interviews with individuals holding different roles in the Norwegian construction industry, and through two laboratory trials concerning stability and early strength in SCC.

The concrete industry in Norway can be perceived as a somewhat conservative industry, where the choice of materials and methods is largely based on habits and subjective opinions. Therefore, the theory of Diffusion of Innovations has been used as a tool to give a better understanding of how different factors have affected the use of SCC over time.

The interviews indicate that SCC has been improved a lot since the late 1990's, but that the product's properties are not yet satisfactory enough to meet enough users' expectations, which is essential for the product to be able to win a large market share. Concrete instability is considered to be the biggest challenge, but low early strength, increased formwork pressure and lack of focus on the adjustment of internal routines are also considered as contributory causes of uncertainty and increased risk by using SCC. In addition, it is mentioned in the interviews that trade unions may set restrictions that makes the use of SCC less favorable to contractors. Today, conventional concrete is a more reliable product which carries less risk, and therefore it's natural to choose conventional concrete over SCC today.

The laboratory trials show that low curing temperatures should not be a bigger challenge when using SCC than when using conventional concrete, and that proper measures, such as formwork insulation and external/internal heating, must be taken regardless of what type of concrete one's using. The trials also show that smaller changes in concrete composition can have large effects on the stability of the concrete, and that segregation may reduce the compressive strength in various parts of a structure.

In order for SCC to become a more reliable product, it is important that everyone contribute in their areas of expertise. Manufacturers have to gain control over aggregate moisture, contractors need to tighten routines for quality control and execution on site. It is considered important that the current standards are revised, focusing on stricter requirements for production and handling of SCC. Increasing knowledge in all fields of expertise is essential for achieving better results with SCC. An extended abstract is enclosed (Vedlegg D).

Forside	s. i
Forord	s. ii
Sammendrag	s. iii
Abstract	s. iv
Definisjoner, forklaringer og forkortelser	s. 3
Figurliste	s. 4
Tabelliste	s. 4
1 Innledning	s. 5
1.1 Bakgrunn	s. 5
1.2 Litteraturstudie	s. 6
1.3 Formål	s. 9
1.4 Presisering av problemstilling	s. 9
1.5 Hypotese	s. 10
1.6 Potensielle gevinster	s. 11
1.6.1 Praktiske fordeler	s. 11
1.6.2 Effektivitet og økonomi	s. 11
1.6.3 Betongkvalitet	s. 11
1.6.4 HMS	s. 11
1.6.5 Overflater	s. 12
1.7 Utfordringer ved bruk	s. 12
1.7.1 Lav tidligfasthet	s. 12
1.7.2 Ustabilitet	s. 12
1.7.3 Støpetrykk	s. 14
1.7.4 Manglende kunnskap	s. 16
1.8 Avgrensninger	s. 17
1.8.1 Tematisk avgrensning	s. 17
1.8.2 Geografisk avgrensning	s. 17
1.9 Historie	s. 18
2 Betongteori	s. 20
2.1 Betongens sammensetning	s. 20
2.1.1 Delmaterialer	s. 20
2.1.2 Partikkel-matriksmodellen	s. 22
2.1.3 Partikkel- og matriksdominans	s. 24
2.1.4 Oppsummering	s. 25
2.2 Støpemetode	s. 26
2.2.1 Pumpe	s. 26
2.2.2 Tobb	s. 26
2.2.3 Formventil	s. 27
2.3 Publikasjon nr. 29 og gjeldende standardverk	s. 27

3 Bruk av etablerte teorier	s. 29
3.1 Diffusion of Innovations	s. 29
3.2 Word of mouth	s. 32
4 Metode	s. 33
4.1 Drøfting og valg av metoder	s. 33
4.1.1 Kvalitativ metode	s. 33
4.1.2 Kvantitativ metode	s. 34
4.1.3 Blandet metode	s. 34
4.2 Respondenter	s. 35
4.3 Programvare	s. 35
4.4 Gjennomføring	s. 36
4.4.1 Intervjuer	s. 36
4.4.2 Laboratorieforsøk	s. 36
4.5 Refleksjon og kvalitetssikring	s. 37
4.5.1 Validitet	s. 37
4.5.2 Reliabilitet	s. 37
4.5.3 Objektivitet	s. 37
4.5.4 Generaliserbarhet	s. 38
4.5.5 Kildekritikk	s. 38
5 Resultat	s. 39
5.1 Intervjuer	s. 39
5.1.1 Fordelingen av tradisjonell og selvkomprimerende betong	s. 39
5.1.2 Bruk av SKB i ulike konstruksjonsdeler	s. 41
5.1.3 Opplevde verdier ved bruk av SKB	s. 43
5.1.4 Behovet for SKB	s. 45
5.1.5 Kontroll og håndtering av SKB	s. 47
5.1.6 Kvalitet og utfordringer med SKB	s. 51
5.1.7 SKB i lave temperaturer	s. 55
5.1.8 Samarbeid i bransjen	s. 57
5.1.9 Fremtidsutsikter for SKB	s. 59
5.2 Laboratorieforsøk	s. 63
5.2.1 Polykarboksylat-baserte SP-stoffers retarderende effekt på SKB	s. 63
5.2.2 Påvisning av separasjon i selvkomprimerende betong	s. 63
6 Diskusjon	s. 64
7 Konklusjon	s. 69
Kildeliste	s. 71
Vedlegg	s. 75

Definisjoner, forklaringer og forkortelser

Bestandighetsklasse	Eks. M40 / MF40. Tallet angir vanninnholdet i betongen og lavere tall gir høyere bestandighet. "F" betyr at betongen er tilsatt luftinnførende tilsetningsstoff, som fungerer som frostsikring.
Flyteskjærspenning	Den spenning som må påføres materialet før materialet flyter.
Matriksfase	Den flytende komponent i Partikkel-matriksmodellen. Alle materialer i en mørtel eller betong (inklusive væske) med korndiameter < 0,125 mm.
NB	Norsk Betongforening.
NS-EN	Norsk standard, Europeisk norm.
Partikkelfase	Tilslagspartikler i betong > 0,125 mm.
Partikkelinterferens	Visse fraksjoner av tilslaget er overrepresentert.
Partikkelsprang	Det mangler visse fraksjoner av tilslaget.
Robusthet	Betongens evne til å motstå separasjon.
Stabilitet	Betongens evne til flyte ut, samtidig som den motstår separasjon.
SKB	Selvkomprimerende betong.
SU-mål	Synkutbredelse, prøvemethode for måling av betongens konsistens.
Synk-mål	Mål for konsistens. Prøvemethode for tradisjonell betong.
Tobb	En støpemetode der en beholder fylles med betong, og løftes med kran fra betongbil til forskaling.
TSS	Tilsetningsstoffer.
v/c-tall	Blandingsforholdet mellom vann og sement.
Viskositet	Hvordan ulike væsker beveger seg, hvor tyktflytende væsken er.
Åpen gradering	Gir større hulrom, som kan komme av partikkelinterferens og partikkelsprang.

Figurliste

Figur 1.1 Utviklingen av markedsandelen til SKB	s. 5
Figur 1.2 Mørtel- og vannseparasjon	s. 12
Figur 1.3 Steinreir ca. 30 cm over bunnen	s. 13
Figur 1.4 Illustrasjon av forskalingstrykk	s. 16
Figur 1.5 a) Pantheon (ca 126 e.Kr.) i Roma	s. 18
Figur 1.5 b) Colosseum (ca 70 e.Kr.) i Roma	s. 18
Figur 2.1 Beskrivelse av delmaterialene i betong	s. 22
Figur 2.2 Betongens støpelighet sine tre avhengigheter	s. 23
Figur 2.3 Partikkedominert og matriksdominert betong	s. 24
Figur 2.4 Sammenheng mellom matriksvolumet og synkmål	s. 24
Figur 2.5 a) Pumpebil	s. 26
Figur 2.5 b) PUMI	s. 26
Figur 2.6 Tobb	
s. 27	
Figur 2.7 Støpeventil	s. 27
Figur 3.1 Beslutningsprosessen	s. 29
Figur 3.2 Sammensatt Bell- og S-kurve	s. 31
Figur 5.1 Beslutningsprosessen tema 1	s. 39
Figur 5.2 Beslutningsprosessen tema 2	s. 41
Figur 5.3 Beslutningsprosessen tema 3	s. 43
Figur 5.4 Beslutningsprosessen tema 4	s. 45
Figur 5.5 Beslutningsprosessen tema 5	s. 47
Figur 5.6 Beslutningsprosessen tema 6	s. 51
Figur 5.7 Beslutningsprosessen tema 7	s. 55
Figur 5.8 Beslutningsprosessen tema 8	s. 57
Figur 5.9 Beslutningsprosessen tema 9	s. 59
Figur 5.10 Prøvelegemer	s. 63
Figur 5.11 Trykktestede terninger	s. 63

Tabelliste

Tabell 1.1 Informasjonen hentet fra litteraturstudien	s. 6
Tabell 2.1 Typiske verdier for flytmotstand	s. 23
Tabell 4.1 Oversikt over intervjuobjekter	s. 35

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

På slutten av 90- og starten av 2000-tallet ble det antatt at selvkomprimerende betong (SKB) skulle ta en stor markedsandel i kommende år og SKB har av flere blitt ansett som fremtidens betong (Norsk fabrikkbetongforening [FABEKO], 1999) (Goodier, 2003). SKB skal kunne gi gevinster som tradisjonell betong ikke kan tilby, uten å føre til merarbeid eller økte kostnader. Mange i bransjen hadde stor tro på produktet, men nå, 18 år senere, har ennå ikke bruken nådd de høydene man tidligere forutså (Domone, 2006).



Figur 1.1 Utviklingen av markedsandelen til SKB fra 2010 - 2016 (T. Cielicki, personlig kommunikasjon, 09. Mai, 2017).

Dette reiser spørsmålet; hvorfor brukes det så lite hvis det er så bra, og er produktet faktisk så bra som hevdet? Saken har blitt diskutert tidligere og det finnes flere teorier, men få konklusjoner har blitt trukket. I et foredrag som ble holdt i 2002 nevnte Thomas Österberg fra Vägverket Produktion de fire viktigste suksessfaktorene for å lykkes med SKB:

- 1) Prosesstyring ved fabrikk
 - 2) Leveranse- og mottakskontroll
 - 3) Fokus på utvikling (material- og produksjonsteknikk)
 - 4) Engasjement og interesse hos entreprenør og materialleverandør
- (Byggeindustrien [Bygg.no], 2002)

I følge Unicon AS er dette faktorer som er like gjeldende for å lykkes med SKB i dag.

Betongens forbruk de siste tjuefem årene viser en trend hvor det stadig foretrekkes en bløtere konsistens. Dette, sett i det store bildet, fører til at SKB differensieres mindre fra tradisjonell betong, fordi en bløtere betong i praksis er en tilnærming til SKB. Bruken av SKB i Norge kan måles og analyseres gjennom antall kubikk som produseres årlig, men hvor mye SKB som bestilles styres av de utførende og dette kan være påvirket av subjektive

oppfatninger og tidligere erfaringer. Denne rapporten bygger derfor hovedsakelig på kvalitative intervjuer som søker svar på problemstillingen.

1.2 Litteraturstudie

Litteraturstudien danner grunnlaget for problemstillingen og kartlegger gevinstene som SKB skal kunne tilby, ved at tilstrekkelige forkunnskaper legges til grunn for det aktuelle temaet. Dette gir grunnlag til å sammenligne de angivelige fordelene med entreprenørers erfaringer fra praksis. Dette danner et kunnskapsgrunnlag om SKB, som medvirker til å forstå prosessen i entreprenørers beslutning om valg av betongtype. Litteraturstudien har også vært nødvendig i forbindelse med utarbeidelsen av temaer og spørsmål til intervjuguiden.

Tabell 1.1 Informasjon hentet fra litteraturstudien

Forfatter	Metode	Tittel/(år)	Faktorer undersøkt
Rescon, Mapei AS, -Betongindustri	Artikkel	Selvkomprimerende betong (2002)	Fordeler og egenskaper ved bruk av SKB.
<p>Konklusjon: Bruk av selvkomprimerende betong muliggjør bestandige betongkonstruksjoner uavhengig av kvaliteten på arbeidskraften og tilgjengelig komprimeringsutstyr på arbeidsplassen.</p> <p>Utdrag: "Takket være sin stabilitet og deformasjonsevne gir selvkomprimerende betong en betong med bestandighet og pålitelighet i konstruksjonen som er uavhengig av bygge- og anleggsplassrelaterte forhold som kvalitet på utførelse, støpings- og kompakteringssystemer. Spesielt gjør høy motstand mot ekstern segregering og betongens selvkompakterende evne at feil, som store luftbobler og steinreir – som jo i betydelig grad nedsetter kvaliteten og bestandigheten på en konstruksjon – blir eliminert" (Rescon Mapei, 2002).</p>			
Forfatter	Metode	Tittel/(år)	Faktorer undersøkt
Thomas Österberg og Lars Frydendal, Møteleder: Stefan Jacobsen	Referat fra foredrag	Når tar bruken av selvkomprimerende betong av i Norge? (2002)	Utfordringer med SKB. Mulige fordeler for produsent og utførende
<p>Konklusjon: Utfordringen ligger i utvikling av materialer og rammeverk. Det er muligheter for langsiktig fortjeneste for både leverandør og utførende (Bygg.no, 2002).</p>			

Forfatter	Metode	Tittel/(år)	Faktorer undersøkt
Våre Veger 8- 1999 - 26 - årgang	Artikkel	Selvkomprimerende betong: Revolusjoneres betongarbeidene? (1999)	Utfordringer ved de første støpearbeidene utført med SKB. Fremtidsutsikter og ansvarsfordeling.

Konklusjon:

Det er knyttet store utfordringer til å kunne produsere stabil SKB og utførelse med spesielle krav til støpemetode. Uavklart ansvarsforhold. Kompetanseheving og kontroll hos leverandøren (FABEKO, 2009).

Forfatter	Metode	Tittel/(år)	Faktorer undersøkt
Tor Arne Hammer	Konferanse-sammendrag	Selvkomprimerende betong - hvorfor leverer vi bare 2 % SKB i Norge? (2007)	Andel levert SKB i Norge

Konklusjon:

Ingen konklusjon (SINTEF byggforsk [SINTEF], 2007).

Forfatter	Metode	Tittel/(år)	Faktorer undersøkt
V.Rajamohan og P.Umasai Krishna	Litteratur-studie, laboratorie-tester og observasjon ved testing.	Self Compacting Concrete (2016)	Fordeler ved bruk av SKB

Konklusjon:

Forskningen viser til 17 større eller mindre fordeler ved bruk av SKB (Rajamohan, V., & Krishna, P. U., 2016, s. 2).

Forfatter	Metode	Tittel/(år)	Faktorer undersøkt
P.L .Domone	Case studie	Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies. (2006)	Hva man kan forvente av SKB. Hvorfor bruker man det.

Konklusjon:

Det er fortsatt store muligheter for optimalisering for økt effektivisering og økte økonomiske gevinster ved bruk av SKB. De fleste bruker SKB pga av tekniske utfordringer ved at de ikke kommer til med vibratoren, og hele 67 % bruker det som argument for bruk av SKB (Domone, P. L., 2006, s.197-208).

Forfatter	Metode	Tittel/(år)	Faktorer undersøkt
Okamura, H., og Ouchi, M.	Litteraturstudie og lab. test.	Self-compacting concrete (2003)	Fordelene med et mindre krevende byggemateriale. Separasjons utfordringer.

Konklusjon:

Ved lavere kompetanse hos arbeideren krever det mer av byggemateriale for å oppnå samme resultat. Ved kontroll av betongen og bruk av stabiliserende middel er separasjon et mindre problem. (Okamura, H., & Ouchi, M., 2003, s. 5-15)

Forfatter	Metode	Tittel/(år)	Faktorer undersøkt
C.I. Goodier	Artikkel Litteraturstudie	Development of self-compacting concrete (2003)	Utvikling og spredning av SKB fra Japan til resten av verden. Erfaringer gjort med SKB.

Konklusjon:

Grunnen til lav bruk ligger i manglende erfaring og retningslinjer for bruk. Det er ikke tilfredsstillende kvalitet på betongen. Utviklingen i Europa er i stadig økende. (Goodier, C. I., 2003)

Forfatter	Metode	Tittel/(år)	Faktorer undersøkt
Rich, Glass, Gibb, Goodier og Sande	Litteraturstudie og egne observasjoner	Optimizing construction with self-compacting concrete (2015)	Økonomiske fordeler og besparelser av arbeidskraft ved bruk av SKB

Konklusjon:

Ut ifra tidligere studier kan de vise til håndfaste besparelser og økonomiske gevinster ved bruk av SKB (Rich, D., Glass, J., Gibb, A. G., Goodier, C. I., & Sander, G. C., 2015, s. 3).

1.3 Formål

SKB utgjør en svært liten andel av ferdigbetong som leveres på markedet i dag (se figur 1.1). Formålet med rapporten er å forsøke å finne konkrete årsaker til at så mange entreprenører velger å ikke bruke selvkomprimerende betong, tross alle fordelene det er sagt at SKB skal kunne tilby. Årsakene kan være mange, men ved å kartlegge og sammenligne erfaringer til personer med ulike roller i byggebransjen er det forhåpentligvis mulig å finne fellesnevner som forklarer hvorfor produktet brukes lite.

Eksterne veiledere fra Unicon AS har vist nysgjerrighet og interesse rundt problemstillingen, da de både har et ønske om å selge mer SKB og avdekke årsakene til at det brukes så lite. I tillegg til de kvalitative undersøkelsene skal det også gjennomføres ulike laboratorieforsøk med SKB på bakgrunn av negative erfaringer som eventuelt fremkommer av intervjuene. Dette for å undersøke eventuelle årsaker til at produktet ikke har møtt kundens forventninger.

1.4 Presisering av problemstilling

Flere fag som undervises på HiOA omfatter lære om både betongdimensjonering og praktisk betongteknologi. SKB har vært et relativt lite tema i forelesninger, men egeninteresse har ledet til flere diskusjoner om produktet. Diskusjonene har ført til undersøkelse av hvor stor markedsandel SKB har i Norge, og etter samtaler med kyndige forelesere og andre fagfolk ble det oppdaget at årsakene til den lave bruken er nokså uviss.

Det virker svært interessant å avdekke årsaker til at SKB er så lite brukt når det skal kunne gi så mange fordeler over tradisjonell betong, samt å undersøke hva som påvirker spredning av innovasjoner i byggebransjen. Dette har ledet frem til en problemstilling som dreier seg om årsaker til at SKB er så lite brukt i Norge når de potensielle gevinstene er så store. Det skal nevnes at problemstillingen ble utarbeidet før det ble inngått et samarbeid med Unicon AS.

1.5 Hypotese

SKB er dyrere enn tradisjonell betong, og dette er sannsynligvis en årsak til at mange velger å ikke bruke produktet. Dette er særlig viktig om man ikke erfarer at SKB gir de fordelene man forventer.

Siden SKB er mer ømfintlig for hard håndtering enn tradisjonell betong er det en forutsetning at entreprenører tilpasser sine metoder ved bruk av produktet. Det virker sannsynlig at dette kan bli tatt lett på og at det benyttes mindre egnede metoder ved utførelse. Dette kan gi uønskede resultater, som igjen påvirker valg av betongtype ved en senere anledning.

Produksjon av SKB krever hyppigere kontroll av delmaterialer. Det kan hende at kontroller ikke gjennomføres så ofte som det bør, og dette kan ha negativ effekt på betongen som leveres, som igjen kan gi kundene et dårlig inntrykk av SKB som produkt.

Mottakskontroll på byggeplass er den eneste måten å oppdage avvik i kvalitet på etter at betongen har forlatt fabrikk, og det er svært viktig at den gjennomføres. Det er også avgjørende at den som utfører mottakskontrollen har tilstrekkelig kompetanse til å kunne oppdage feil ved betongen. Valg av betongtype kan være påvirket av dårlige resultater som en følge av mangel på produktkontroll eller kompetanse til å gjenkjenne kvalitetsavvik.

SKB gir et høyere forskalingstrykk enn tradisjonell betong. Om entreprenører har erfaring med at forskalingen ryker under, eller etter utstøpning, kan dette gjøre at de ikke velger å bruke produktet igjen. Dårlig utførelse ved montering av forskaling kan gi det samme utfallet, og det er sannsynlig at dette forekommer.

1.6 Potensielle gevinster

Dette kapitlet bygger hovedsakelig på informasjon fra litteraturstudien som har blitt gjennomført.

1.6.1 Praktiske fordeler

Hovedårsaken til at SKB har blitt utviklet er at bruk av tradisjonell betong i høye, slanke og tettarmerte konstruksjoner med mange utsparinger kan gi en rekke utfordringer (Bouzoubaa & Lachemi, 2001). Det er vanskelig å ha kontroll på hvordan tradisjonell betong fyller ut forskalingen og omslutter armering i bunnen av høye vegger og søyler. I slike konstruksjoner har man liten kontroll på stavvibratoren, som må senkes ned i konstruksjonen for å kunne vibrere betongen lagvis. Dette skal ikke være et problem med SKB, da behovet for vibrering elimineres ved at betongen komprimerer seg selv.

1.6.2 Effektivitet og økonomi

Salgsavdelingen til Unicon AS kan fortelle at SKB har et pristillegg på 100 kr/m³ (L. P., Jakobsen, personlig kommunikasjon, 06. April 2017). Den økte prisen kan forsvares ved at bruk av SKB kan føre til høyere effektivitet i støpearbeidet, og at mannskap kan reduseres, siden vibrering av betongen ikke er nødvendig. Mannskapet som vanligvis opererer vibratorer kan for eksempel omdisponeres til andre oppgaver. I følge Rich, D., et al., (2015) skal det være mulig å oppnå økonomiske besparelser på opptil 15% ved å bruke SKB, som følge av økt effektivitet.

1.6.3 Betongkvalitet

SKB krever ikke vibrering for å oppnå full komprimering, og derfor skal det være mulig å oppnå høyere betongkvalitet med SKB enn med tradisjonell betong, hvor mangelfull vibrering kan forekomme. SKB skal også gi færre feil og skader som kan oppstå ved utstøping, og dette reduserer behovet for reparasjoner som kan være kostbare (Rajamohan & Krishna, 2016, s. 1).

1.6.4 HMS

Vibrering av betong er fysisk krevende, og senskader som nakke og ryggplager eller hånd-arm vibrasjonssyndrom (HAVS) er ikke uvanlig (Legehåndboka, 2017). Dette er problemer som elimineres ved bruk av SKB. Ved å ikke bruke vibrator bidrar dette også til mindre arbeid i høyden og redusert snublefare, da det blir mindre ledninger og utstyr på bakken og på stillaser. Stavvibratorer skaper også en del støy på byggeplass, som kan være sjenerende for både arbeidere og naboer.

1.6.5 Overflater

I følge Rajamohan og Krishna (2016) skal SKB kunne gi finere overflater uten behov for mer arbeid. Publikasjon nr. 29 hevder at "SKB har potensiale til å gi et perfekt avtrykk av forskalingen" (Busterud et al., 2007, s. 40). Det er derfor forskalingens overflate som i størst grad påvirker hvordan betongoverflaten blir.

1.7 Utfordringer ved bruk

Dette kapitlet redegjør for de ulike utfordringer som kan oppstå ved bruk av SKB og er basert på tilbakemeldinger fra intervjuobjekter og eksterne veiledere i Unicon AS.

1.7.1 Lav tidligfasthet

Dagens SKB-resepter inneholder 4. generasjons, polykarboksylat-baserte SP-stoffer, som reduserer betongens vannbehov (Se kapittel 2.1.1). Dette medvirker til å gi betongen de egenskapene som ønskes av en SKB. Polykarboksylat-baserte superplastiserende stoffer kan ha en retarderende effekt på betongens fasthetsutvikling, noe som forskningen til Felekoğlu og Sarıkahya (2008) støtter opp under. På byggeplass kan dette føre til interessekonflikt med fremdriften til støpearbeidet og derfor være en faktor som påvirker valg av betongtype.

1.7.2 Ustabilitet

Stabilitet handler i korte trekk om betongens evne til å motstå separasjon. Betongens stabilitet er i hovedsak påvirket av hvor mye finstoff betongen inneholder, samt total vannmengde. Man skiller på to ulike typer separasjon; mørtelseparasjon og vannseparasjon. Figur 1.2 illustrerer prinsippene om hvordan delmaterialer kan fordele seg ved ulike typer separasjon. (Maage, 2016, s. 39)



Mørtelseparasjon



Vannseparasjon

Figur 1.2 Prinsippskisse (mørtel- og vannseparasjon)

Mørtelseparasjon skyldes enten for stor sementpastamengde i betongen, eller en ujevn siktekurve på tilslaget. Hulrom mellom de grove partiklene skal optimalt sett være fylt med finere partikler. Dette er ikke tilfellet ved mørtelseparasjon. Ved partikkelsprang av fint tilslag, kan det medføre ustabilitet i betongen, og grovt tilslag synker til bunns. Resultatet er en inhomogen masse med varierende kvalitet i de ulike sjiktene. I tillegg kan det bli ansamlinger av grovt tilslag med luftlommer innimellom partiklene. Dette kalles steinreir og kan ofte være synlig på betongoverflaten (Maage, 2016, s. 37-41). Figur 1.3 viser et steinreir som oppstod under en prøvestøp med SKB som ble gjennomført i forbindelse med denne rapporten.



Figur 1.3 Steinreir ca. 30 cm over bakken

Ved bruk av tradisjonell betong er ikke steinreir et like stort problem om det vibreres godt nok, for vibrasjonene vil gjøre at mørtel fyller luftlommene mellom partiklene i steinreiret (Maage, 2015, s. 297-305).

Vannseparasjon, også kalt bleeding, kommer av for liten mengde finstoff eller for mye vann i betongen. Resultatet er at vann kan flyte opp og legge seg på toppen. Det kan også dannes lommer av vann under grovt tilslag og armering, som vist i figur 1.2. Lokale ansamlinger av vann kan føre til at noen områder får høyere v/c-tall og dermed dårligere kvalitet. Hulrommene som oppstår under armering kan dessuten være kritiske for kloridangrep og korrosjon, da armeringen må være omsluttet av betong for å være passivert (Maage, 2015, s. 181-183).

I noen av forsøkene som har blitt gjennomført i forbindelse med rapporten har ustabilitet i betong blitt fremprovosert, med den hensikt å kunne se omfanget av separasjon i fersk og herdet fase. Begge typene separasjon kan forekomme i ustabil SKB, men mørtelseparasjon var typen som ble observert hyppigst.

Den selvkomprimerende betongens gode flyteevne er den viktigste karakteristikken for denne typen betong. Dette er en egenskap som hovedsakelig er gitt ved kombinasjonen av større matriksinnhold og bruk av superplastiserende tilsetningsstoffer, som minker betongens vannbehov. Betong med et stort matriksvolum, som er lite viskøs, vil være mye mer ømfintlig for ytterligere vanntilsetning, og fuktvariasjoner i tilslaget på bare et par prosent kan ha store konsekvenser for betongens stabilitet.

Tilslag lagres vanligvis utendørs hvor det ikke er tildekket, eller bare delvis tildekket mot nedbør, og på denne måten har man ikke mulighet for å regulere fuktinnholdet i tilslaget. Dette medfører variasjoner tilslagets fuktinnhold som produsenter sjeldent har full kontroll på. På blandeverk tas det regelmessige fuktprøver av tilslaget og det kompenseres for tilslagets målte fuktinnhold når betongen blandes. Likevel ser man at konsistensen på betong kan variere mye for de samme betongreseptene.

1.7.3 Støpetrykk

Forskalingstrykk omtales som en utfordrende faktor ved SKB (Billberg, 2003, s 171-180). Noen har opplevd at forskalingsdeler ryker som følge av høyt støpetrykk under, eller etter fylling. Grunnet de omfattende konsekvensene dette kan medføre, blir denne faktoren tatt hensyn til som en mulig årsak til at noen velger å ikke bruke denne typen betong. Det er mange faktorer som spiller inn på hvor høyt forskalingstrykket blir. Noen av de viktigste er:

- Støpehastighet
 - Økt støpehastighet gir høyere støpetrykk. Det kan støpes lagvis med pauser for å forhindre at støpetrykket overskrider forskalingens kapasitet. Dette trenger ikke nødvendigvis å være ineffektivt om støpeplanen er god.
- Betongsammensetning og tilsetningsstoffer
 - Bløtere betong gir høyere forskalingstrykk. En betong med høyere viskositet og flyteskjærspenning vil i større grad kunne bære sin egen vekt og dermed redusere forskalingstrykket. Enkelte tilsetningsstoffer kan ha retarderende effekt på betongen og det må tas hensyn til dette om man forutsetter noe fasthet i et lag før man støper neste lag.

- Støpemetode
 - Med pumpe har man ofte mulighet til å støpe raskere enn med tobb, og høyere støpehastighet gir høyere forskalingstrykk. Tobbens volum er ofte ikke større enn 1 m³ og den må fylles relativt ofte, hvilket gir naturlige støpepauser, som gir betongen tid til utvikle noe fasthet underveis i støpeprosessen. Støping med neddykket slange gir økt støpetrykk (Busterud et al., 2007, s. 40). (Omtales mer utfyllende kapittel 2.2)

- Betong- og omgivelsestemperatur
 - Temperatur skal ikke ha noen innvirkning på støpetrykket når betongen er helt fersk, men temperaturen er avgjørende for hastigheten på varme- og fasthetsutvikling i betongen, som igjen legger føringer for maksimal støpehastighet.

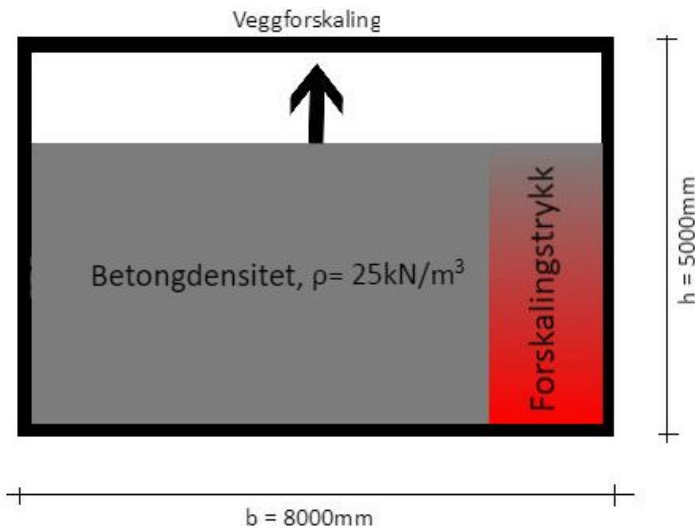
- Tiksotropi
 - Tiksotropi er en fysisk egenskap hos en væske. Hvis en tiksotropisk masse får stå i ro over en gitt periode vil den få en fasthet som forsvinner om massen kommer i bevegelse igjen. Med SKB kan dette for eksempel skje ved slag på forskalingen eller rystelser i grunnen. Under utstøping av SKB vil den ferske betongen oppføre seg som en væske, og gi tilnærmet hydrostatisk forskalingstrykk ved rask støpehastighet. Om utstøpingen går langsomt, eller om betongen får stå i ro, vil små partikler klumpe seg sammen og danne en struktur som gir en viss fasthet. Tiksotropisk tilstivning er en fordel med hensyn til støpetrykk. Man måler sjeldent støpetrykk som tilsvarer hydrostatisk trykk, selv ved ganske stor støpehastighet, og dette skyldes tiksotropisk tilstivning av betongen (Busterud et al., 2007, s. 37).

Når forskalingsleverandører leier ut forskalingselementer til entreprenører, blir det ikke oppgitt noen bestemt støpehastighet som entreprenøren kan støpe med. Årsaken er enkel, betongens sammensetning har betydning for betongens tetthet og egenvekt, og fordi valget av betong ikke er opp til forskalingsleverandøren, kan det heller ikke gis noen garantier her. Den eneste garantien som kan gis av forskalingsleverandør er forskalingens evne til å motstå trykk. Dette er oppgitt i kN/m² og vanligvis ligger dette tallet et sted mellom 60-100 kN/m² og det er dette en må forholde seg til når anbefalt støpehastighet skal vurderes (*Anonym, personlig kommunikasjon, 14. Mars 2017*).

Når en regner ut forskalingstrykk (P) kan man benytte formelen $P = \rho \cdot h$.

Her tas det kun hensyn til betongdensitet (ρ) og støpehøyde (h) og det antas en hydrostatisk trykkmodell. Dette er en konservativ metode som ikke stemmer helt med virkeligheten, for i praksis vil betongen påføre forskalingen et lavere trykk, fordi betong har

høyere viskositet og flyteskjærspenning enn vann og kan i større grad bære sin egen tyngde. Likevel er formelen nyttig da den skaper relativt store sikkerhetsmarginer. Et forskalingsstag som ryker grunnet høyt trykk kan utgjøre fare for arbeidere i nærheten og vil dessuten påføre ekstra kostnader fordi man må gjøre jobben på nytt. En forskalingsleverandør forteller at en av deres viktigste oppgaver er å inneha sikkerhet mot ulykker i deres beregninger (*Anonym, personlig kommunikasjon, 14. Mars 2017*).



Figur 1.4 Prinsippkisse (forskalingstrykk i vegg)

Eksempel:

Her antas det at veggens fylles så fort at all betongen er helt flytende når formen er full.

$$P = \rho \cdot h = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 5 \text{ m} = 125 \text{ kN/m}^2$$

125 kN/m² er høyere enn vanlige verdier for forskalingskapasitet. For en vegg med denne høyden måtte man derfor redusert støpehastigheten, slik at betongen hadde rukket å utvikle fasthet underveis. De fleste entreprenørene som har blitt intervjuet i forbindelse med rapporten kan fortelle at de vanligvis støper med en hastighet på 1-1,5 m/t. Dette strider ikke med forskalingsleverandørens oppgitte data for maks forskalingstrykk (60-100 kN/m²).

1.7.4 Manglende kunnskap

Grunnet materialets kompleksitet og lave robusthet kreves det noe høyere kompetanse å støpe med SKB enn tradisjonell betong. Kunnskap kan erverves gjennom erfaringer, men erfaring får en bare om produktet blir brukt, og tallene viser at SKB i liten grad blir brukt i Norge. Manglende kunnskaper føre til uheldige resultater ved støp med SKB, og sannsynligvis føre til økt usikkerhet.

1.8 Avgrensninger

Betong er et veldig stort tema og et eget fagfelt. Denne rapporten omhandler hovedsakelig produksjon og bruk av selvkomprimerende betong, og dette legger noen føringer for hva som ikke er relevant innen betongfaget. Likevel gjør en omfattende problemstilling og begrenset tid at det kreves ytterligere rammer for hva som skal undersøkes.

1.8.1 Tematisk avgrensning

Tid er en viktig faktor for dybden på temaene som rapporten omhandler. Noen temaer utgår fra rapporten fordi de er vurdert som mindre viktige for valg av betongtype. Andre avgrensninger skyldes at vurdering av enkelte aspekter krever spesialkompetanse som rapportens forfattere ikke innehar. Enkelte temaer krever bred kunnskap innen fag som ikke har direkte tilknytning til produktet eller bransjen, og dette kan være fag som heller ikke er introdusert i fagplanen for byggingeniørstudiet på HiOA.

- Det økonomiske aspektet rundt valget om å bruke SKB anses som relevant, men i denne rapporten blir ikke dette grundig vurdert. Temaet er nokså komplekst og det er mange faktorer som spiller inn på prissetting av betong. Økonomi knyttet til bruk av SKB blir ikke sammenlignet opp mot økonomi knyttet til bruk av tradisjonell betong.
- Rapporten tar for seg SKB som produkt og går ikke mer i detalj på for eksempel delmaterialers kjemiske sammensetninger, enn hva som er nødvendig for å besvare problemstillingen.
- Egenskapene til ulike delmaterialer som sement, tilslag, vann, finstoff og tilsetningsmaterialer blir ikke analysert eller vurdert i detalj da dette ikke er et større forskningsprosjekt. I tillegg kunne dette ha flyttet fokuset vekk fra selve problemstillingen.
- Miljøaspektet ved bruk av SKB blir ikke vurdert eller sammenlignet med tradisjonell betong, da dette ikke anses som viktig for valg av betongtype.

1.8.2 Geografisk avgrensning

Problemstillingen omhandler bruken av SKB i hele Norge, men undersøkelser er gjennomført i Oslo og omegn. Området er ikke representativt for resten av landet, da antall prosjekter er konsentrert på et mindre geografisk område enn ellers. Når det gjelder betong kan geografi ha relevant innvirkning på klima, material- og kompetansetilgjengelighet, som igjen kan legge føringer for valg av betongtype. Størrelsen og hyppighet på prosjekter kan også ha betydning for hvor fort teknologiske løsninger blir tatt i bruk.

1.9 Historie

De eldste funnene av betonglignende materialer er antatt å være rundt 10 000 år gamle, men da med et noe annet bindemiddel enn det som brukes i dag. (Maage, 2015, s. 14) Videre gjennom historien har det vært brukt mange ulike varianter og sammensetninger av kalkmateriale med tilsetninger av både leire og pozzolaner. Det finnes flere kjente, ikoniske byggverk av eldre typer betong som ble bygget for tusener av år siden og noen av disse står fremdeles, dog ved hjelp av regelmessig rehabilitering og reparasjoner. Dette forteller en del om betongens styrke og bestandighet. Betongen som ble brukt i disse historiske byggverkene består av romersk sement, som er en sammensetning av brent kalkstein og vulkansk aske.



Figur 1.5 a) Pantheon (ca 126 e.Kr.) i Roma med verdens største uarmerte betonghvelv. (Pantheon, 2011), b) Colosseum (ca 70 e.Kr.) i Roma ble skadet av jordskjelv i år 1349, men store deler av konstruksjonen står fremdeles. (Colosseum, udatert)

Armering i betong ble patentert i 1867 av den franske gartneren Joseph Monier, som fant ut at han kunne bruke ståltråd for å forsterke blomsterpottene sine. (Encyclopædia Britannica [Britannica], udatert). I 1889 ble den første armerte betongbroen bygget i Ungarn, og dette var starten på armerte betongkonstruksjoner (Maage, 2015, s. 15). I dag er armering en selvfølge i betongkonstruksjoner da betong i seg selv ikke har nevneverdig strekkapasitet. Tross de viktige fordelene armering gir, skaper det også utfordringer som er med på å svekke betongens bestandighet. Korrosjon svekker stålets kapasitet og gjør at armeringen øker i volum, hvilket fører til sprengning i betongen som videre fører til avskalling og ytterligere nedbrytning.

Den grunnleggende betongsammensetningen som brukes i dag er ikke eldre enn ca. 200 år gammel, og det begynte med at mureren Joseph Aspdin tok patent på "Portlandsement". Navnet kommer av fargen på sementen som ligner på den lyse Portlandsteinen som finnes på Isle of Portland i Dorset i England (Maage, 2015, s. 14). Med årene har teknologien i byggeindustrien utviklet seg og det stilles stadig strengere krav til utførelse og prosjektering, samtidig som kompleksitet og forventninger til bygg øker. Dette fører til at det ofte blir

utviklet nye eller forbedrede materialer som er bedre tilpasset ulike formål. Noen støpearbeider tillater ikke vibrering av betongen, som for eksempel støping under vann, og man er avhengig av en betong som har selvkomprimerende egenskaper. Prinsippet rundt selvkomprimerende betong er i utgangspunktet ikke nytt, men de første selvkomprimerende betongtypene krevde mye sement og var kostbare. I tillegg satte de første selvkomprimerende betongene svært høye krav til utførelse. I Japan ble det på slutten av 80-tallet utviklet en ny type SKB (Rajamohan & Krishna, 2016, s. 1). Landets høye seismiske aktivitet krever at betongkonstruksjoner må armeres tett, og dette gjør at det er vanskelig å komme til med vibrator (Bouzoubaa & Lachemi, 2001). Selv om seismisk aktivitet ikke er en stor utfordring i Norge skal SKB kunne tilby mange andre fordeler som den norske byggenæringen kan dra nytte av.

2 Betongteori

2.1 Betongens sammensetning

2.1.1 Delmaterialer

Betong består i hovedsak av sement, vann og tilslag. I dag inneholder de fleste betongresepter tilsetningsstoffer av ulike typer, som har i oppgave å modifisere betongens egenskaper i fersk og herdet fase. I tillegg kan det tilsettes materialer som flygeaske, silikastøv og slagg.

- **Tilsetningsstoffer**

- Plastiserende og superplastiserende tilsetningsstoff (P-stoff og SP-stoff) er begge vannbesparende stoffer. De kan brukes til å modifisere betongens konsistens uten å påvirke v/c-tallet. I dag brukes hovedsakelig bare SP-stoff, og dette er svært viktig ved produksjon av SKB for å oppnå ønsket flyteevne uten å måtte tilsette mer vann i blandingen (Maage, 2015, s. 110 og s. 170).
- Tilsetning av luftinnførende stoffer (L-stoff) bidrar til en jevn innføring av små luftbobler i betongen. Dette blir som oftest brukt for å gi betongen økt frostmotstand, men L-stoff kan også gi betongen andre egenskaper som økt stabilitet og smidighet. For hver prosentenhett luft (over normalen) kan matriksvolumet senkes med 7-8 l/m³ (Maage, 2015, s. 111).
- Størkningsakselererende tilsetningsstoff brukes til å forkorte betongens størkningstid. Stoffet korter ned tiden for betongens støpelighet. Dette kan med fordel brukes i SKB for å redusere forskalingstrykket (Maage, 2015, s. 113).
- Herdningsakselererende tilsetningsstoff bidrar til raskere fasthetsutvikling og kan brukes i SKB for å gi betongen høyere tidligfasthet (Maage, 2015, s. 115).
- Stabiliserende tilsetningsstoff gjør betongen mer viskøs og gir økt flyteskjærspenning. Dette kan med fordel brukes i SKB for å øke stabiliteten og redusere faren for separasjon (Maage, 2015, s. 169).

- **Tilsetningsmaterialer**

- Flygeaske, silikastøv, filler, slagg o.l.

Tilsetningsmaterialenes kornstørrelse er mye mindre enn sementpartikler og de små fraksjonene fyller hulrommene mellom sementpartiklene, noe som påvirker betongens stabilitet, fasthet og bestandighet. En kan ofte erstatte deler av sementvolumet med tilsetningsmaterialer, hvilket er positivt både for miljø og økonomi, da produksjon av sement fører til høyt utslipp av CO₂ og sement er kostbart i forhold til tilsetningsmaterialer. En annen miljømessig fordel er at tilsetningsmaterialene ofte er restprodukter fra industrien som ellers måtte vært håndtert på andre måter. Pozzolane materialer reagerer med kalkoverskuddet i Portlandsement og danner et restprodukt lignende reaksjonsproduktet fra sementhydratisering, slik at betongens totale fasthet og tetthet blir høyere (Maage, 2015, s. 92-93).

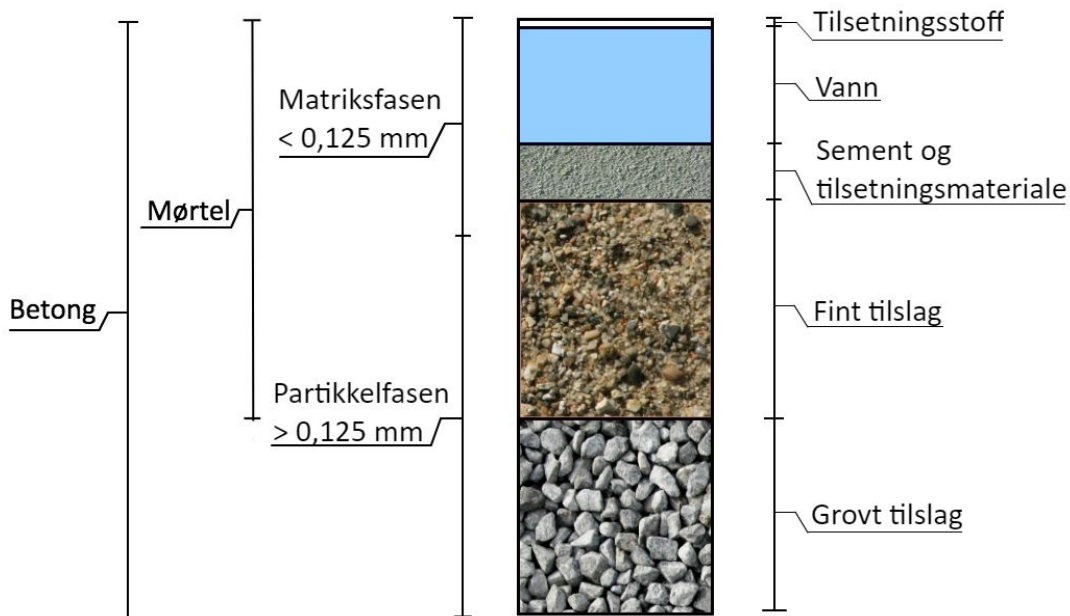
- **Sement**

- Egenskapene til sement varierer med den kjemiske sammensetningen av de ulike bestanddelene. Ved justering av mengdeforholdet i den kjemiske sammensetningen av sementen kan egenskapene som varmeutvikling, fasthetsutvikling og bestandighetsegenskaper tilpasses. Økt finhetsgrad av sementen gir økt flytmotstand i matriksen da sementpartiklenes overflatearealet blir større og binder mer vann (Maage, 2015, s.79 -92).

- **Tilslag**

- Tilslag består av sand- og steinmaterialer og kan deles i de to hovedgruppene: grovt tilslag (>4mm) og fint tilslag (<4 mm). Tilslag er ofte sortert i følgende størrelser: 0-8mm, 8-16mm og 16-22mm. I SKB, som er laget for å kunne passere tett armering er det vanlig å utelate 16-22mm i blandingene (Maage, 2015, s.118 -133).

Betongresepter består som oftest av 7-8 delmaterialer. Ca. 70 % av betongvolumet består av stein og sand. Vann, sement, tilsetningsstoff og tilsetningsmaterialer utgjør de resterende 30 % av betongvolumet. Betongkvalitet styres i hovedsak av v/c-tall og kvaliteten på delmaterialene som brukes i betongen.



Figur 2.1 Beskrivelse av delmaterialene i betong, (Maage, 2016, s. 2)

2.1.2 Partikkel-matriksmodellen

Partikkel-matriksmodellen kan brukes til å forklare sammensetningen av SKB og hvordan det påvirker betongens egenskaper. Modellen har som formål å forenkle sammensetningen av betong ned til to komponenter; matriksfasen og partikkelfasen. Matriksfasen består av delmaterialer <0,125 mm (inkludert vann) som sammen utgjør en viskøs væske. Partikkelfasen består av alle delmaterialer >0,125 mm. Matriksfasen omslutter den faste partikkelfasen og fyller alle hulrom i betongen. For å kunne avgjøre volumet til matriksfasen er man avhengig av å vite hulromsmodul (hulromsprosent) i partikkelfasen. (Busterud et al., 2007, s. 12) Hulromsmodulen uttrykkes på følgende måte:

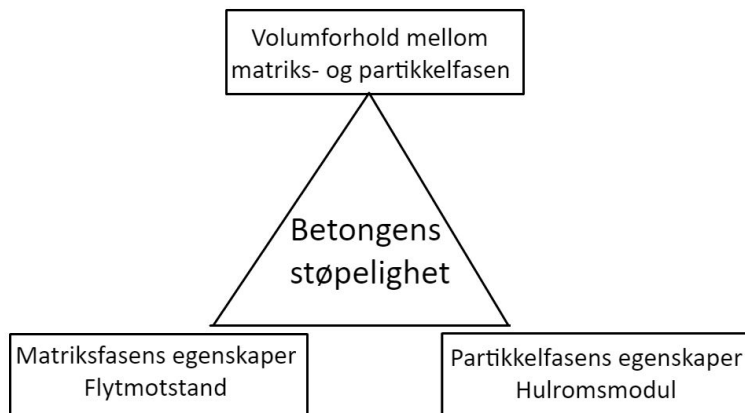
$$p = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_p}\right) \times 100$$

p = Hulromsmodul

ρ_b = Bulkdensitet

ρ_p = Partikkeldensitet

I teorien kan bulkdensitet (ρ_b) finnes ved å veie en beholder på 1 m³ som er fylt med delmaterialer (tilslag) >0,125 mm. Forholdet mellom bulkdensitet og bergartens densitet (ρ_b / ρ_p) gir grunnlag for å finne partikkelfasens hulromsmodul (Busterud et al., 2007, s. 15). Hulrommet er det som skal utfylles av matriksfasen. Forholdet mellom matriks- og partikkelfasen er avgjørende for betongens støpelighet.



Figur 2.2 Betongens støpelighet sine tre avhengigheter (Maage, 2016, s. 4)

Matriksfasens egenskaper kan vurderes ved å måle matriksens flytmotstand gjennom et apparat som heter FlowCyl. Flytmotstanden er hovedsakelig et uttrykk for matriksmaterialets viskositet, men er også til en viss grad påvirket av flyteskjærspenningen (Smeplass, Skjølsvik & Mujica, 2015 s.5). En ideell væske er uten indre strømningsmotstand og vann har tilnærmet slike egenskaper. "Flytemotstanden, for (λ_Q), defineres som det gjennomsnittlige forhold mellom strømmingstap i den målte væsken og teoretisk væskestrømmen for en ideelle væsken." (Maage, 2015, s. 146). Tungtflytende væske har λ_Q - verdi opp mot 1 og ideell væske har 0.

Tabell 2.1 Typiske verdier for flytmotstand λ_Q . (Busterud et al., 2007, s. 15)

Materialer	λ_Q
Vann	0,06
Matriks i M60-betong	0,30- 0,40
Matriks i M40 /MF40- betong	0,50- 0,60
Matriks i selvkomprimerende betong	0,55 -0,75

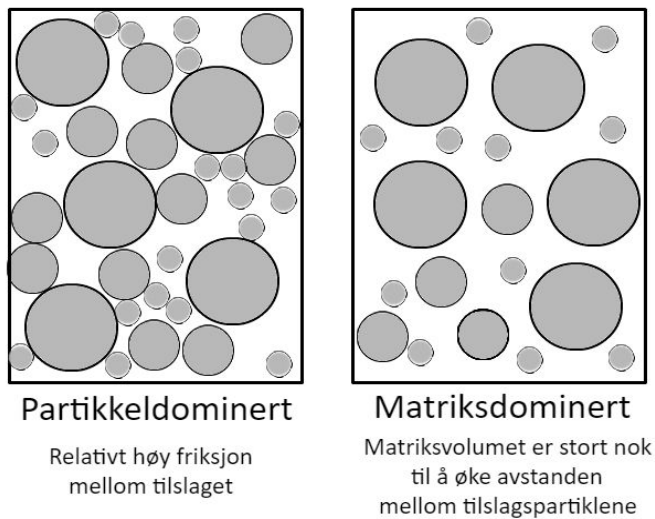
Partikkelegenskaper domineres i stor grad av tilslagetets gradering og kornform, hvilket avgjør partikkelfasens hulromsmodul, som igjen bestemmer betongens matriksbehov. Sammenhengen gir en indikasjon på betongens flyteegenskaper.

Dette kan forklares med følgende eksempel:

En betong består av et partikkelvolum med 20% hulromsvolum. Dette gir et matriksbehov på 200 l/m^3 for å oppnå teoretisk synkmål på 0 mm. Økende matriksoverskudd gir økt synkmål. Ordinær konstruksjonsbetong har masseforhold fra 0,35 til 0,7 med matriksvolum mellom ca. $285\text{-}340 \text{ l/m}^3$. Selvkomprimerende betong har et matriksvolum mellom ca.

330-360 l/m³. Redusert friksjon mellom partiklene, som følge av matriksoverskudd, gjør at betongen får bedre flyteevne (Maage, 2015, s. 148).

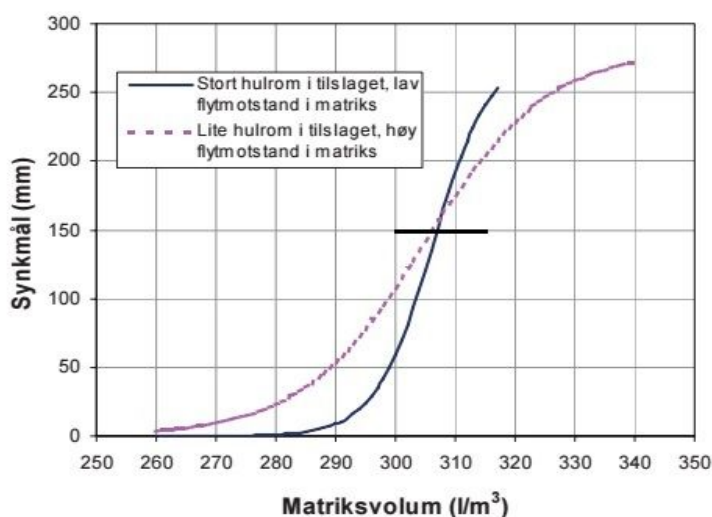
Figur 2.3 viser prinsippene for partikkeldominert og matriksdominert betong.



Figur 2.3 Partikkeldominert og matriksdominert betong

2.1.3 Partikkel- og matriksdominans

Sammenhengen mellom matriksvolumet, matriksens viskositet og partikkelfasens hulromsvolum avgjør betongens støplighet. I figur 2.4 representerer den heltrukne linjen en partikkelfase med høyt hulromsvolum, som kan fremkomme av en åpen gradering, som gir lav pakningsgrad. Partikkelmengden i matriksen er forholdsvis lav og dette resulterer i lav flytmotstand. Den stiplede linjen representerer en velgradert partikkelfase, som gir økt pakningsgrad. Med høy andel finstoff i matriksen øker man flytmotstanden. Når synkmålet blir større enn 150 mm endres betongens karakter, og man kan si at betongen går fra å være partikkeldominert til å bli matriksdominert. SKB er en matriksdominert betong og vanlig synkmål gir liten indikasjon på konsistensen. Derfor er det mer hensiktsmessig å utføre SU-mål på SKB (Busterud et al., 2007, s. 17).



Figur 2.4 Sammenheng mellom matriksvolumet og synkmål (Busterud et al., 2007, s. 17)

2.1.4 Oppsummering

SKB er en betongtype som er karakterisert ved sin gode utflytningsevne og motstand mot segregering. SKB skal kunne flyte utover i formen og omslutte armering helt uten vibrering eller annet komprimeringsarbeid (Busterud et al., 2007, s. 2). For og oppnå slike egenskaper er man nødt til å forstå hvordan sammensetningen av ulike delmaterialer påvirker den ferske betongen. Partikkel-matriksmodellen er nyttig for å kunne forstå hva som skiller SKB fra en "bløt betong" og hvor ømfintlig SKB er for endringer. Superplastiserende tilsetningsstoffer er essensielle i forbindelse med fremstilling av SKB, fordi disse stoffene gir betongen flyteegenskapene som ønskes, uten å øke betongens vannbehov og dermed ha negativ påvirkning på betongkvaliteten. Forholdet mellom finstoff og væske er avgjørende for matriksfasens viskositet, som igjen er avgjørende for robustheten til SKB. Matriksdominanse i betong gir lave flyteskjærspenninger, og dette gjør det mulig for betongen å flyte ut og komprimere seg selv, kun ved hjelp av egenvekt.

(Rescon Mapei, 2002)

2.2 Støpemetode

Logistikk på byggeplass kan ofte være avgjørende da krankapasitet kan være kritisk. De vanligste støpemetodene med SKB er pumpe eller tobb. I følge Publikasjon nr. 29 skal ikke fallhøyde overstige 0,5 m. (Busterud et al., 2007, s. 39). Transport i renne eller på bånd øker faren for separasjon og er derfor ikke egnet for SKB.

2.2.1 Pumpe

Pumping av betong kan enten skje med dedikerte pumpebiler, hvor det kontinuerlig fylles på betong fra betongbiler, eller med betongbiler med påmontert pumpe (PUMI). Å støpe med pumpe frigjør krankapasitet og gir kontinuitet i støpearbeidet. Med pumpe er det mulig å kontrollere hvor langt betongen "faller" før den lander i forskalingen. Dette kontrolleres ved at pumpeslangen senkes ned i forskalingen, og om man støper med neddykket slange sørger man i større grad for en skånsom behandling av betongen. Det skal nevnes at pumping med neddykket slange gir økt forskalingstrykk (Busterud et al., 2007, s. 39). Ved ustabil betong er det fare for steinansamlinger som kan føre til propp i pumperøre. En pumpe kan ta stor plass på et riggområde og det er dyrere enn andre støpemetoder. Man må derfor vurdere om det vil være lønnsomt å bruke pumpe.



Figur 2.5 a) Dedikert pumpebil (Pumpebil, 2011), b) PUMI - Betongbil med påmontert pumpe. (PUMI, udatert)

2.2.2 Tobb

Det er vanlig å bruke tobb som støpemetode. Krankapasiteten på byggeplass er avgjørende for valget av støpemetode, da tobb ikke kan brukes uten kran. Støping med tobb er en svært fleksibel støpemetode som tillater støping innenfor kranenes rekkevidder. Tobb er praktisk ved at den ikke tar mye plass, og med strømppe i bunn av tobbsen kan fallhøyde reduseres ved at strømpen senkes ned i forskalingen. I tett armerte konstruksjoner kan dette være en

utfordring, fordi det kan være vanskelig å føre strømpen ned mellom armeringen. Betong som fraktes i tobb er utsatt for risting og dette kan føre til separasjon i ustabil SKB. Som forklart tidligere gir bruk av tobb en mer ujevn støpeprosess enn ved bruk av pumpe.



Figur 2.6 Tobb med strømppe (Tobb, udatert)

2.2.3 Formventil

Vegger, søyler og andre vertikale støper kan støpes med formventil. I bunnen av forskalingen monteres en ventil, hvor SKB kan pumpes inn. Veggen fylles fra bunn og opp, og man eliminerer for eks. støpeskjøter. Metoden er ikke veldig utbredt, og kan kun brukes ved støping med SKB. Det er varierende erfaringer med metoden, og det kan gi høyere støpetrykk da det må støpes helt opp uten pause.



Figur 2.7 - Støping med formventil (Rescon Mapei, 2002)

2.3 Publikasjon nr. 29 og gjeldende standardverk

Publikasjon nr. 29 - "Spesifikasjon og produksjonsveiledning for selvkomprimerende betong" er utarbeidet av fagpersoner som er utnevnt av styremedlemmer i Norsk Betongforening (NB). Publikasjonen skal fungere som et supplement til det foreliggende norske standardverket og være til hjelp ved ansvarsfordeling mellom produsent og utførende. Den inneholder også spesifikasjoner og anbefalinger for produksjon, testmetoder og utførelse, samt resultater fra internasjonal forskning på SKB (Busterud et al., 2007, s. 2). Krav som stilles til produksjon og håndtering av SKB i Publikasjon nr. 29 er bedre tilpasset SKB enn

krav i standardverket, med publikasjonen er man ikke pålagt å følge. I følge NS-EN 13670 (Standard Norge, 2009) kan det beskrives i prosjektspesifikasjonen at krav fra Publikasjon nr. 29 skal være oppfylt.

I første utgave av Publikasjon nr. 29 (2002) ble det anbefalt en revidering etter 2-4 år grunnet forventninger til nye forskningsresultater og nye erfaringer fra produksjon (Busterud et al., 2007, s. 2). Publikasjonen ble revidert i 2007 og siden den gang har det ikke blitt gjort endringer. Publikasjonen er dessuten ment for fagkyndige ingeniører som har erfaring med betong. For medlemmer av NB kan publikasjonen leses gratis på nett, og den er også mulig å kjøpe i papirformat.

I NS-EN 13670:2009+NA:2010 - Utførelse av betongkonstruksjoner (nyeste utgave i skrivende stund), står det skrevet følgende: “(1) Mottakskontrollen bør dokumenteres ved signering av følgeseddelen, der det er aktuelt. (2) For betong som betegnes som selvkomprimerende, bør mottakskontroll omfatte prøving av betongens egenskaper i fersk tilstand.” (NS-EN 13670(Standard Norge, 2010)).

Publikasjon nr. 29 skiller ikke på utførelsesklassene ved mottakskontroll. Publikasjonen setter minimumskrav til sjekk av følgeseddel, visuell kontroll og konsistens (SU). Visuell kontroll og sjekk av følgeseddel skal utføres ved hvert lass og SU skal utføres ved oppstart og periodisk ved hver 50m³ produsert, i tillegg til om visuell kontroll indikerer avvik (Busterud et al., 2007, s.6).

Det står også skrevet at prøving av fersk SKB bør skje i henhold til følgende standarder:

NS-EN 12350 Del 8: Selvkomprimerende betong – Slump-utbredelsesmetode

NS-EN 12350 Del 9: Selvkomprimerende betong – V-traktmetode

NS-EN 12350 Del 10: Selvkomprimerende betong – L-boksmetode

NS-EN 12350 Del 11: Selvkomprimerende betong – Sikt-segresjonsmetode

NS-EN 12350 Del 12: Selvkomprimerende betong – J-ringmetode

NS-EN 206-9:2010 - Betong - Del 9: Tilleggsregler for selvkomprimerende betong (SKB)

(NS-EN 13670(Standard Norge, 2010))

NS-EN 12350 del 8-12 er i skrivende stund markert som gyldig, men under utarbeidelse (NS-EN 12350(Standard Norge, 2009)), og NS-EN 206-9:2010 er imidlertid merket som tilbaketrukket. (Standard Norge [NS], 2014)

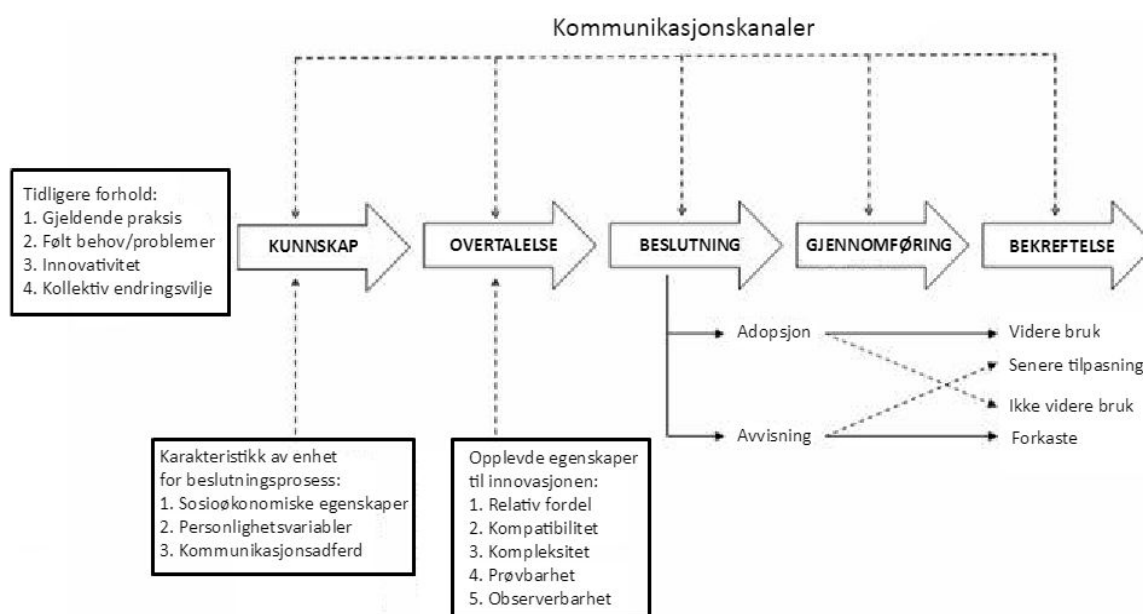
3 Bruk av etablerte teorier

For å gi intervjuene forankring i vitenskapelig forskning har det vært avgjørende å benytte utarbeidede teorier om hvordan produkter blir tatt i bruk. I den forbindelse ble det vurdert to ulike teorier. Technology acceptance model (TAM) ble først vurdert, men på grunn av teoriens vinkling mot bruken av ny teknologi i forbindelse med software og “acceptance” av enkeltpersoner/organisasjoner var det vanskelig å bruke teorien i forbindelse med SKB (Davis, 1986) (A. Figueres, Personlig kommunikasjon, 6. Februar, 2017). Teorien om Diffusion of innovations tar for seg hele bransjen og spredningen av ny teknologi mellom flere ledd, og er derfor mer interessant å bruke i forbindelse med denne rapporten.

3.1 Diffusion of Innovations

Ved utarbeidelse av spørsmål, under og i etterkant av intervjuer ble teorien Diffusion of innovations brukt. Teorien handler om innovasjoner, beslutninger på både individ- og gruppenivå og hvordan innovasjoner tas i bruk over tid. Det er lenge siden SKB ble introdusert som produkt i Norge, men det kan likevel anses som en innovasjon da noen oppfatter produktet som nytt i forhold til hva de er vant til å bruke. Det ble lagt vekt på kapittel 1, 5 og 7.

I teorien presenteres en modell som viser hvordan kommunikasjonskanaler påvirker valg om adopsjon av en innovasjon. I forbindelse med dette beskrives en prosess fra førstehåndskunnskap til bekreftelse av produktet. Denne modellen forklarer godt brukeres beslutningsprosessen i forbindelse med nye produkter, og om produktet tas i bruk eller ikke.



Figur 3.1 Beskrivelse av fem steg i en beslutningsprosess (Rogers, 2003, s. 170)

Kapittel 1 beskriver et produkt som en innovasjon, og hvordan håndteringen, erfaringen og kunnskapen rundt produktet er.

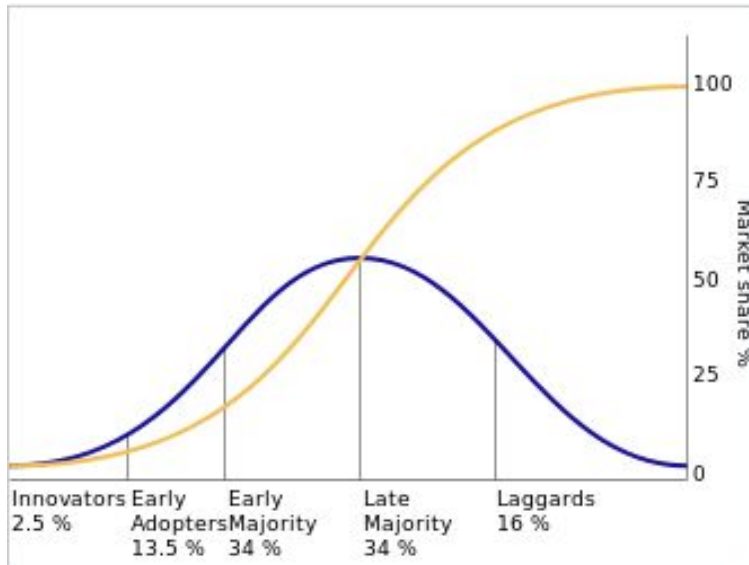
Teorien beskriver fem viktige ting som spiller inn på de opplevde egenskapene ved en innovasjon:

1. **Relativ fordel** - Måler hvordan det nye produktet oppleves bedre enn produktet det er ment å erstatte.
2. **Kompatibilitet** - I hvilken grad innovasjonen krever endringer som utskifting av for eksempel gamle rutiner eller systemer. Sømløs adopsjon taler for at en innovasjon kan lykkes.
3. **Kompleksitet** - Hvor mye som kreves for å lære seg å bruke innovasjonen.
4. **Prøvbareheten** - Beskriver hvor lett potensielle brukere kan utforske innovasjonens egenskaper.
5. **Observerbareheten** - Beskriver hvor synlige fordelene og resultatene ved bruk av innovasjonen er for potensielle brukere. God observerbarhet, gir høyere sannsynlighet for adopsjon.

(Rogers, 2003, s. 15)

Videre handler kapittel 1 om kommunikasjon, og det beskrives hvordan en gruppe mennesker som har de samme erfaringene, stillingene, bosted og generelt er ganske like i oppførsel, har lettere for å kommunisere og påvirke hverandre til å adoptere innovasjoner. Motsatt er det da for mennesker som ikke har disse likhetene, og disse kreves det mer av som gruppe for å overbevise om en innovasjon. Rogers forteller at de fleste som evaluerer en innovasjon ikke gjør det på bakgrunn av vitenskapelige fakta om innovasjonen. Dette styres i større grad av subjektive evalueringer som formidles fra andre som har erfaring med innovasjonen. Påvirkningskraften øker drastisk om personen som vurderer å ta i bruk innovasjonen kan identifisere seg selv med personen som har erfaring med innovasjonen (Rogers, 2003, s. 18).

Tid er en faktor som også er beskrevet i teorien og det kan variere hvor lang tid det tar før innovasjonen blir tatt i bruk, om den i det hele tatt blir det. Diffusion of innovations beskriver hvordan tid påvirker utviklingen av en innovasjon, både ved hvor lang tid det kan ta før en innovasjon får hold i et marked, og hvordan det som et nytt produkt blir tatt i bruk eller forkastet. Figur 3.2 beskriver hvordan en innovasjon kan ta markedsandel hos forbrukere delt opp i grupper. Tid anses som en veldig viktig faktor, og et produkt må kapre stor nok markedsandel tidlig, slik at folk etter kort tid anser produktet som etablert i markedet. Det er viktig å skape en innovasjon som gjør et godt nok inntrykk på et tidlig stadium og dermed blir husket. Tid er altså kritisk i tidlig fase, for at brukere får dannet seg en holdning til produktet (Rogers, 2003, s. 20).



Figur 3.2 Sammensatt Bell- og S-kurve (Kurve, 2017)

Målet til en innovasjon er å nå den kritiske massen brukere. Den kritiske massen er definert som ca. 35% på S-kurven, og anses som tidspunktet hvor nok brukere har tatt i bruk innovasjonen til at videre adopsjon går av seg selv (Rogers, 2003, s. 344).

1. **Innovators/Innovatører** blir ansett som den gruppen mennesker som har spesiell interesse for enkelte produkter. De har ofte egne nettverk hvor det kommuniseres om produkter. Det er en gruppe mennesker som spiller en viktig rolle, da deres engasjement introduserer nye ideer om produkter inn i eksisterende grupper.
2. **Early adopters/Tidlige brukere** blir beskrevet som folk med høyere sosioøkonomisk status enn de som avventer med å ta avgjørelser om å bruke en innovasjon. Det er enklere for mennesker i det øvre sjiktet av samfunnet å adoptere nye innovasjoner, siden det gjerne medfører mindre risiko for disse menneskene. Rogers beskriver tidlige brukere som rasjonelle og som mennesker med større muligheter, høyere intelligens. De kommuniserer også annerledes enn andre grupper, ved å bruke konsulenter og kontakter i markedet for informasjonssankning. De har også generelt større kunnskap om innovasjoner.
3. **Early majority/Den tidlige majoritet** er en gruppe som henger litt etter tidlige brukere, men som tar til seg innovasjoner relativt tidlig. Den tidlige majoritet utgjør den siste massen brukere som må til for å nå den kritiske massen på ca. 35% på S-kurven. Gruppen er den typiske gruppen mennesker som trenger bekræftelse fra andre, men som samtidig ønsker å være tidlig ute.

4. **Late majority/sen majoritet** omfatter de skeptiske, og beskriver en gruppe som ikke tar til seg innovasjoner før eventuelle negative sider ved innovasjonen er utbedret. De er avhengige av en større masse brukere som motiverer de til å ta i bruk innovasjonen.
5. **Laggards/etternølerne** er konservative og gjør beslutninger basert på valg som allerede er gjort av andre og anses som trygge. Gruppen omfatter de som lengst er mistenkelige til innovasjoner, og beslutningsprosessen tar relativt lang tid. De økonomiske forutsetningene til gruppen er heller ikke alltid de beste, og dette har mye med beslutningen å gjøre.
(Rogers, 2003, s. 282)

Denne delen av teorien kan i likhet med mennesker og deres sosioøkonomiske status sammenlignes med ulike aktørers posisjon og status i byggebransjen.

Innovasjonsbeslutninger kan skje på tre ulike nivåer. Rogers forklarer nivåene på følgende måte:

1. **Enkeltperson** - Beslutningen er opp til én person som har innflytelse og påvirker det ene eller andre veien.
2. **Kollektiv** - Viser til en samlet gruppe mennesker som tar avgjørelsen om bruken av den nye innovasjonen.
3. **Autoritær** - Her er det en person, gjerne i lederstilling, som tar avgjørelsen.

En mulighet kan også være en blanding, og dette kan typisk være når leder tar beslutning sammen med arbeidslaget. Innovasjonsbeslutning som skjer på autoritært nivå er ansett å være det som raskest fører til at innovasjoner tar store markedsandeler. (Rogers, 2003, s. 28-29).

3.2 Word of mouth

I forbindelse med markedsføring er word of mouth (WOM) (Richins, 1983) verbal overføring av informasjon mellom kunder som har kjennskap til et produkt og potensielle kunder. Det er enighet mellom forskere at WOM har en sterk effekt på potensielle kunder og at dårlige erfaringer kan ha stor påvirkning på potensielle kunders valg (Charlett, Garland & Marr 1995) (Bughin, Doogan & Vetvik, 2010).

4 Metode

Informasjon fra faglitteratur, intervjuer og laboratorieforsøk fremstilles på svært ulik måte, og bruk av riktige metoder har vært nyttig for å kunne sammenføre og drøfte informasjonen fra disse kildene. For å kunne svare utfyllende på problemstillingen, har det også vært viktig å danne et bilde av betongbransjen som en helhet, og få med så mange relevante aspekter som mulig. For å kunne gjøre dette har det vært behov for mye datainnhenting, og de ulike metodene har vært viktige verktøy i denne prosessen. Det å jobbe med de ulike metodene parallelt har dessuten gitt god innsikt i fordeler og utfordringer knyttet til SKB som produkt.

Unicon AS har vært til stor hjelp i forbindelse med arbeid som har blitt utført etter både kvalitativ og kvantitativ metode. De har bidratt med informasjon om hvilke kunder som har hatt ulike erfaringer med SKB og anbefalt mulige intervjuobjekter. I tillegg har de muliggjort laboratorieforsøkene og bistått med god hjelp og kunnskap.

Temperatursimuleringsprogrammet som er brukt i forbindelse laboratorieforsøk 1 er det også Unicon AS som har tilgjengeliggjort.

4.1 Drøfting og valg av metoder

4.1.1 Kvalitativ metode

Ved dybdeintervjuer er kvalitativ metode et viktig hjelpemiddel. Metoden er god når man søker svar fra respondenter som bygger på personlige meninger eller erfaringer, og ikke er målbare data i tallform. I dybdeintervju åpner kvalitativ metode for å kunne tilpasse spørsmålene etter hvem man intervjuer og hvordan samtalen utarter seg. Metoden karakteriseres ved samtale og spørsmål uten faste svaralternativer. Spørsmål skal heller ikke stilles førende, men heller invitere til svar som er preget av respondentens egne holdninger (Dalland, 2012, s.153). Et viktig aspekt i kvalitativ metode er å presentere resultater fra intervjuer gjennom direkte sitater.

Kvalitativ metode egner seg godt i forbindelse med intervjudelen i denne rapporten. Intervjuobjektene har ulike roller innen betongbransjen, og i utgangspunktet var målet å utarbeide et sett med spørsmål som skulle passe til alle intervjuene, men dette viste seg tidlig å være umulig. Derfor ble det utarbeidet flere spørsmål som var tilpasset de ulike intervjuobjektene rolle, men som likevel kunne falle under samme tema i den generelle intervjuguiden som er vedlagt rapporten (Vedlegg A). I intervjuene ble det lagt vekt på at målet var å skape en naturlig samtale, slik at respondentene fritt kunne snakke om temaer som ikke nødvendigvis var dekket av intervjuguiden. Antall intervjuer som har blitt gjennomført, og måten intervjuene ble gjennomført på, bør kunne gi resultater som kan vise et representativt bilde av betongbransjens holdninger til SKB som produkt.

4.1.2 Kvantitativ metode

Kvantitativ metode kommer til sin rett når man skal presentere resultater i form av målbare data. Kvantitativ metode kan brukes i intervjusammenheng, men da må spørsmål stilles likt til alle respondenter og inkludere svaralternativer. I forbindelse med laboratorieforsøk, hvor resultater på tallform skal sammenlignes og analyseres, er det naturlig å bruke kvantitativ metode (Dalland, 2012, s. 112-113).

I forbindelse med denne rapporten er kvantitativ forskning brukt for å nærmere undersøke intervjuobjektens påstander om selvkomprimerende betongs egenskaper.

Forsøk 1 - "Polykarboksylat-baserte SP-stoffers retarderende effekt på SKB" (Vedlegg B)

Forsøk 2 - "Påvisning av separasjon i selvkomprimerende betong" (Vedlegg C)

4.1.3 Blandet metode

For å kunne vurdere så mange aspekter som mulig, som har betydning for problemstillingen, har det blitt brukt både kvantitativ og kvalitativ metode. Blanding av flere metoder har vært naturlig for arbeidet med rapporten og dens oppbygning. Selv om rapporten hovedsakelig bygger på kvalitativ forskning har kvantitativ metode vært nødvendig for å håndtere resultater fra laboratorieforskningene på en god måte. Dette er et godt supplement til rapporten i sin helhet.

4.2 Respondenter

Tabell 4.1 En anonymisert oversikt over samtlige intervjuobjekter

Aktør	Rolle
Leverandør (tilslag)	Daglig leder
Leverandør (tilsetningsstoff)	Selger og produktutvikler
Leverandør (forskaling)	Konsulent
Betongprodusent	Teknolog (1)
Betongprodusent	Teknolog (2)
Entreprenør	Prosjektleder (1)
Entreprenør	Prosjektleder (2)
Entreprenør	Teknolog (1)
Entreprenør	Teknolog (2)
Entreprenør	Formann (1)
Entreprenør	Formann (2)
Byggherre	Ingeniør

4.3 Programvare

TempSim er et temperatursimuleringsprogram som muliggjør datasimulering av temperatur-, modenhet- og fasthetsutvikling ved herding av ulike konstruksjonsdeler av betong. Programmet er utviklet av Aalborg Portland (Aalborg portland, 2003).

I rapporten er TempSim brukt for å simulere varme- og fasthetsutvikling ved herding av prøvelegemer i forbindelse med forsøket "Polykarboksylat-baserte SP-stoffers retarderende effekt på SKB" (Vedlegg B). Dette for å bedre forstå hvordan fastheten i prøvelegemene har utviklet seg i praksis, i forhold til ved teoretiske herdebetingelser. Programmet tar hensyn til de mest relevante aspektene ved betongens sammensetning, som sementmengde, vannmengde, konstruksjonstykkelse og herdetemperatur.

4.4 Gjennomføring

4.4.1 Intervjuer

Det er gjennomført totalt 12 intervjuer med ulike aktører i bransjen. Alt fra materialer i betongen, til de som håndterer betong i fersk fase, altså entreprenører, teknologer, leverandører, forskalings-, tilsetningsstoff- og tilslagsleverandører.

Alle intervjuer har blitt gjennomført på intervjuobjektens arbeidsplasser og de fleste intervjuer har hatt varighet på rundt 60 minutter. Det ble tatt opptak av alle intervjuene med godkjenning fra intervjuobjektene. Opptakene ble i etterkant brukt til å skrive intervjureferater med utvalgte utsagn, som senere kunne bli brukt som grunnlag for direkte sitater. Utvalgte sitater ble til slutt transkribert og inkludert i rapporten.

Intervjuobjektene ble ikke gjort oppmerksomme på detaljene rundt oppgavens problemstillingen, da dette kunne legge føringer for svarene som ble gitt.

Samtlige av intervjuobjektene har blitt anonymisert, og dette ble det informert om i alle intervjuer. Anonymitet gjør at respondentene kan ytre seg fritt om både gode og dårlige erfaringer uten å måtte ta hensyn til de tilknyttede bedriftens renommé. Referater fra intervjuene er derfor ikke vedlagt rapporten, men gjort tilgjengelig for intern veileder.

De utvalgte sitatene er presentert i kapittel 5 (Resultat). De presenteres etter temaene i intervjuguiden og ikke etter spørsmål som ble stilt i intervjuene.

4.4.2 Laboratorieforsøk

Forsøk har blitt utført etter gjeldende krav og standarder, med inspirasjon og bistand fra laboranter og teknologer hos Unicon AS.

Begge forsøkene ble gjennomført på Unicon AS sine laboratorier på Sjursøya og Vestby. Forsøkene har ledet til resultater som presenteres gjennom diagrammer og tabeller i labrapportene. (Vedlegg B og C).

Teknologer og laboranter hos Unicon AS har bidratt til planlegging og gjennomføring av laboratorieforsøk. Forsøkene har gitt målbare resultater som blir presentert i to labrapporter som er vedlagt hovedrapporten.

4.5 Refleksjon og kvalitetssikring

4.5.1 Validitet

Den viktigste hensikten med intervjuene er å kartlegge aktørers holdning til SKB som produkt og avdekke årsaker som ligger til grunn for valg av betongtype. Ved å utføre tolv intervjuer med personer som har erfaring fra ulike deler av byggenæringen, samles det store mengder informasjon, som kan gi et oversiktlig og representativt bilde av bransjen, og som kan gi et godt informasjonsgrunnlag for en konklusjon i rapporten. Forsøkene har blitt utført på Unicon AS sine laboratorier på Sjursøya og Vestby. I forkant av alle forsøk ble relevante standarder gjennomgått for å sikre korrekt utførelse på laboratoriet. Ekstern veileder eller laborant fra Unicon AS har vært til stede alle forsøk.

Rapporten dekker muligens ikke alle aspekter som har med valg av betongtype å gjøre, men de viktigste aspektene bør ha blitt kartlagt gjennom arbeidet med litteraturstudien. Det kunne ha blitt intervjuet personer fra flere fagfelt (arkitekter, konsulenter, betongbilsjåførere, betongarbeidere m.m.) og dette kunne kanskje ha gitt rapporten høyere validitet. Forbedringspotensiale på laboratorietester er kommentert i vedlagte rapporter.

I en masteroppgave fra NMBU fra 2012 ble TempSim forsøkt verifisert. Konklusjonen viser at programmet har noen viktige begrensninger, men at det er et brukbart hjelpemiddel for simulering av fasthets-, modenhets- og temperaturutvikling i betong. (Norges miljø- og biovitenskapelige universitet [NMBU], 2012).

4.5.2 Reliabilitet

Det må presiseres at resultatene som fremkommer av intervjuene ikke på noen måte er noen fasit for holdningene i bransjen som helhet. Det finnes antakelig mange variabler som kunne vært vektlagt mer eller mindre, og det er viktig å stille seg kritisk til intervjuguiden, da rapportens forfattere ikke har lang erfaring på dette feltet. Svarene kan ikke forventes å bli like ved en gjennomføring av intervjuer med nye respondenter, da meninger kan variere mye fra person til person og endres over tid. Alle forsøkene er gjennomført med godkjente apparater og metoder, og det blir henvist til aktuelle standarder i laboratorierapporter. Resultatene kan forventes å bli ganske like ved en ny gjennomføring av forsøkene, men naturlige variasjoner i delmaterialer kan naturligvis påvirke utfallet.

4.5.3 Objektivitet

Hensikten med intervjuene er å kartlegge generelle holdninger og erfaringer. Valgt metode for intervjuene tillater at enkelte respondenters sitater fremkommer tydeligere enn andres, og muliggjør forskjellig vektlegging. Likevel har rapportens forfattere lagt mye vekt på objektivitet og forsøkt å forhindre at forfatterens egne holdninger preger resultatene.

4.5.4 Generaliserbarhet

Det har vært viktig å intervju personer som har erfaringer med SKB og dette er noe alle respondentene har til felles. Det har blitt lagt vekt på at en andel av intervjuobjektene skal kunne representere de som ikke foretrekker å bruke SKB, og Unicon AS har, gjennom tidligere kundekontakt, gjort det mulig å finne frem til kunder som tidligere har prøvd SKB, men som har forkastet produktet for videre arbeid.

Rapporten bør kunne brukes til å sammenligne spredning og adopsjon av andre byggematerialer, da beslutningsprosessen preges av de samme "bransjeholdningene". Den generelle holdningen til nye produkter eller metoder bør kunne brukes som pekepinn for lignende situasjoner i byggenæringen.

4.5.5 Kildekritikk

Ved å bruke intervjuer som grunnlag for datainnhenting er det viktig og være kritisk til om det som blir sagt er noe respondenten har grunnlag for å si. Ved nøye utvelging av respondenter og tilpasninger av spørsmål ut i fra respondentenes fagfelt har det i stor grad vært mulig å sørge for at diskusjonen ikke beveger inn på temaer som respondenten ikke skal ha grunnlag for å uttale seg om.

Feilkilder som er vurdert som viktige for laboratorieforskene nevnes i Vedlegg B og C.

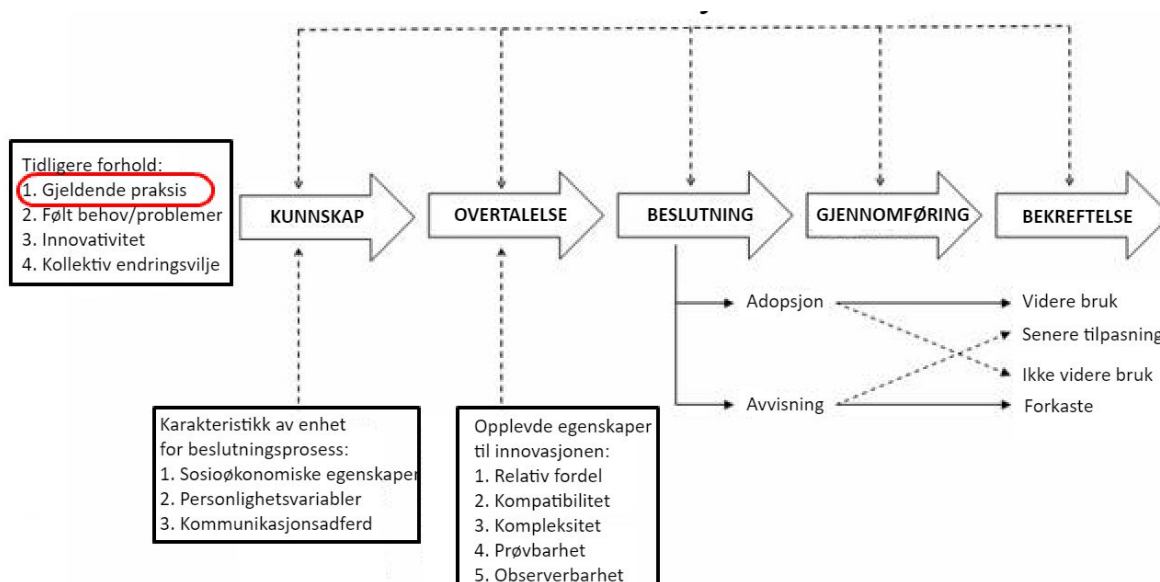
Mange rapporter som det kildehenvises til i denne rapporten er godkjent gjennom fagfelleevaluering og anses derfor som pålitelige kilder. Eldre kilder kan være utdatert, men dette har det ikke vært mulig å ta hensyn til på andre måter enn å prioritere å henvise til nyere kilder.

5 Resultat

5.1 Intervjuer

Samtlige temaer blir presentert med en oversikt som viser hvilke deler av Diffusion of Innovations temaet kan knyttes til. I tillegg presenteres bakgrunn for hvorfor temaet er inkludert i intervjuguiden, en oppsummering av svar, samt direkte sitater.

5.1.1 Fordelingen av tradisjonell og selvkomprimerende betong



Figur 5.1 Beslutningsprosessen tema 1 (Rogers, 2003, s. 170)

Bakgrunn for temaet:

Det stilles spørsmål innenfor dette temaet for å kunne danne et bilde av hvor god kjennskap intervjuobjektene har til SKB. Økt kjennskap til, og lengre erfaring med produktet indikerer høyere kompetanse på feltet, og påvirker i en viss grad validiteten av svarene som blir gitt, og dette gjenspeiler hvor mye plass de har fått tildelt i rapporten. Temaet er hovedsakelig rettet mot entreprenører og betongleverandører.

Oppsummering av svar:

De aller fleste av intervjuobjektene kan fortelle at selskapene de er knyttet til benytter SKB i mindre grad enn vibrert betong. Produsentene anslår at SKB som leveres i Oslo og omegn utgjør et sted mellom 10-30% av totalt produksjonsvolum. Hos entreprenørene varierer andelen av SKB i stor grad. Noen bruker det svært lite og andre kan fortelle at SKB utgjør opptil 50% av totalt betongforbruk. Bruken er nokså konsentrert i Oslo og omegn. Bruken av SKB er i stor grad avhengig av geografi og størrelsen på entreprenørfirmaet.

Betongleverandører forteller at små entreprenører ikke har for vane å bestille SKB og at privatkunder frarådes å bruke det. Dette gjøres av flere grunner, både fordi å støpe med denne typen betong krever høyere kompetanse, som privatkunder ofte ikke har, og fordi SKB er noe dyrere enn vanlig betong.

“Vi anslår at SKB-volumet utgjør litt i underkant av 30%. Vi har noen store jobber som bare kjører SKB. “

-Teknolog, betongleverandør (1)

“Vi bruker ca. 15-20 % SKB. Mest innenfor bygg, men også noe innenfor anlegg, som i kulverter eller tunnelportaler, fordi det er vanskelig å vibrere ned i tykke vegger som er veldig tett armerte.... SKB brukes mye mer i Oslo-området enn andre steder i landet.”

-Betongteknolog, entreprenør (1)

“Jeg er usikker på fordelingen i konsernet, men på dette prosjektet bruker vi ca. 50% SKB. Dekkestøper utføres stort sett med vanlig betong.”

-Formann, entreprenør (2)

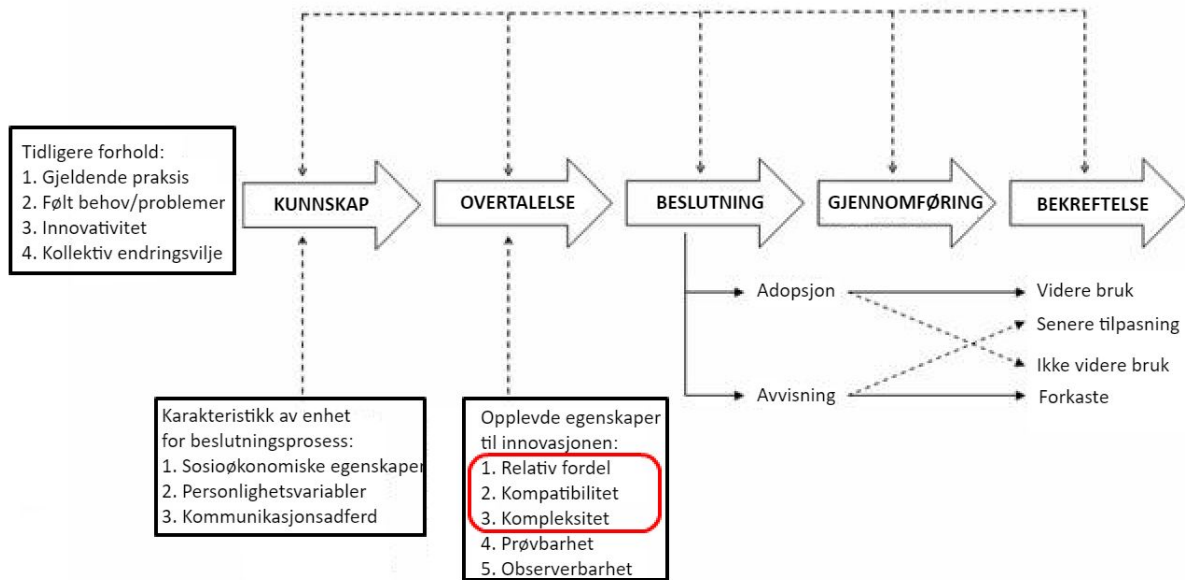
“Vi leverte mye SKB til noen prosjekter før, men nå leverer min avdelingen mindre. Nå leveres det relativt lite her ute. I Oslo har de en mye jevnere leveranse av SKB.”

-Teknolog, betongleverandør (2)

“På Østlandet er det vanlig med SKB, og i Oslo-området produserer betongleverandørene såpass mye av det at de får en overlegen kompetanse i forhold til produsenter andre steder i landet.”

-Betongteknolog, entreprenør (1)

5.1.2 Bruk av SKB i ulike konstruksjonsdeler



Figur 5.2 Beslutningsprosessen tema 2 (Rogers, 2003, s. 170)

Bakgrunn for temaet:

Mengden SKB som benyttes vil i stor grad variere etter hvilke konstruksjonsdeler brukerne anser den å være egnet til. Bruksområder for SKB, og deretter mengde som benyttes, kan påvirke logistikk på byggeplass i stor grad, særlig om en skal tilpasse støpemetoder spesielt for SKB. Spørsmålene til dette temaet stilles på en slik måte at intervjuobjektet kan svare for hvilke formål de benytter SKB til, og de gir svar på om disse bruksområdene er de samme som nevnte anbefalte bruksområder i artikler og fagbøker.

Oppsummering av svar:

Intervjuobjektene har nokså sammenfallende meninger om når det er ønskelig å bruke SKB. Produktet ble opprinnelig utviklet for å forenkle støpearbeider i høye og tett armerte konstruksjoner, som gir utfordringer med vibrering, og det er slike konstruksjoner de fleste intervjuobjektene anser som det viktigste bruksområde for denne type betong. Noen nevner at SKB er fordelaktig der overflater skal være synlig. Det fremkommer at enkelte er klar over at SKB kan forenkle noen støpejobber, men at de likevel bruker vanlig betong, uten noen spesiell årsak. Kun noen få nevner SKB som en egnet betongtype til dekkestøp, og disse begrunner dette med at det gir mindre etterarbeid. Spesielt utførende som har vært tidlig ute med å ta i bruk produktet har kommet lengre med å tilpasse bruken til forskjellige konstruksjonsdeler etter behov. Utførende opplever at SKB er kompatibelt med formål hvor det vanligvis er brukt tradisjonell betong, og dette kommer frem ved at de i relativt liten grad må omstille gamle rutiner for å bruke produktet.

“I konstruksjoner med mye armering og utsparinger er SKB helt overlegent. Vi bruker lite SKB i dekker når man bare skal fylle opp dekkeforskalingen. Hvis der er spesielle gulvstøper hvor det er spesielle krav til overflate, kan SKB kanskje være aktuelt.”

-Betongteknolog, entreprenør(2)

“Det var i utgangspunktet ikke beskrevet at det skulle brukes SKB på dette prosjektet, men det er en åpenbar fordel å bruke SKB de gangene man sliter med å komme til med vibrator på grunn av utsparinger og tett armering. Vi hadde problemer med å få det resultatet vi ønsket på veggene, så et av tiltakene som ble nevnt, og har blitt prøvd, er SKB. Høye vegger, opptil 8 meter, med mye utsparinger, er typiske områdene hvor vi liker å bruke SKB.”

-Prosjektleder, entreprenør(1)

SKB har absolutt en relativ fordel for mange av entreprenørene, spesielt i konstruksjoner som er tett armerte eller har mye utsparinger.

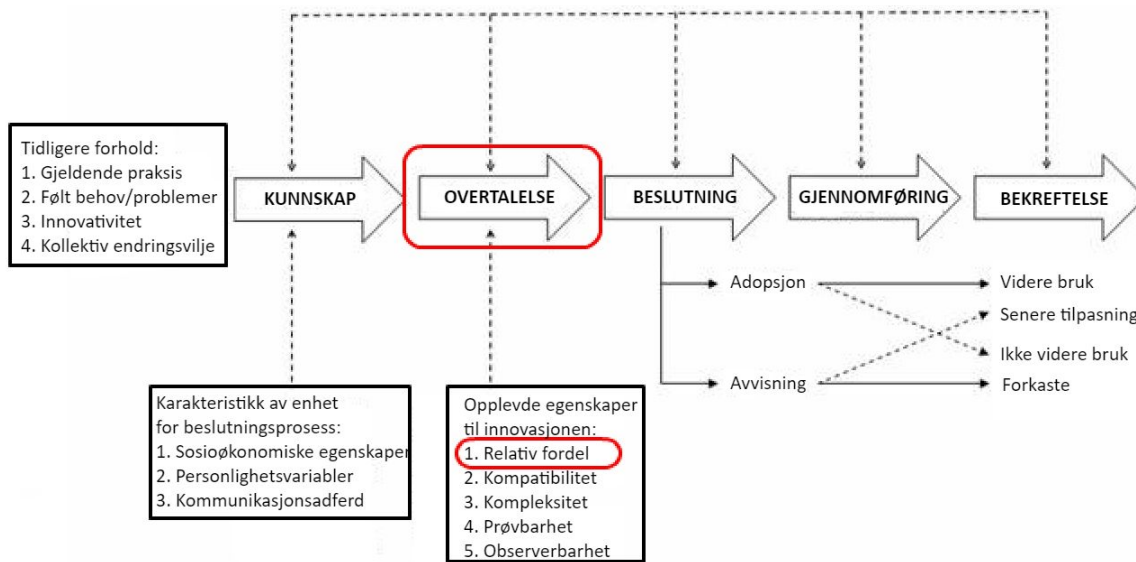
“Vi bruker det særlig på vegger som skal være synlige, og du kan også bruke det på gulv for å slippe å pusse. SKB gir en mye tettere overflate og søyler er veldig fint å bruke det på. Man er avhengig av at formene er tette, for det er jo veldig, veldig tyntflytende.”

-Prosjektleder, entreprenør(2)

“SKB gir jo veldig fine overflater på vegger. Hvis du bruker lavvarme SKB blir overflaten enda finere enn med normal betong, med mye mindre arbeid.”

-Teknolog, betongprodusent(2)

5.1.3 Opplevde verdier ved bruk av SKB



Figur 5.3 Beslutningsprosessen tema 3 (Rogers, 2003, s. 170)

Bakgrunn for temaet:

Temaet skaper samtale som belyser intervjuobjektene holdning til SKB og hvorfor de bruker produktet. Temaet belyser også i hvilken grad erfaringer, praktiske fordeler, helsemessige gevinster, fremdrift og lønnsomhet spiller en rolle for valget om å bruke produktet.

Oppsummering av svar:

Hvilke fordeler SKB skal kunne gi er beskrevet tidligere i rapporten, men respondentene anser påfallende få av disse som viktige faktorer ved valg av betongtype. Fra tema 5.1.2 kommer det frem at SKB anses som godt egnet til tettarmerte konstruksjoner, og det virker som at dette hovedsakelig er drivkraften for å bruke produktet. Effektivitet i støpearbeider blir sett på som viktig av de fleste, men i hvilken grad SKB bidrar til økt effektivitet, eller påvirker mengden av etterarbeider og reparasjoner, er det nokså delte meninger om. Mange legger stor vekt på viktigheten av god planlegging av utførelse for å få gode resultater med SKB.

“Det blir jo ikke færre folk på byggeplassen av at det støpes med SKB, så i det du støper så kan de som vanligvis går med vibrator heller brukes til å armere og forskale, og det er tross alt det som tar tid. SKB gir et tillegg på 90-100 kroner kubikken, så da må du rett og slett regne ut hva du sparer på økt effektivitet for å kunne vurdere lønnsomheten. Normalt sett er det sånn at du må ha tre ganger så mye veggforskaling hvis det skal være god økonomi ved å støpe med SKB og pumpe.”
-Betongteknolog, entreprenør (2)

I hvilken grad SKB gir finere overflater er det delte meninger om. Meningene er ofte preget av subjektive holdninger og erfaringer. Entreprenøren nevner SKB som et produkt som blir valgt for vegger som skal være synlige. Byggherren på sin side er ikke helt enig, og mener at tradisjonell betong fortsatt er et bedre alternativ.

“Synlige vegger er nok egentlig best å støpe med tradisjonell betong, under den forutsetning at du ikke har noe sinnsvakt med armering da. Hadde vi fått det til, så hadde det selvfølgelig vært greiest å bruke SKB på alt, sett ut ifra et HMS synspunkt, men vi har ikke kommet langt nok enda.”

-Ingeniør, byggherre

“SKB gir ikke noe finere overflate, det er en floskel. Overflater avhenger av så mye. Det er som arkitekten sier; “Vi skal ha porefrie flater, så vi skal ha SKB”. Det er bare tull. Vi har tidligere støpt tilsvarende vegger med SKB og vanlig betong, og SKB har gitt styggere overflater med mere porer. Så dette er ikke noe klar gevinst. Er du god med vibrert betong får du like gode resultater.”

-Betongteknolog, entreprenør (2)

“Kvaliteten blir bedre, hvertfall synlig. Vi har støpt veldig mye med SKB, og det blir mye finere. Vi bruker det da særlig i vegger som ikke skal kles inn.”

-Prosjektleder, entreprenør (2)

Enkelte nevner fordeler knyttet til HMS, som oppnås ved å ikke bruke vibrator. Generell redusert slitasje på arbeidere virker å være viktig for flere, men spesifikke lidelser som kan forårsakes av vibrering blir ikke diskutert, og ingen bemerker redusert støy ved bortfall av vibrator.

“Vi mener at hvis du planlegger riktig så får du et bedre resultat. Man må se begge sidene av det, både sluttresultat og det økonomiske. Det er økonomisk å bruke SKB med tanke på at du trenger færre folk som går å vibrerer. Man setter de andre til å gjøre andre oppgaver, som å armere neste støp. Også er det jo selvfølgelig bedre med tanke på HMS.”

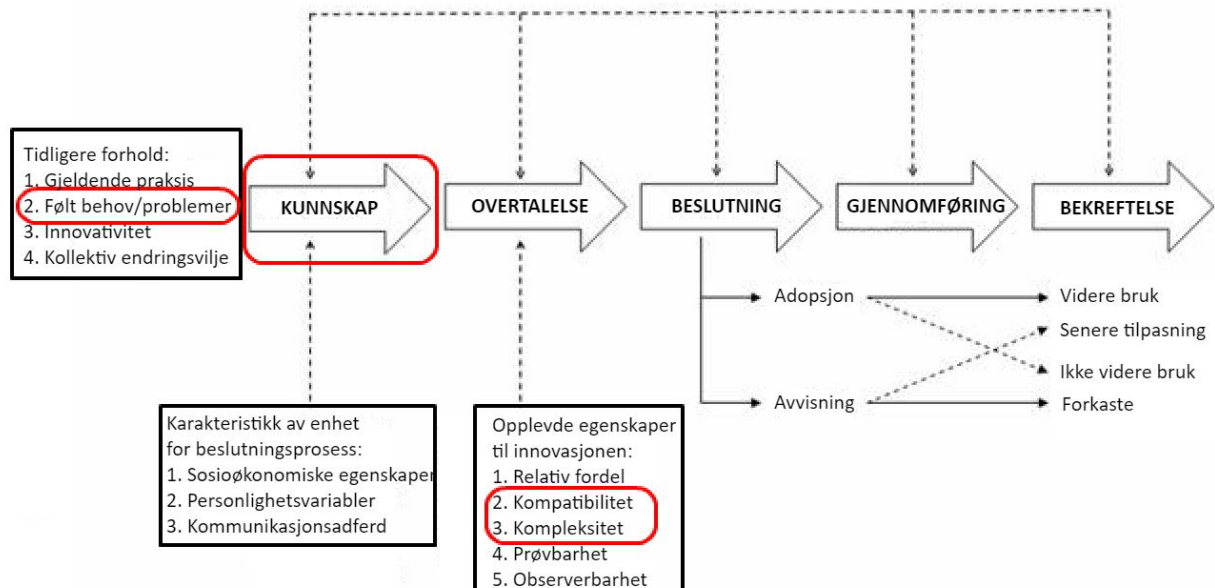
-Betongteknolog, entreprenør(1)

“Å stå og vibrere på toppen av en høy vegg er veldig tungt, og man blir tung i skuldere av å dra den vibratoren. Det er en av grunnene til at de velger å bruke SKB.”

-Forskalingsleverandør

“At du med mindre innsats får like godt resultat, det er jo det som er drivkraften hos oss på den utførende siden. Det at man sparer slitasje på arbeidere ute, er nok noe vi som arbeidsgivere ikke er flinke nok til å tenke på, men det er jo en åpenbar fordel.”
 -Prosjektleder, entreprenør(1)

5.1.4 Behovet for SKB



Figur 5.4 Beslutningsprosessen tema 4 (Rogers, 2003, s. 170)

Bakgrunn for temaet:

Hensikten med temaet er å avdekke i hvilken grad respondentene mener at SKB dekker et behov som vanlig betong ikke dekker. Spørsmålene søker svar på om det er spesielle praktiske utfordringer som har utløst behovet for SKB, eller om produktet har nådd frem til markedet gjennom overbevisning fra produsenter.

Oppsummering av svar:

Det er delte meninger om SKB dekker behov som ikke kan dekkes av vanlig betong. De fleste ser nytteverdien av SKB, men holder seg likevel, i hovedsak, til tradisjonell betong. Noen få hevder at man med SKB kan løse utfordringer som man aldri kunne løst med vanlig betong, og at produktet derfor dekker behov som ikke dekkes av vanlig betong. Flere nevner at arbeidskraft er dyrt og at det i Norge er billigere å investere i produkter som reduserer behovet for mannskap.

“Vi klarer oss fint med gamle metoder fortsatt, men det er på bekostning av bemanning og tid, så SKB er en fin erstatte.”

-Formann, entreprenør (2)

“På noen jobber erstatte SKB den tradisjonelle betongen totalt. Vi leverte betong til et prosjekt hvor man ville vært nødt til å sprengte ut masser for å komme til med pumpe slang og vibrator. I slike tilfeller er SKB helt uvurderlig.”

-Teknolog, betongprodusent (2)

“Ved enkelte tilfeller hvor man skal støpe helt spesielle ting så får man ikke gjort det med noe annet enn SKB, for du kommer rett og slett ikke til. Skal det bli sånne kunstverk både her og der, med mye snirkler og kroker, så må du nok over på SKB.”

-Ingeniør, byggherre

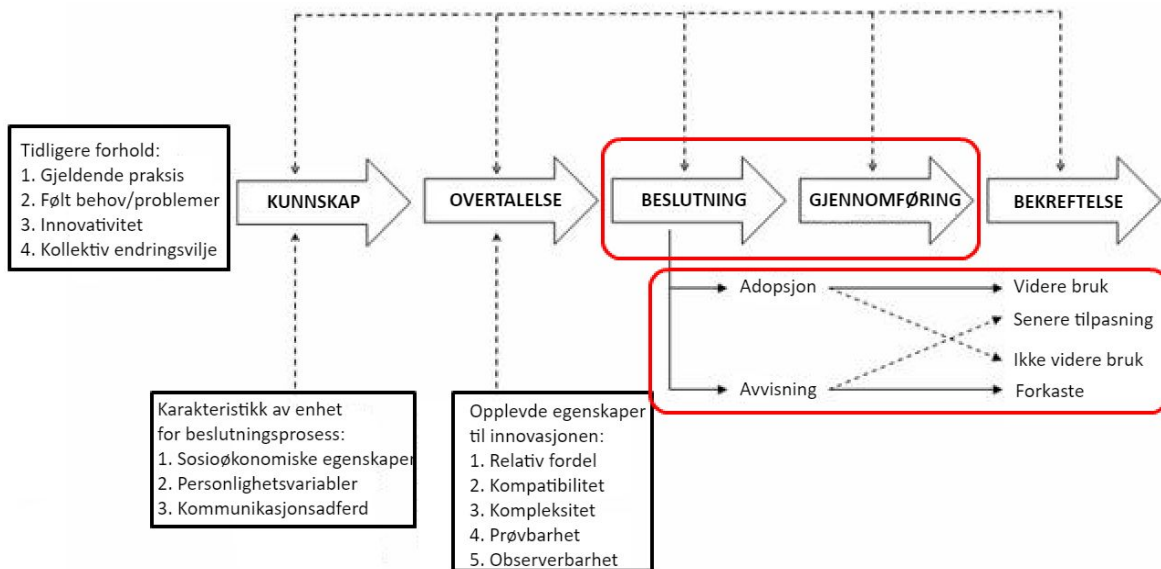
“SKB blir brukt der det gir en gevinst. Gevinsten trenger ikke nødvendigvis å være direkte målbar, og valg av betongtype blir en veldig konkret vurderingssak for hvert enkelt prosjekt. Vi har ikke tall på hvor mye vi sparer ved å bruke SKB. Betongen koster mer, men vi sparer penger på reparasjoner og utbedringer, og det regnestykket, det går på feeling. Arbeidskraft er dyrt i Norge, og derfor har vi en tradisjon for å utvikle, og legge penger i teknologi og materialer. I lavkostland vil man kanskje heller gjøre andre tiltak for å oppnå det samme resultatet. Jeg tror du kan greie å løse nesten alt du støper med SKB i dag med vanlig betong, men det krever tiltak som suger timer, så derfor er det billigere for oss i Norge å legge penger i materialer og teknologi. Det er drivkraften for å bruke SKB.”

-Prosjektleder hos entreprenør (1)

“Det er folka som koster, betongen koster lite. Derfor er det mye å spare på å bruke SKB.”

-Ingeniør byggherre

5.1.5 Kontroll og håndtering av SKB



Figur 5.5 Beslutningsprosessen tema 5 (Rogers, 2003, s. 170)

Bakgrunn for temaet:

Spørsmålene som stilles rundt dette temaet søker svar som kan gi en indikasjon på intervjuobjektets kunnskap om utførelse, samt rutiner rundt produksjon eller bruk av SKB. Innfallsvinkelen til temaet varierer i nokså stor grad ut ifra hvilken rolle intervjuobjektet har. Det er viktig å avdekke hvor stor vekt som legges på kontroll- og håndteringsrutiner, fordi dårlige resultater, som følge av avvik fra anbefalte rutiner og metoder, kan føre til avvisning av produktet.

Oppsummering av svar:

Intervjuene indikerer at det i varierende grad legges fokus på spesielle rutiner ved bruk av SKB, og at dette fokuset har mer med organisasjonskultur å gjøre enn noe annet. Noen av respondentene kan fortelle om spesielle tiltak som gjøres ved bruk av dette produktet, men det virker som at effektivitet og fremdrift er viktigere enn kvalitet for valg av metoder i utførelsen. Om mottakskontroll blir gjennomført er for svært mange avhengig av hvilken utførelsesklasse konstruksjonen er i og mange erkjenner at mottakskontrollen ofte blir neglisjert. Noen av intervjuobjektene nevner at evnen til å ta lærdom av feil muligens er for lav hos mange, og at dette kan være en årsak til at kvaliteten på utførelse ikke forbedres etter mislykkede støpejobber. Betongprodusenter som er intervjuet hevder at de utførende ofte gjør grove feil ved håndtering av SKB og entreprenørene forteller selv at de har varierende fokus på interne kontroller.

“Det er fra prosjekt til prosjekt hvor flinke de er til mottakskontroll, men det slurves jo kjempemye. Er du på anlegg, så er det veldig god kontroll. Der er det utførelsesklasse 3, så der er det folk som tar imot betongen. Men på bygg, med utførelsesklasse 2, så er det dårlig. Vi prøver å legge vekt på at det skal gjennomføres mottakskontroll på boligprosjekter også, for der er det sjeldent at det brukes mye SKB, så erfaringen med produktet er kanskje ikke så god. Der er det dårligere mottakskontroll, for kravet er bare at en skal lese følgeseddelen og sjekke at bilen er på riktig byggeplass.”

-Betongteknolog, entreprenør (2)

“Det er viktig å sette seg inn i rutiner knyttet spesielt til SKB, du må jo det. For en SKB er jo mye mere ømfintlig mot varme og kulde og alt som er, i forhold til å få den til å bli en SKB. Hvis du gjør feil i støpemetoden med SKB så kan den skille seg. Det er også veldig viktig at de som blander betongen holder fokus når de driver med dette her. For det krever mer av dem også, enn ved vanlige blandinger.”

-Prosjektleder, entreprenør (2)

“Vi vet om andre entreprenører som har gjort tilsvarende jobber som ikke har hatt mottakskontroll, og det har kosta skjorta. Du må ha med den mannen i regnestykket ditt når du skal bruke SKB. Det må være en som kontrollerer hele tiden.”

-Betongteknolog, entreprenør(2)

Noen ser viktigheten av en god mottakskontroll og gode rutiner på håndtering av betongen.

“Egentlig så skal vi jo støpe ved å føre slangen ned, og vi bruker jo slangetobb. Vi burde ha støpt med fallhøyde på 50cm, men vi gjør jo ikke det. Vi støper gjerne med to meters fallhøyde. Er ikke så nøye at vi får slangen helt nedi, det bryr vi oss ikke så jævla hardt om. Vi putter slangen ned i toppen mest for å slippe søl.”

-Formann, entreprenør(1)

Flere teknologer har kommentert at pumpejåføren blir brukt som mottaksperson.

“Entreprenører har ingen form for systematisk mottakskontroll, de ser ikke fordelene ved å gjøre det og investerer ikke i det. Det de ofte gjør er å sette ansvaret over på pumpejåføren og ber han sjekke, for han ser jo betongen uansett.”

-Teknolog, betongprodusent (1)

“En fordel med SKB er jo at man sparer folk til vibrering og selve mottaket, for det er jo stort sett pumpeoperatøren som tar imot betongen, og de utførende bare peker på forskalingen der de vil ha den.”

-Teknolog, betongprodusent (2)

Det nevnes også at noen har god kontroll på mottak og at arbeider i utførelsesklasse 3, som ofte angår anleggsprosjekter, får bedre resultater. Dette på grunnlag av at standarden setter strengere krav til mottakskontrollen på disse områdene.

“På anlegg er det ofte utførelsesklasse 3 og da må du ha fast sjekk for hver eneste støp. Det gjør det litt tryggere. Hvis konsistensen er litt utafør så kan du justere med tilsetningsstoffer. Resultatene blir generelt bedre på anlegg.”

-Betongteknolog, entreprenør (1)

Det er ikke bare produksjon og utførelse som kan gi varierende resultater, men ved leveranse kan også sjåførene kjøre feil. Dette blir plukket opp i mottakskontrollen der det er god rutine på dette. Andre legger føringer der det er mulig på hva som bestilles, slik at problemet kan forhindres.

“Å først få et lass SKB og deretter et lass vanlig betong går veldig fint, det er ikke noe omstilling av rutiner. Jeg er ute og passer på at bilene kommer på riktig sted, for det har skjedd at det har kommet biler som ikke skulle vært her, og stilt seg opp, klare til å begynne å tømme, men så sjekker vi seddelen og oppdager at det er feil. Så det plukkes alltid opp.”

-Formann, entreprenør (2)

“Det hender at sjåførene kjører feil, slik at det kommer betong til det anlegget her som skulle vært et annet sted. Det kan få skikkelige konsekvenser. Der er jeg litt ivrig på at vi kjører samme type betong på ulike støper, for om han da leverer feil inne på anlegget, for det kan jo være flere leveranser inne på samme anlegget, så har det ikke så store konsekvenser.”

-Ingeniør, byggherre

Noen entreprenører legger også vekt på kontroll og dokumentert kontroll. Det blir sagt at det ikke blir ført skjemaer og sjekklister på alt, noe det heller ikke er krav til.

“Jeg tror byggherren har en høyere forventning enn det standarden egentlig legger opp til. For i utgangspunktet får du ikke levert noe bedre produkt i utførelsesklasse 3, det er samme toleransekrav og alt mulig, men det er litt strengere kontrollregime. Og kontrollregime er ikke veldig mye strengere for entreprenøren, det går mest på at byggherren skal være mye mer inne i bildet. En annen ting er at det er forskjell på kontroll og dokumentert kontroll. Som jeg sier til byggherren: “Vi har kontroll på det vi gjør, men vi dokumenterer ikke alt vi gjør.” Han som står ved tobben og ser betongen tømmes fra bilen gjør jo en visuell kontroll. Hvis det bare var stein som kom ut der så hadde jo han reagert, og det er jo også en kontroll, men du fører jo ikke noe sjekklister på sånt. Så det er forskjell på å ha kontroll og dokumentert kontroll.”

-Prosjektleder, entreprenør (1)

Tilslagsleverandøren har også kontroll på det de leverer fra seg, men ser at det kunne vært fordelaktig om mottaker hadde hatt bedre kontroll.

“Det er ikke dumt at de har en egenkontroll. Det vi leverer fra oss, er kontrollert i flere vendinger. Det kommer veldig an på tilslagsprodusenten. Vi leverer fra kjempestore lagerhauger der råvarene har blitt blandet mange ganger, så da får vi en unik jevnhet. Det er mange som gjør det sånn, men ikke alle, så ja, det er jo nyttig å ha en viss oversikt selv også da for betongprodusenten.”

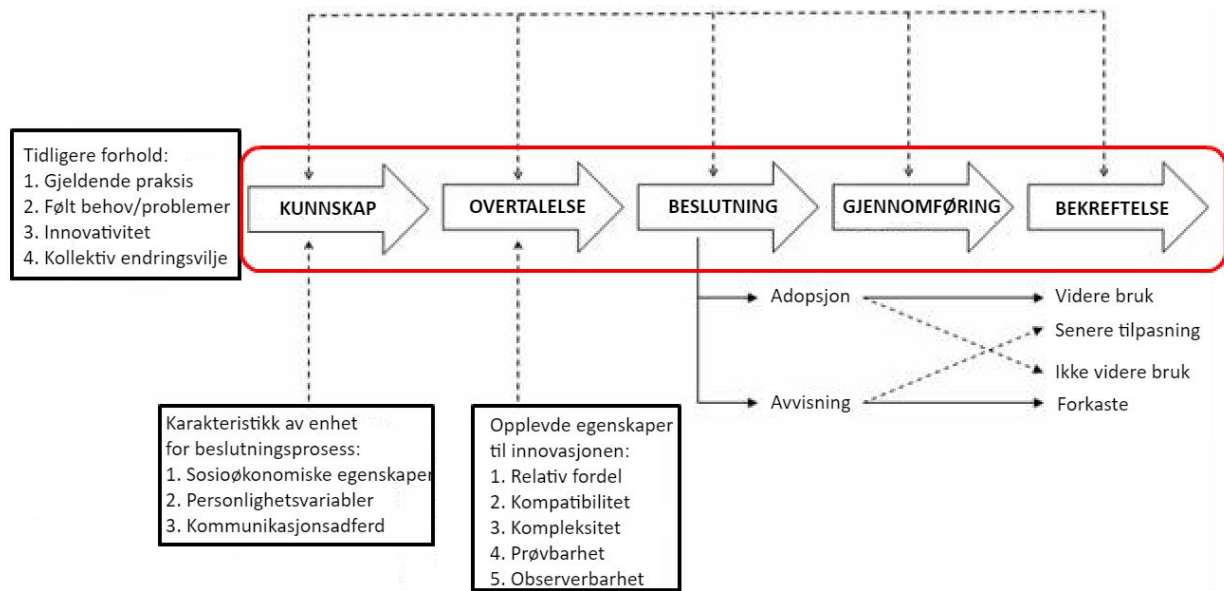
-Tilslagsleverandør

Det blir ikke stilt spørsmål om bruk av Publikasjon nr. 29 i noen av intervjuene, men likevel blir det nevnt.

“Det er sannsynligvis veldig få som har lest Publikasjon 29. Jeg har kjennskap til den, men den brukes ikke som veiledning på byggeplass.”

-Betongteknolog, entreprenør (1)

5.1.6 Kvalitet og utfordringer med SKB



Figur 5.6 Beslutningsprosessen tema 6 (Rogers, 2003, s. 170)

Bakgrunn for temaet:

For at et produkt skal få fotfeste i et marked, bør ikke kvaliteten på produktet variere i for stor grad, da dette kan være en direkte årsak til avvisning. Stille spørsmål rundt dette temaet varierer ut i fra intervjuobjektets rolle. Temaet omfatter hovedsakelig opplevd kvalitet på levert betong, håndtering, produksjon og kvalitetsutvikling. I hvilken grad produksjon og utførelse tilpasses SKB kommer også frem av dette temaet.

Oppsummering av svar:

Flere nevner at ustabilitet i fersk SKB er en kritisk faktor som kan føre til dårlige resultater, men hva som gjøres for å avdekke ustabil betong virker å være veldig varierende (se kapittel 5.1.5). Gjeldende toleransekrav blir ansett av flere som for vide. SKB oppleves som ømfintlig og lite robust. Flere har hatt dårlige erfaringer ved bruk av SKB, som har vært avgjørende for videre bruk eller ikke. Om betong blir returnert til produsent er begrunnelsen fra entreprenør nesten alltid at betongen er for stiv. Høyt forskalingstrykk og høyere krav til tett forskaling er ting som blir nevnt. Det går raskere med utstøpning, men noen kan være veldig usikre på resultatet. Flere av entreprenørene hevder at kvaliteten på levert SKB er for varierende. Denne erfaringen påvirker beslutningen av videre bruk eller avvisning av produktet. Produktet fremstår som ømfintlig for relativt små variasjoner av betongens sammensetning. En utfordring som er knyttet til bruk av SKB er forskalingstrykk, og for å opprettholde fremdriften, som er ansett som en viktig fordel med SKB, blir derfor maks støpehastighet et viktig parameter. Det fremkommer av intervjuene at det er noe usikkert hvem som skal avgjøre dette.

“Vi har gjort tester med ulike SKB-sammensetninger med toleransekrav for tilsatte delmaterialer på ±3%. Kravene var for vide for samtlige av sammensetningene da, og kravene er sannsynligvis for vide i dag og, selv om prosesskoden har strammet inn litt med tanke på fukt. Skal man produsere innenfor kravene så må betongen tåle det også, så hver gang det skal leveres SKB så må produsentene strammes opp og gjøre tiltak for levere mer nøyaktig. Noe så enkelt som fuktvariasjoner i sanden kan ødelegge betongen.”

-Betongteknolog, entreprenør (2)

SKB anses som et noe usikkert produkt i fersk fase. Det kommenteres samtidig at selv om det er et ømfintlig produkt, så er det et byggemateriale som må tåle normal håndtering på byggeplass

“Det er det som er problemet med SKBen, akkurat den stabiliteten. Å greie å holde betongen stabil gjennom en hel leveranse, for det er enten himmel eller helvete.”

-Ingeniør, byggherre

“Betongleverandøren blir jo flinkere og flinkere til å produsere SKB. Det er viktig at de har kompetanse på hva de driver med. Jeg føler at kvaliteten på det som blir levert på byggeplass er varierende, noe utenfor og noe innenfor. Hos de store leverandørene er de flinke til og sette sammen betongresepter, men de er såpass flinke at de tyner betongen for sement slik at du alltid er i faresonen. Dette tar ikke mindre produsenter sjansen på å gjøre.”

-Betongteknolog, entreprenør (1)

“For stor fallhøyde kan være et problem som gjør at du slår luften ut av betongen og at den separeres. Man balanserer nok veldig på stabiliteten med betong som er såpass lettflytende i utgangspunktet. Vi har jo støpereir selv om vi har brukt SKB, men vi er overbevist om at resultatet blir bedre enn om vi ikke hadde brukt det.”

-Prosjektleder, entreprenør (1)

“Det er ikke akkurat noen liten påkjenning for betongen å blir trykket gjennom et pumperør. Man må jo kunne stille krav til at betongen tåler å bli pumpet. Er det noe pumpe sjåførene er livredde for så er det jo at den separerer, for da har du jo plutselig et steinreir midt i røret. Så jeg tror ikke det er noe mer tilgivende for betongen om du støper med pumpe fremfor tobb, den må uansett tåle en viss håndtering.”

-Prosjektleder, entreprenør (1)

Produsentene på sin side nevner hvor lite retur de får på betonger som er for bløte:

“Vi får bare 0,1% i retur. Innenfor SKB og annen betong med høy synk får vi nesten ikke returer i det hele tatt. Hvis det er noe så er det at betongen er for stiv. Stiv betong kan man jo også korrigere på byggeplass ved samtale med sjåføren. En kan jo også korrigere SKB, men det er jo mye verre.”

-Teknolog, betongprodusent (1)

Det er flere grunner til at entreprenørene velger å gå bort fra SKB, og ofte er det betongen som får skylden for dårlige resultater, men feil i utførelse antas også av noen å være en årsak. Det nevnes også at fagforeninger kan legge føringer som påvirker valg av betongtype.

“Vi har flere prosjektledere som har prøvd SKB med dårlige resultater, og det går konsekvent på separasjon. Det gjelder ikke bare SKB og det er en sak leverandører sliter med. Betongen de lager blir ofte for bløt.”

-Betongteknolog, entreprenør (2)

“Man hører mange rare historier om SKB og hvorfor folk går bort fra det. For mange er det ofte slik at de har fått gode resultater noen ganger, også er det en gang det går “åt skogen”. Og da kan det jo for eksempel være at entreprenøren har vibrert betongen. Det kan også komme av dårlig logistikk på levert betong eller at noen har glemt å bestille en bil til, slik at det blir opphold i støpingen, som kan føre til tydelige lagdelinger i støpeskjøter og masse støpereir. Man hører også om de som har støpt ut for fort og deretter får et støt på forma, slik at forskalingen ryker. Da blir det mye tungt arbeid med å stå og spa betong for hånd.”

-Leverandør av tilsetningsstoff

“På enkelte prosjekter er fagforeninger en direkte årsak til at det ikke brukes SKB. Dette fordi fagforeningene krever at støpelaget skal ha mer betalt pr. kubikk betong som støpes, i tillegg til at de ikke tillater nedbemanning ved bruk av SKB. Dette tar jo bort en av de viktigste fordelene med selvkomprimerende betong.”

-Betongteknolog, entreprenør (1)

Forskalingstrykk er blant annet avhengig av støpehastighet og dette er av interesse for entreprenøren. Slik kunnskap er viktig i forbindelse med best mulig utnyttelse av SKB, hvor fremdrift og effektivitet er viktig for valg av produkt. De ulike aktørene har en noe ulik oppfatning av hvem sitt ansvar det er å fremlegge slike tall.

“Jeg synes SKB er veldig fint og jeg er veldig positiv til å bruke det. Det eneste er at man må passe på støpetrykket, at man ikke kan støpe fullt opp med en gang, man må vente litt. Hvis det blir høye vegger på 5-6 meter så må vi støpe i etapper.”

-Formann, entreprenør (2)

“Hvor høyt og fort kan man støpe? Betongprodusentene har jo egne kalkulatorer avhengig av resepten sin, som brukes for å bestemme stige-hastigheten. De gjør det litt mer spesifikt enn oss, fordi de introduserer også temperatur på betongen, temperatur i lufta og hvilken resept og blanding det er. Det er det som avgjør hvor fort betongen begynner å herde og hvor fort man kan støpe.”

-Forskalingsleverandør

“Vi er jo ikke utførende og det er jo deres forskaling. Hvor mye forskalingen tåler, det vet ikke vi.”

-Teknolog, betongprodusent (2)

“Skal entreprenøren ha svar på maks støpehastighet, må man ha noen som gjør den beregningen, men hvem er det som leier inn konsulent for det? Det skjer jo ikke. Med bordforskaling blir det enda vanskeligere å regne ut forskalingstrykk.”

-Leverandør av tilsetningsstoff

Tilslagsleverandøren hevder at deres påvirkningskraft til å forbedre betongkvaliteten, utover det å levere velgraderte masser i god nok kvalitet, er begrenset.

“Det viktigste tilslagsprodusentene gjør er å sørge for jevn produksjon og at kvaliteten på det som leveres er lik og forutsigbar. Det oppnås ved å blande og blande, og passe på at det ikke separerer underveis.”

-Tilslagsleverandør

Standarden som den er i dag stiller ikke like høye krav til konsistens på SKB kontra vanlig betong. Det er derfor enklere og produsere SKB og det stilles spørsmål til om produsentene tyner reseptene for mye. Det nevnes hvertfall at det må strammes inn i alle ledd.

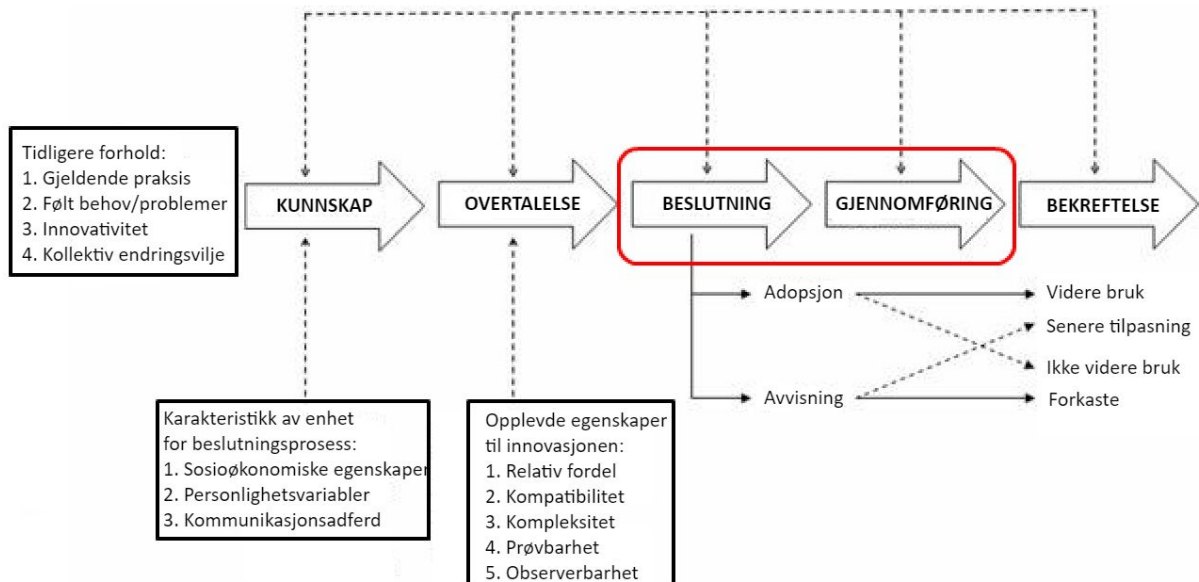
“Det er ikke noe vanskelig å holde seg innenfor kravene, standarden gjør det ganske enkelt for oss. Vi jobber for å ligge på bestilt mål. Hvis vi skulle skjerpet inn kravene i standarden, så måtte vi stramme inn kravene til våre leverandører også.”

-Teknolog, betongprodusent(2)

“Utbredelsesmålet er jo pluss minus 50mm og det er jo kanskje litt mye, det synes jeg kan strammes inn litt.”

-Formann, entreprenør(2)

5.1.7 SKB i lave temperaturer



Figur 5.7 Beslutningsprosessen tema 7 (Rogers, 2003, s. 170)

Bakgrunn for temaet:

Det er nevnt tidligere i rapporten at superplastiserende tilsetningsstoffer i SKB kan ha en retarderende effekt på temperatur- og fasthetsutvikling i tidlig fase. På bakgrunn av dette er det nødvendig å finne ut om dette påvirker entreprenørers valg av betongtype i vinterhalvåret. Det diskuteres generelle utfordringer med støping i lave temperaturer, med tanke på tidligfasthet og entreprenørers ønske om å rive forskaling så tidlig som mulig.

Oppsummering av svar:

Det er en bred enighet i bransjen om at bruken av SKB ikke blir påvirket av sesong. Noen få hevder at de opplever større utfordringer med SKB ved lave temperaturer enn med tradisjonell betong, men at dette ikke kan være til hinder for at arbeid utføres. Det blir nevnt flere mulige herdetiltak for støp i lave temperaturer, og de som går igjen er fying, isolering, varmere levert betong fra produsent og bruk av herdeakselerende tilsetningsstoff. I følge sitatene er det ikke like stort rom for å utsette støpearbeider, som følge av vær og vind, som det var tidligere. De tiltak som fattes til bruk av SKB om vinteren gjør seg like gjeldende for tradisjonell betong. SKBens herdeegenskaper i lave temperaturer blir av de fleste ikke ansett som avgjørende for avvisning av SKB.

“SKB er jo bra hvis det er mye jern og sånt, slik at man ikke får vibrert. Men med denne temperaturen som har vært nede på +6-7°C, så var SKB helt håpløst.”

-Formann, entreprenør (1)

“Det er ikke sånn det var for 25 år siden da betongarbeid foregikk på sommeren og vinterarbeidet var innomhus. Nå er det slik at det skal bygges uavhengig om prosjektene starter i oktober eller februar, så bruken av SKB er ikke avhengig av sesong. Det må vi bare løse.”

-Betongteknolog, entreprenør (2)

“Merker ikke så stor forskjell på bruken av SKB gjennom året.”

-Teknolog, betongprodusent (1)

“Det er noen som har erfaring med at SKB herder noe tregere enn vanlig betong ved lave temperaturer. Det gjør at man kanskje ikke kan rive klokken 7 om morgenen, men må vente til 12.00-13.00 på dagen. Likevel tror jeg det å bruke SKB er en besparelse.”

-Betongteknolog, entreprenør (1)

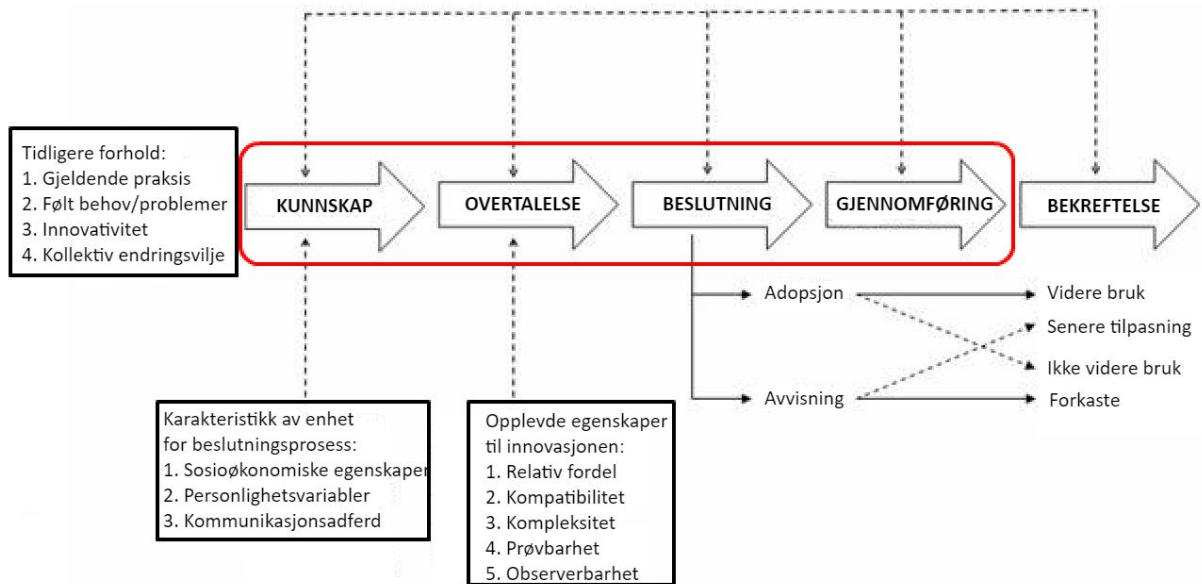
“Det er ikke noen større utfordring og bruke selvkomprimerende betong fremfor tradisjonell betong på vinterstøp, den største utfordringen på vinteren er egentlig å få fyrt og få det varmt nok.”

-Ingeniør, byggherre

“Kan hvertfall på en hånd, kanskje to fingre, telle antall ganger vi har utsatt støpen på grunn av været.”

-Prosjektleder, entreprenør (1)

5.1.8 Samarbeid i bransjen



Figur 5.8 Beslutningsprosessen tema 8 (Rogers, 2003, s. 170)

Bakgrunn for temaet:

Hensikten med temaet er å kartlegge i hvilken grad ulike aktører samarbeider med hverandre og utveksler erfaringer for å bedre utførelse og kvalitet, samt i hvilken grad kommunikasjon på tvers av fagfelt bidrar til videre utvikling av SKB.

Oppsummering av svar:

Samarbeid og kommunikasjon i betongbransjen går mellom få ledd og følger i stor grad betongens produksjonslinje fra delmaterialer til sluttbruker. Større entreprenører og produsenter opplever at kommunikasjonen dem imellom er bedre enn hos mindre aktører, og store aktører kan i større grad kreve tettere oppfølging. Kommunikasjon mellom entreprenør og produsent handler i hovedsak om tilpasning av betongresepter til ulike formål, samt oppfølging fra produsenten på byggeplass i starten av et prosjekt eller senere, ved forespørsel. Kommunikasjonen mellom betongprodusent og leverandører av delmaterialer forekommer ikke like ofte, og som regel bare ved utvikling av nye produkter eller når problemer har oppstått. Det hender at leverandør av tilsetningsstoff kommuniserer med utførende, men dette skjer stort sett bare med store entreprenører som har egne teknologer. Forskalingsleverandører samarbeider med entreprenør for å lage en forskalingsplan som på best mulig måte kan effektivisere støpearbeidene.

“Det at kommunikasjonen med blandeverket ble sentralisert og tilgangen til fagpersonell ble lagt om, er en av årsakene til at jeg har byttet leverandør på noen prosjekter.”

-Prosjektleder, entreprenør (1)

“Betongleverandøren er faktisk ganske flink til å følge opp på byggeplass, de er stadig ute å måler konsistens. Det er litt kjøpers marked her i Oslo-området.”

-Ingeniør, byggherre

“Vi snakker ikke så mye med kunden når alt er problemfritt, og når de vet hva de får til enhver tid er det ikke så veldig mye å snakke om, men vi har en god dialog og kjenner hverandre.”

-Tilslagsleverandør

“Vi er ofte ute hos kunde og har en person som er ute hver dag. Vi sender også teknologer ved behov.”

-Teknolog, betongprodusent (1)

Større kunder kan kreve mye tettere oppfølging fra leverandør enn mindre kunder.

“Vi er fornøyd med oppfølgingen fra produsent og vi får god service, vi krever det. Vi hjelper dem og de hjelper oss, så vi har et veldig godt samarbeid. De gir nok ikke den service til alle andre, når du leverer såpass mye betong pr. dag er det begrenset hvor mange av dem du kan følge opp.”

-Betongteknolog, entreprenør (2)

“Oppfølgingen fra produsent er god. De produserer inntil vi sier noe annet. Hvis vi klager eller trenger backup så er de fleste ihvertfall flinke til å høre, hvertfall til de store entreprenørene. Da kommer de ut eller har møter og ser på betongresepten og gjør noe justeringer.”

-Betongteknolog, entreprenør (1)

Forskalingsleverandøren kommuniserer vanligvis kun med de utførende, men ser potensielle fordeler ved å utvide kommunikasjonen til betongleverandører i tillegg.

“Vi har konsultasjon med kunden under leieperioden, men det kommer an på kompleksiteten, varighet av prosjektet og størrelse på bygget. Ved enklere leiligheter ringer de bare om de trenger mer utstyr eller retur. Veldig ofte handler det om det vi har tegnet ut og hvilke løsninger vi har planlagt. Kommunikasjon med kunde gjelder hovedsakelig dekkeforskaling.”

-Forskalingsleverandør

“Det kunne kanskje vært interessant for betongleverandører å ha mer kontakt forskalingsleverandører, for å tilpasse former som tåler høyere støpetrykk, som man får med SKB.”

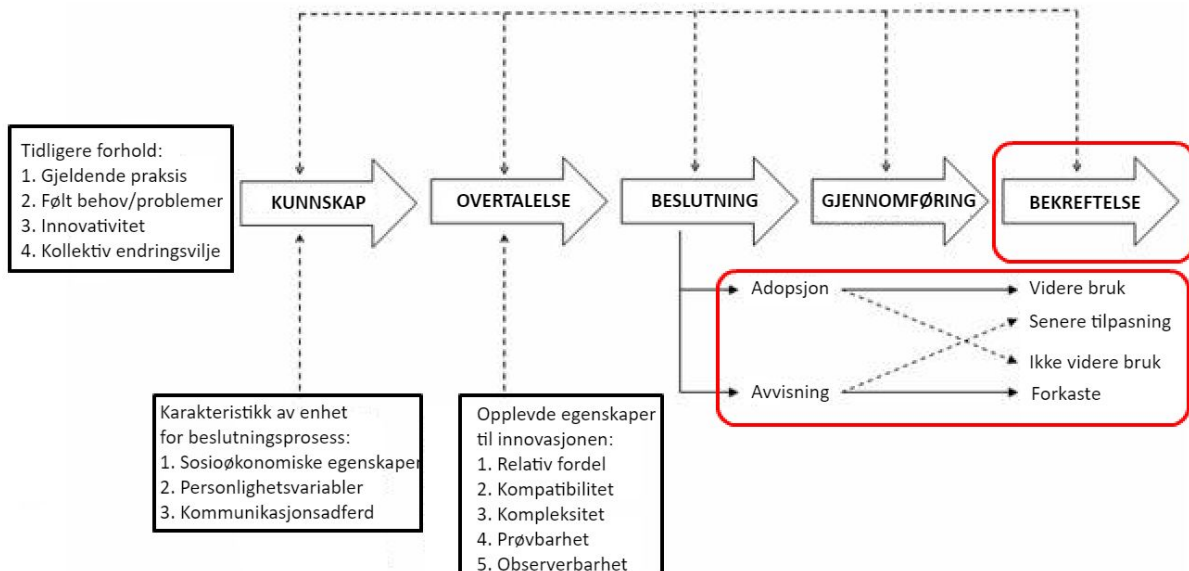
-Forskalingsleverandør

Det kommer frem av intervjuene at betongprodusenter kan ha stor påvirkningskraft når det kommer til entreprenørens valg av betongtype. Tilliten som utførende part har til leverandør gjør at de ofte lar seg påvirke. Dette gjelder hovedsakelig ikke de største entreprenørene, da de som oftest tar slike valg på egenhånd.

“Bruken av SKB avhenger selvfølgelig av hvilken følelse den som bestiller betongen har til produktet. Vi leverte SKB til en kunde som i utgangspunktet var veldig skeptiske. Vi overbeviste dem om at dette var et veldig bra produkt, og vi var der mye og tok prøver og fulgte opp sammen med kunden. De kunne ikke fatte hva de hadde fått levert tidligere. Dette endret inntrykket de hadde av SKB og de fant ut at det var gull verdt.”

-Teknolog, betongprodusent (2)

5.1.9 Fremtidsutsikter for SKB



Figur 5.9 Beslutningsprosessen tema 9 (Rogers, 2003, s. 170)

Bakgrunn for temaet:

Temaet omfatter intervjuobjektets tanker rundt fremtidig bruk av SKB, avhengig av dagens holdninger til produktet.

Oppsummering av svar:

De fleste som er intervjuet tror at SKB stadig vinner markedsandel og at bruken vil fortsette å øke i kommende år. Betongarbeidere foretrekker å bruke SKB, da dette gir mindre fysiske påkjenninger enn vibrert betong. Det nevnes av flere aktører at jevnere kvalitet er en forutsetning for at bruken skal øke og enkelte mener at utviklingen av betongresepter tilnærmer seg SKB i stadig økende grad. Noen tror at mindre differensiering mellom tradisjonell betong og SKB kan føre til at flere velger å prøve produktet. Flere poengterer at utviklingen av tilsetningsstoffer stagnerte på midten av 2000-tallet og at videre utvikling på dette feltet er avgjørende for økt bruk av SKB. Enkelte ønsker bedre materialkontroll og poengterer at bedre kontroll på fuktinnhold i tilslag kan hjelpe i stor grad.

“Jeg tror ikke det blir noe mindre av det, det tror jeg ikke. For at vi skal bruke det mer må den kanskje være mer stabil, vi har en del steinreir utpå der. Kanskje vi må ha bedre rutiner på å håndtere betongen, at vi er mer forberedt på det, det gjelder jo oss som entreprenør.”

-Formann, entreprenør(2)

“Vi må bære større sikkerhet på produktet. Det må også skje noe med mottakskontrollen på byggeplass.”

-Teknolog, betongprodusent (1)

“Nå har de tatt vekk de åpenbare barnesykdommene som var i begynnelsen i forhold til stabilitet og sånne ting, så det er ikke så gambling å bruke SKB lengre. Det er et stabilt produkt som er ganske robust. Så lenge det er det, så tror jeg folk er fornøyd med å bruke SKB.”

-Prosjektleder, entreprenør (1)

Basert på dagens holdninger er ikke alle like overbevist.

“Hvis du skal ha en vanlig vegg, og skal velge mellom SKB og vanlig betong, å det gikk på overflaten av den vegg, så tror jeg nok inntil videre at jeg ville valgt vanlig betong. Selv om hvis du hadde støpt helt riktig med SKBen hadde du helt sikkert fått veldig fin overflate. Det handler om trygghet til det som er.”

-Ingeniør, byggherre

Formenn får tilbakemeldinger fra arbeidere ute på byggeplassen. De er fornøyd og vil ikke bruke annet enn SKB, men deres påvirkningskraft på valg av betongtype er ikke alltid så stor.

“Gutta ute vil ikke bruke noe annet enn SKB. Det er helt vanlig her at vi bare bruker SKB, vi bestiller ikke noe annet, med mindre det er noe sprang som gjør at det blir mye jobb med forskalingen.”

-Formann, entreprenør (2)

“De som jobber ute er jo veldig innstilt på det, de syns det er veldig ålreit å bruke SKB. Men vi måtte sette stopper for det siden tørken ikke er god nok. Bortsett fra det har ikke jeg noe imot SKB.”

-Formann, entreprenør (1)

Alderen til intervjuobjektene påvirker holdningen til SKB som produkt, og har derfor større utfordringer med å få fotfeste hos disse. Flere kan fortelle at det har det vært en utvikling i synkmål gjennom tidene, nemlig økende. Vibrert betong blir bløtere og bløtere, noe som er en tilnærming til SKB.

“Jeg har erfaring fra 90-tallet med at det var synk på 160 til 200, og vi spekulerte jo litt på hvordan det skulle bli om de skulle ha så bløt betong som 220, for det var jo nesten suppe. Det var jo også helt andre tilsetningsstoffer på den tiden, så betongen var jo annerledes da enn den er nå på synk 220. Det blir bløtere og bløtere og det har litt med hva markedet ønsker. Før, da man skulle støpe et badegulv, så var det mannfolk av den gamle garden som skulle ha synk 140 og stable det og stå å pusse det ordentlig. De skulle gjøre en ordentlig jobb og få fall i alle retninger.”

-Teknolog, betongprodusent (2)

“Når man får inn flere yngre mennesker i bransjen, som er interessert i betong, så kan kanskje det føre til at bruken av SKB øker, men det er en veldig tung vei å gå, fordi man har med konservative krefter å gjøre. For mange trengs det ikke mer enn en dårlig opplevelse før man går tilbake til vanlig betong. Du må få med deg alle leddene. Det er veldig tungrodd, men det er alt i betongbransjen.”

-Leverandør av tilsetningsstoff

“Vi anbefaler ofte nye produkter, for det er noe som stadig er under utvikling”

-Leverandør av tilsetningsstoff

“Økt bruk av SKB i fremtiden avhenger av kompetanseheving og fokus på å produsere en mer stabil SKB, men selvfølgelig også av at entreprenøren blir flinkere på å gjennomføre mottakskontroll.”

-Betongteknolog, entreprenør(1)

“SKB vinner markedsandeler hele tiden, vi er med på å bestemme litt selv også. Hadde vi differensiert mindre mellom vibrert betong og selvkomprimerende, så hadde den fått større markedsandel.”

-Teknolog, betongprodusent (1)

“Vi trenger nye tilsetningsstoffer som gjør at det blir mer stabilt. Det er tilsetningsstoffer som har gjort at vi har kommet så langt vi har kommet, og det er videre forskning og utprøving som må til før vi har SKB som er stabil nok. Drømmen er å ha en perfekt sammensatt betong fra A-Å, men det blir så dyrt at det er ingen som har råd til å bruke den.”

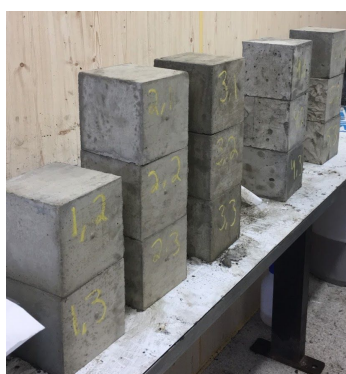
-Ingeniør, byggherre

5.2 Laboratorieforsøk

Det er utført flere forsøk på Unicon AS sine laboratorier, og resultater og teori ligger i sin helhet som vedlagte labrapporter (Vedlegg B og C). Sammendrag blir presentert i hovedrapporten.

5.2.1 Polykarboksylat-baserte SP-stoffers retarderende effekt på SKB

I henhold til laboratorieforsøk 1 kan det ikke påvises vesentlig forsinket fasthetsutvikling med SKB i forhold til tradisjonell betong, ved herdetemperatur på 5°C. Ved herdetemperatur på ca. 20°C viser det seg at SKB oppnår en noe lavere tidligfasthet enn den tradisjonelle betongen (se vedlegg B).



Figur 5.10 Prøvelegemer klare til trykktesting

5.2.2 Påvisning av separasjon i selvkomprimerende betong

I laboratorieforsøk 2 studeres effekten av separasjon i SKB. Resultatene viser at separasjon lett kan forekomme og at separasjon i SKB kan være litt vanskelig å oppdage ved visuell kontroll, om man ikke vet hvilke kjennetegn man skal se etter. Resultatene fra forsøket viser også hvordan separasjon i betong kan føre til inhomogen fordeling av tilslag (se vedlegg C). Figur 5.11 viser to av de trykktestede prøvelegemene. Ved trykktesting 24 timer etter utstøping (herdetemperatur på 20°C) har den separerte SKBen vesentlig lavere trykkfasthet enn den useparerte SKBen.



Figur 5.11 Trykktestede terninger, useparert betong til venstre og separert betong til høyre.

6 Diskusjon

Holdninger til en innovasjon er i stor grad styrt av subjektive evalueringer som formidles fra andre som har erfaring med innovasjonen. Personlighetsvariabler har stor betydning i forbindelse med dette ved at påvirkningskraften øker dersom personen som vurderer å ta i bruk innovasjonen kan identifisere seg selv med personen som har erfaring med innovasjonen. Det varierer hvem som tar beslutningen om hvilken betongtype som skal brukes, men dette er ofte opp til entreprenøren selv. Spørsmålet blir da hvilke holdninger beslutningstakerene hos entreprenøren har til SKB. Det hjelper trolig lite at teknologer hos betongprodusenter har god kjennskap til hva som er viktig ved fremstilling og bruk av selvkomprimerende betong, om beslutningstakerene hos entreprenøren ikke kan identifisere seg med teknologene. De største entreprenørene i Oslo forenkler kommunikasjonen med produsent ved å benytte egne betongteknologer. Med egne teknologer forenkler man også formidling av kunnskap og erfaringsoverføring internt i firmaet. Mindre entreprenører har ikke egne betongteknologer, og disse er derfor avhengige høyere kompetanse hos sine beslutningstakere, som kan være formenn, baser, prosjektledere osv. Innovasjonsbeslutninger på autoritært nivå, som ofte vil være tilfellet i byggebransjen, vil ikke føre til at SKB tar større markedsandel dersom beslutningstakeren ikke er innovativ og dermed avviser produktet.

Erfaringsoverføring bør ikke bare skje innad i firmaer. En kan sannsynligvis være tjent med at både gode og dårlige erfaringer i større grad deles i et felles nettverk for entreprenører, produsenter og andre relevante aktører. Slike nettverk eksisterer allerede, og Norsk Betongforening, FABEKO og lignende er gode eksempler på dette. I hvilken grad erfaring- og kunnskapsutveksling skjer i disse nettverkene er ikke nøye undersøkt. I en konkurrerende bransje er det trolig noe informasjon som forsettlig holdes tilbake.

Intervjuene i sin helhet gir et inntrykk av at det er en mangel av pådrivere og insentiver for å markedsføre produktet i større grad enn i dag. Dette kan skyldes at det ikke er noen konkrete personer eller bedrifter som har rettigheter til produktet. Motsetningen vil være produkter levert av en enkelt produsent som er helt avhengig av å promotere produktet for å kunne konkurrere med etablerte bedrifter som leverer lignende varer. Fordelene med SKB som er knyttet til utførelse, HMS og økonomi burde være motivasjon nok for entreprenører til å bruke mer SKB, og økt utsalgspris, med påfølgende fortjeneste, burde kunne være motivasjon nok for betongleverandører til å markedsføre produktet bedre. Likevel ser man at bruken av SKB i Norge ikke har økt mer enn ca. 1% de siste seks årene.

En kan ikke forvente at SKB noen gang skal kunne ta 100% markedsandel da produktet ikke er egnet til alle støpejobber, for eksempel glidestøp, men i henhold til fremtidsutsikter fra starten av 2000-tallet skulle bruken av SKB vært mye mer utbredt enn det den er i dag. Gjennom forskning og utprøving har SKB utviklet seg mye siden det kom på det norske markedet på slutten av 90-tallet, og det har i følge noen av respondentene blitt et bedre produkt enn det var tidligere. Likevel er det sannsynlig at produktet har et noe ufortjent dårlig rykte som henger igjen fra tiden da SKB var mindre pålitelig, og spredningen av dårlige erfaringer (word of mouth) kan ha hatt negativ effekt på potensielle brukeres inntrykk av SKB. Ved at enkelte aktører overvurderte kvalitetene til produktet da det ble introdusert på markedet, kan dette ha ført til mindre fokus på utførelse, som igjen kan ha påvirket resultatene og dermed hatt negativ innvirkning på inntrykket av SKB. I Oslo og omegn brukes SKB mye mer enn i resten av landet, og en betongleverandør forteller at SKB utgjør mellom 20-30% av totalt produsert betongvolum. Optimalt sett kunne sannsynligvis bruken ha vært enda høyere om årsaker til avvisning av produktet, som nevnes i denne rapporten, hadde blitt tatt hånd om.

Intervjuene viser at det er ganske stor usikkerhet knyttet til bruk av selvkomprimerende betong og egenskapene til produktet. Usikkerheten ligger hovedsakelig i hvordan betongen som leveres faktisk er i forhold til hva som er forventet, og dette har stor betydning for hvilke relative fordeler kundene forbinder med produktet. Det er mange i bransjen som har høy kompetanse på SKB, og denne kompetansen bør i større grad videreformidles til de som håndterer betongen på byggeplass. Av intervjuene fremkommer det at gode resultater forekommer oftere for de som har høyere kompetanse og lengre erfaring med SKB, og dette virker naturlig, da økt kunnskap kan være avgjørende for å forstå hva som gir produktet dets svakheter og hvordan man kan ta hensyn til dette på byggeplass. For de som ikke har erfaring, og heller ingen kilde til nødvendige forkunnskaper, kan det bli stor usikkerhet rundt bruk av SKB, hvilket kan føre til avvisning før produktet i det hele tatt er testet. Større kunder, som kjøper mer betong, får naturligvis bedre oppfølging fra produsent enn mindre kunder, og ved å ikke få oppfølgingen man trenger kan dette føre til økt usikkerhet rundt bruk av SKB.

I noen tilfeller avvises SKB på grunn av strenge føringer som fagforeninger pålegger entreprenøren. Føringene kan ta bort mange av de relative fordelene med produktet som at det blir lite gunstig å bruke SKB. Dette kan anses som tvungen avvisning. Føringene legges for å bedre arbeidsforholdene for arbeiderne, men grunnet manglende kompetanse om hvilke fordeler SKB kan gi for arbeiderne virker dette mot sin hensikt.

Det gjøres mye forskning på SKB internasjonalt, men mye av denne forskningen kan være vanskelig å relatere til praksis. Ofte er denne forskningen på PhD-nivå, hvor det forskes på veldig spesifikke problemstillinger, og det er sannsynlig at avstanden mellom denne forskningen og det som skjer på byggeplass er for stor til at informasjonen noen gang når frem til de som håndterer betongen.

I industri som er preget av masseproduksjon er det muligheter for optimalisering av ulike løsninger ved å bygge prototyper eller gjennomføre prøveprosjekter. Dette er ikke tilfellet i byggebransjen. Det er ikke tid til "prøvebygging" og derfor er prøvbarheten til byggematerialer ofte ikke så god. Derfor er det erfaringene som gjøres i hvert enkelt prosjekt som skaper kunnskapsgrunnlaget for videre arbeid. De fleste entreprenører har ikke anledning til å "eksperimentere" med byggematerialer de ikke anser som pålitelige, da dette skaper risiko.

Hvilken støpemetode som benyttes kan ofte være bestemt av logistikk på byggeplass. Hvis krankapasiteten er god tilsier det at tobb kan være et naturlig valg. I Publikasjon nr. 29 nevnes det at SKB kan separere i tobben grunnet risting og at det uansett må benyttes strømpe på tobben, slik at man kan redusere fallhøyden. Fallhøyden skal ikke overstige 0,5 m. og dette er umulig å unngå om man ikke bruker strømpe på tobben. Transport i renne eller på bånd øker faren for separasjon og er derfor ikke egnet til SKB. Mange anser pumpe som en bedre egnet støpemetode for SKB, da pumpe slangen kan føres ned til bunnen av forskalingen og heves suksessivt under fylling, slik at slangeenden er neddykket i betong hele tiden. På denne måten blir det ingen fallhøyde. Det står i Publikasjon nr. 29 at denne støpemetoden er den anbefalte og den mest utbredte, men dette samsvarer ikke med resultater fra intervjuene, hvor det fortelles at tobb brukes vel så ofte som pumpe. Det er imidlertid ti år siden publikasjonen sist ble revidert og det kan ha skjedd endringer siden den tid.

I tilfeller hvor det leveres mindre stabil SKB kan bruk av tobb ha vært en medvirkende årsak til separasjon som har ført til dårlige resultater. Ved at bruk av SKB legger strengere føringer for hvilke støpemetoder som bør benyttes, senkes produktets kompatibilitet. På en annen side fører pumping av betong med neddykket slange til økt forskalingstrykk. Konsekvensene av at en forskaling ryker kan være store, og faren for at dette kan skje kan sannsynligvis være en årsak til avvisning av SKB. Forskalingsleverandører kan vurdere å dimensjonere SKB-tilpassede forskalingssystemer som tåler høyere støpetrykk og dermed er bedre tilpasset SKB. Dette kunne kanskje ha ført til økt trygghet ved bruk av SKB, men om det ville vært økonomisk gunstig med "SKB-tilpasset forskaling" er et spørsmål som ikke er vurdert.

Gjennom arbeidet med denne rapporten har det ikke blitt undersøkt hvor mange som faktisk inkluderer Publikasjon nr. 29 som grunnlag for produksjon og håndtering av SKB, men det fremkommer av intervjuresultatene at det sannsynligvis er svært få. Dette kan være fordi de strengere kravene i publikasjonen ville gjort det vanskeligere å produsere og bruke SKB, noe som kunne hatt negativ effekt på aktørers holdninger til produktet. Men på sikt ville et strammere regelverk også kunne ført til jevnere kvalitet på levert betong og bedre resultater på ferdig arbeid. Kanskje ville dette også ført til at aktører kunne opplevd flere av fordelene som man angivelig skal kunne oppnå med SKB. Spesifikasjoner og krav til nye produkter inkluderes stadig i gjeldende standardverk, men dette går sannsynligvis for sakte i

enkelte tilfeller. Ved revidering av relevante standarder kan det vurderes om deler av Publikasjon nr. 29 skal inkluderes som regelverk for produksjon og håndtering av SKB.

Entreprenørene som er intervjuet presiserer at ustabilitet er den største utfordringen med SKB idag, og hevder at dette er hovedårsaken til dårlige resultater. Det kreves jevn kvalitet for at et produkt skal få fotfeste i et marked, og det er uenighet mellom produsenter og entreprenører om kvaliteten på betongen som leveres. Produsentene mener at de leverer jevn kvalitet, men mange av entreprenørene hevder at kvaliteten er for varierende. Produsentene leverer nesten alltid innenfor standardenes toleransekrav, men når disse kravene samtidig blir ansett som for vide, er det forståelig at entreprenører reagerer på varierende kvalitet. Noen av entreprenørene erkjenner samtidig at det i mindre grad utføres mottakskontroll. Ved å regelmessig utføre mottakskontroll av SKB, hvor det også utføres SU-mål, vil kvalitetsavvik mye lettere kunne oppdages. Det virker hensiktsmessig å sørge for at de som skal ta imot betongen får opplæring i testmetoder for SKB, da det kan være vanskelig å gjenkjenne separasjon ved SU-mål for et utrent øye. Dette er nærmere diskutert i Labrapport 1 (Vedlegg B). Det kan virke som at krav til fremdrift er årsaken til at mottakskontroll ofte utgår, men å støpe med separert SKB kan gi store konsekvenser som medfører kostbare reparasjoner. Sannsynligvis vil entreprenører ha utbytte av en strengere og mer regelmessig mottakskontroll. Ved å ikke gjennomføre denne kontrollen aksepterer man i prinsippet betong med avvikende kvalitet, og ved at betong sjeldent sendes i retur vil det aldri oppleves som viktig for produsent at kvaliteten må bedres.

I byggebransjen er det delte meninger om det faktisk er behov for SKB. Med markedsandel på 5,1% (2016) på landsbasis er det åpenbart at det er mulig å løse utfordringer på andre måter enn med SKB. Men ved å unnlate bruk av vibrator gir dette helsemessige gevinster for arbeidere og naboer, som ikke oppnås med tradisjonell betong. Et økt fokus på HMS tilsier derfor at det er et behov for SKB. Intervjuene viser at den viktigste fordelen som oppleves med SKB i Norge er at den er godt egnet i høye og tettarmerte konstruksjoner. Resultatene fra studien til Domone (2006) viser at 67% av de som bruker SKB anser nettopp denne fordelen som den viktigste, så dette gjelder ikke bare i den norske byggeindustrien.

Det blir nevnt i intervjuene at deler av betongbransjen i stor grad styres av konservative krefter og holdninger, som vanskeliggjør adopsjon av innovasjoner. Sannsynligvis kan veldig mange potensielle brukere av SKB falle under gruppen "sen majoritet", som i følge Diffusion of Innovations består av skeptikere som forutsetter at negative sider ved en innovasjon er utbedret før adopsjon skal kunne vurderes. Denne gruppen krever også motivasjon fra en større masse brukere (tidlig majoritet) for å ta i bruk innovasjonen, og i dag er ikke den tidligere majoriteten av brukere stor nok.

Resultatene fra labforsøk 1 viser at SKB ikke oppnår lavere tidligfasthet enn tradisjonell betong i lave herdetemperaturer, og det er grunn til å mistenke at de som hevder at dette forekommer, ikke har iverksatt tilstrekkelige herdetiltak for vinterstøp. I følge labforsøket ville utfallet på byggeplass blitt det samme med tradisjonell betong om herdetiltak ble neglisjert. Det skal nevnes at normale konstruksjoner på byggeplass utvikler mer varme i herdefasen enn terninger, med kantmål på 100mm, gjør i samme temperatur. Det vil i teorien føre til høyere tidligfasthet i konstruksjonen, men dette påvirkes også av ytre faktorer som for eksempel vind, og det er uavhengig av om det brukes SKB eller tradisjonell betong. Ved høyere herdetemperaturer viste labforsøket at SKB utviklet lavere tidligfasthet enn tradisjonell betong, og etter vurdering av mulige feilkilder kan det antas at dette skyldes retardasjon av SP-stoffet som er brukt. Dette samsvarer med forskningen til Felekoğlu og Sarikahya (2008). I praksis skal ikke forskjellen i tidligfasthet (med samme herdebetingelser) ha noen viktig betydning, da SKB hadde høy nok tidligfasthet til riving av forskaling, som forutsetter 5-6 MPa. Herdningsakselererende tilsetningsstoff, som virker på tilsvarende måte som stoffet som ble brukt i forsøkene, kan alltid brukes for å oppnå høyere tidligfasthet, gitt at herdebetingelsene er slik at betongen selv begynner å utvikle fasthet.

Labforsøk 2 viser at det kan være vanskelig å bedømme stabilitet i SKB ved SU-mål. Det nevnes i publikasjonen at det ikke eksisterer noen gode og enkle prøvemetoder for stabilitet som er egnet til praktisk bruk og godkjenningskontroll, men at kantbedømmelse ved SU-mål kan brukes til vurdering. Ved revidering av Publikasjon nr. 29 bør det vurderes om det skal nevnes at betongen kan være svært ustabil, selv om dette ikke er mulig å påvise ved kantbedømmelse, og at en bør studere mer enn bare utbredelsesfronten av betongkaken. De som skal ta imot SKB på byggeplass bør få grundig opplæring i in situ-vurdering av stabilitet. I tillegg viser forsøket hvor små endringer som skal til for at betongen blir ustabil. Standardens toleransekrav for betongsammensetning er muligens for vide for SKB, og det kan hende at disse kravene burde vært noe strammere.

7 Konklusjon

Ved å vurdere utbredelsen av SKB, i lys av Diffusion of Innovations, har det blitt avdekket at de relative fordelene som oppleves ved bruk av SKB ikke på langt nær er så mange som nevnt i artiklene fra litteraturstudien. I en bransje hvor økonomi og fremdrift er viktige faktorer, er det helt nødvendig å ha full kontroll på byggematerialers egenskaper i enhver situasjon, og entreprenører opplever at dette er vanskelig å oppnå med SKB. Det er mye mindre usikkerhet ved bruk av tradisjonell betong, da dens egenskaper oppleves som mindre varierende. At entreprenører anser tradisjonell betong som tryggere å bruke er den viktigste årsaken til at de fleste velger det, fremfor SKB.

Ved at mottakskontroll ikke gjennomføres på byggeplass kan det oppstå uheldige resultater når det leveres betong med avvikene kvalitet. Det burde stilles strengere krav til mottakskontroll av SKB og det er viktig at den som mottar betongen får grundig opplæring i aktuelle prøvemetoder for å vurdere betongens ferske egenskaper. SU-mål bør inngå i mottakskontrollen. Retur av betong som ikke har tilfredsstillende kvalitet vil påvirke effektiviteten på byggeplass, men det er nødvendig for å oppnå best mulig resultat av støpearbeidene.

Funn som er gjort gjennom arbeidet med rapporten indikerer at Publikasjon nr. 29 i større grad bør benyttes ved produksjon og utførelse, fordi dagens standarder ikke dekker temaet SKB på god nok måte, og ved å følge publikasjonens anbefalinger vil SKB bli et bedre produkt. Ved revidering av relevante standarder bør det vurderes om punkter fra Publikasjon nr. 29 kan legges til grunn for endringer. Det bør også vurderes om toleransekrav for delmaterialer kan strammes inn ytterligere, uten at SKB blir for vanskelig å produsere. Det presiseres at siste utgave av Publikasjon nr. 29 er fra 2007 og at innholdet kan være noe utdatert. Derfor bør også denne revideres.

Det er en mangel på formidlingslitteratur om SKB rettet mot de utførendes yrkesprofil. Dette er en medvirkende faktor til usikkerhet ved bruk av produktet.

At SKB er dyrere enn tradisjonell betong er ikke avgjørende for valg av betongtype. I Norge er arbeidskraft dyrere enn materialer og dette motiverer entreprenører til å velge SKB.

Vinter og lave temperaturer bør ikke være til hinder for bruk av SKB. Herdetiltak er nødvendig, uavhengig av om det brukes SKB eller tradisjonell betong.

Det anbefales at forskalingsleverandører og betongprodusenter i større grad samarbeider for å bedre kunne fastslå maksimal støpehastighet for ulike betongtyper, og med dette redusere risiko for entreprenører som er knyttet til forskalingstrykk.

For at SKB skal bli et bedre produkt er det viktig at alle relevante aktører samarbeider. Betongprodusenter, leverandører av delmaterialer og forskaling, samt utførende bør i større grad dele kunnskap og erfaringer med hverandre for å kunne forbedre SKB som produkt og i tillegg utvikle nye løsninger som tilrettelegger bedre for SKB. Innstramming av rutiner i alle deler av produksjonskjeden vil ha betydning for produktets pålitelighet, og slike tilpasninger kan resultere i at flere vurderer adopsjon av produktet. Det kan ikke forventes økt bruk av SKB i nevneverdig grad, om dette ikke gjennomføres.

Forslag til videre arbeid

Mulighetene for å utvikle en oversiktlig brukerveiledning for bruk av SKB, som supplement til mer dyptgående forskning, bør vurderes. En slik brukerveiledning bør kunne anvendes som et praktisk verktøy på byggeplass og den bør rettes mot de som praktiserer innen betongfaget og ikke bare ingeniører og teknologer, som Publikasjon nr. 29. Brukerveiledningen kan for eksempel utarbeides av Norsk Betongforening, som har medlemmer fra alle deler av betongbransjen. Hensikten må være å bedre de norske retningslinjene for bruk av SKB på et praktisk nivå. En slik brukerveiledning kan med fordel oversettes til flere språk for å lettere kunne brukes av arbeidere fra flere nasjonaliteter.

Som nevnt i Labrapport 1 kan det også være interessant å nærmere studere utvikling av tidligfasthet ved ulike sammensetninger av SKB. Dette er for flere et usikkerhetsmoment som man ville vært tjent med å ha bedre kontroll på.

Kildeliste

- Aalborg portland. (2003). TempSim - Nytt program til temperatursimulering. [brosjyre]
Aalborg: Aalborg portland. Hentet fra
http://www.aalborgportland.dk/media/nytfraap/nyt_fra_ap_2003_12.pdf
- Bouzoubaa, N., & Lachemi, M. (2001). *Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash: Preliminary results*. *Cement and Concrete Research*, 31(3), 413-420.
Hentet 19. Januar 2017 fra
https://www.researchgate.net/publication/222549774_Self-compacting_concrete_incorporating_high_volumes_of_class_F_fly_ash_Preliminary_results
- Bughin, J., Doogan, J., & Vetvik, O. J. (2010). *A new way to measure word-of-mouth marketing*. *McKinsey Quarterly*, 2, 113-116. Hentet 15. Mars 2017 fra
<http://www.mckinsey.com/business-functions/marketing-and-sales/our-insights/a-new-way-to-measure-word-of-mouth-marketing>
- Busterud, L., Fidjestøl, P., Fryndal, L., Hammer T. A., Kjellsen, K., Kyltveit, B.-P., ... Mathisen A. E., (2007) *Spesifikasjon og produktveiledning for selvkompimerende betong* (2. utg.). Oslo: Norsk betongforening
- Byggeindustrien. (2002). Når tar bruken av selvkompimerende betong av i Norge? Hentet 10. Januar 2017 fra
<http://www.bygg.no/article/1976>
- Colosseum. [Bilde] (udatert). Hentet fra
<https://las-7-maravillas-del-mundo.wikispaces.com/file/view/colizs9.jpg/201911306/489x317/colizs9.jpg>
- Charlett, D., Garland, R., & Marr, N. (1995). *How damaging is negative word of mouth*. *Marketing Bulletin*, 6(1), 42-50. Hentet 15. Mars 2017 fra
http://marketing-bulletin.massey.ac.nz/V6/MB_V6_N1_Charlett.pdf
- Dalland, O. (2012). *Metode og oppgaveskriving for studenter* (5. utg.). Oslo: Gyldendal akademisk.

- Davis Jr, F. D. (1986). *A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology). Hentet 6. Februar 2017 fra https://www.researchgate.net/profile/Fred_Davis2/publication/35465050_A_Technology_Acceptance_Model_for_Empirically_Testing_New_End-User_Information_Systems/links/0c960519fbaddf3ba7000000/A-Technology-Acceptance-Model-for-Empirically-Testing-New-End-User-Information-Systems.pdf
- Domone, P. L. (2006). *Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies*. *Cement and Concrete Composites*, 28(2), 197-208. Hentet 26. Januar fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946505001071>
- Encyclopædia Britannica. (Udatert). Joseph Monier. Hentet fra <https://www.britannica.com/biography/Joseph-Monier>
- Felekoğlu, B., & Sarıkahya, H. (2008). *Effect of chemical structure of polycarboxylate-based superplasticizers on workability retention of self-compacting concrete*. *Construction and Building Materials*, 22(9), 1972-1980. Hentet 20. Januar 2017 fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061807001857>
- Goodier, C. I. (2003). *Development of self-compacting concrete*. Hentet 02. Februar 2017 fra <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/9750>
- Kurve. [Bilde] (2017). Hentet fra <https://i1.wp.com/ondigitalmarketing.com/wp-content/uploads/2012/01/640px-Diffusionofideas.png>
- Legehåndboka. (2017) Hånd-arm vibrasjonssyndrom. Hentet fra <http://amv.legehandboka.no/handboken/kliniske-kapitler/arbeidsrelaterte-sykdommer/sykdommer-og-plager/hand-arm-vibrasjonssyndrom/>
- Maage, M. (Red.). (2015). *Betong - regelverk, teknologi og utførelse*. Oslo: Byggenæringens forlag
- Maage, M. (2016). "Modeller" til forklaring av delmateriale for betong, struktur, oppbygging og betongeigenskaper. I Helland, S., Maage M. & Bjøntegaard, Ø., *Praktisk betongteknologi for produksjons- og kontrollleder, formann/BAS - (U1)(Del 2)* Oslo: Norsk betongforening.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. (2012). *Verifisering av programmet TempSim*. Hentet fra <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/188785>

Norsk fabrikkbetongforening. (1999). *Selvkomprimerende betong: Revolusjoneres betongarbeidene?* Hentet fra http://fabeko.no/assets/Selvkomprimerende_betong.pdf

Norsk standard. (2014). NS-EN 206-9:2010. Hentet fra <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=436138>

Pantheon. [Bilde] (2011). Hentet fra <http://www.italy.dk/turisme/img-turisme/pantheon1.jpg>

P., Billberg 2003. *Form pressure Generated by self-compacting concrete* 3rd International Symposium on Self-compacting concrete (171-180). Hentet 16. Mars 2017 fra https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=5k8AD9IRw1gC&oi=fnd&pg=PA271&dq=self+compacting+concrete+pressure&ots=58XD5UH-NU&sig=JEhMokrilvgFqm2uaaUxun8uS7E&redir_esc=y#v=onepage&q=self%20compacting%20concrete%20pressure&f=false

PUMI. [Bilde]. (udatert). Hentet fra http://www.unicon.no/media/pumi_1_245.jpg

Pumpebil. [Bilde] (2011). Hentet fra http://langsveien.no/image.php?path=Galleri/3225/IMG_2560.JPG

Rescon Mapei. (2002). *Selvkomprimerende betong*. [brosjyre]. Oslo: Rescon Mapei. Hentet fra http://www.mapei.com/public/NO/linedocument/selvkomprimerende_betong_2002.pdf

Rajamohan, V., & Krishna, P. U. (2016). *Self Compacting Concrete*. Hentet 10. Januar 2017 fra <http://ijsetr.com/uploads/451632IJSETR8874-161.pdf>

Rich, D., Glass, J., Gibb, A. G., Goodier, C. I., & Sander, G. C. (2015). *Optimising construction with self-compacting concrete*. Hentet 10. Januar 2017 fra <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/19968/1/Dave%20Rich%20COMA%20paper-%20optimising%20SCC%202015.pdf>

Richins ML (1983). *Negative word-of-mouth by dissatisfied consumers: A pilot study*. Journal of Marketing, 47, 68-78. Hentet 17. Mars 2017 fra:

<https://pdfs.semanticscholar.org/777a/c03474934d0b593be90aa8f67ab391eafddd.pdf>

Rogers, E. M., (2003). *Diffusion of innovations* (5. utg.). New York: Free press

Smeplass, S., Skjølvsvik, O. & Mujica, H. (2015). *Mikroproporsjonering med fillere fra Velde: Effekt av fillersammensetning på matriksens flytmotstand*. Hentet 5. April 2017 fra

<https://www.sintefbok.no/book/download/1072>

Standard Norge. (2010). *Prøving av fersk betong*. Oslo: Standard Norge.

Standard Norge. (2010). *Tilleggsregler for selvkompimerende betong (SKB)*. Oslo: Standard Norge.

Standard Norge. (2010). *Utførelse av betongkonstruksjoner*. Oslo: Standard Norge.

Store norske leksikon. (2014). *Kvantitativ analyse*. Hentet fra:

https://snl.no/kvantitativ_analyse

SINTEF byggforsk. (2007). *Selvkompimerende betong - hvorfor leverer vi bare 2 % SKB i Norge?* Hentet fra

<http://www.sintef.no/publikasjoner/publikasjon/?pubid=sintef+s1948>

Tobb. [Bilde] (udatert). Hentet fra

<http://contex-products.com/wp-content/uploads/2015/08/magic-bucket-01.jpg>

Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). *Self-compacting concrete*. Journal of advanced concrete technology, 1(1), 5-15. Hentet 7. Februar 2017 fra

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jact/1/1/1_1_5/_pdf

Vedlegg

Innholdsfortegnelse for vedlegg

Figurliste til vedlegg	s. ii
Tabelliste til vedlegg	s. ii
Vedlegg A – Intervjuguide	s. iii
Vedlegg B – Labrapport 1	s. iv
Vedlegg C – Labrapport 2	s. xiii
Vedlegg D – Extended Abstract	s. xx
Kildeliste til vedlegg	s. xxiv

Figurliste for vedlegg

Figur 1. Diagram for trykkfasthet etter 24t	s. ix
Figur 2. Diagram for trykkfasthet etter 12 og 24 timer	s. ix
Figur 3 a) og b). Temperaturutviklingen, tykkelse 100mm (a) og 200mm(b) (TempSim)	s. xi
Figur 4. Temperaturfordeling gjennom terning og vegg	s. xi
Figur 5 a), b) og c). Ustabil, stabil og meget stabil SKB	s. xiv
Figur 6. Synkutbredelse for stabil/meget stabil SKB	s. xvi
Figur 7. Synkutbredelse ustabil SKB	s. xvi
Figur 8. Prøveuttak i trillebår	s.xvii
Figur 9. Frilagt overflate	s. xviii
Figur 10. Forstørret frilagt overflate	s. xviii

Tabelliste for vedlegg

1. Trykkfasthet (MPa), Forsøk 1	s. vii
2. Trykkfasthet (MPa), Forsøk 1	s. vii
3. Trykkfasthet (MPa), Forsøk 1	s. viii
4. Mottakskontroll, Forsøk 1	s. viii
5. Kontrollhyppighet og -omfang av SKB	s. xiii
6. Bestilte og mottatte verdier, Forsøk 2	s. xv
7. Trykkfasthet (MPa), Forsøk 2	s. xvii

Intervjuguide

I forkant av alle intervjuene ble intervjuobjektets rolle i firmaet avklart. Det ble lagt vekt på å være faglig forberedt til intervjuene for å øke utbyttet og kunne stille gode, faglig relevante og spontane spørsmål underveis i intervjuet.

Det ble forberedt spørsmål til alle intervjuene som var tilpasset respondentenes rolle i betongbransjen. Følgende temaer ble diskutert:

- 1. Fordelingen av tradisjonell betong kontra selvkomprimerende betong**
- 2. Bruk av SKB i ulike konstruksjonsdeler**
- 3. Opplevde verdier ved bruk av SKB**
- 4. Behovet for SKB**
- 5. Kontroll og håndtering av SKB**
- 6. Kvalitet og utfordringer med SKB**
- 7. SKB i lave temperaturer**
- 8. Samarbeid i bransjen**
- 9. Fremtidsutsikter for SKB**

Labrapport 1

Polykarboksylat-baserte SP-stoffers retarderende effekt på SKB

Formål

Unicon AS har fått tilbakemeldinger fra kunder på at tidligfastheten i SKB ikke er så høy som forventet. Dette kan spesielt kan gi utfordringer ved lave herdetemperaturer og kan være viktig for valg av betongtype, da effektivitet krever at forskaling må rives relativt tidlig. Det er anbefalt at en ikke river forskaling før betongen har oppnådd en fasthet på minst 5-6 MPa. Det antas at eventuell retardasjon skyldes høye doseringer av SP-stoff.

Formålet med forsøket er å undersøke om det er mulig å påvise betydelig retardasjon i SKB i forhold til i tradisjonell betong av tilsvarende kvalitet. I tillegg skal effekten av herdningsakselererende tilsetningsstoff i SKB undersøkes, da tilsetning av dette kan brukes for å kompensere for retardert fasthetsutvikling.

Teori

Felekoğlu og Sarıkahya (2008) forteller i sin artikkel at 4. generasjons (polykarboksylat-baserte) SP-stoffer kan ha en retarderende virkning på betongens fasthetsutvikling. En av tilsetningsstoffleverandørene, som har blitt kontaktet i forbindelse med oppgaven, kan bekrefte dette, og forteller at det gjelder i økende grad ved økte doseringer. Lave temperaturer vil ikke bare kjøle ned betongen, men også forlenge åpningstiden til SP-stoffer, og dermed forsinke fasthetsutviklingen ytterligere. Det akselererende tilsetningsstoffet som er brukt i dette forsøket virker ikke ved å akselerere hydratasjonen, men ved å "bygge broer" mellom krystallene som dannes ved hydratasjon av sementpartikler, slik at fastheten kommer tidligere. Visse forutsetninger må altså ligge til rette for at tilsetningsstoffet skal virke (M. Haxton, personlig kommunikasjon, 28. April 2017).

Hypotese

Det antas at betongens tidligfasthet vil være noe lavere i SKB enn i vibrert betong, uavhengig av herdetemperatur. Det bør være mulig å kompensere for denne retardasjonen ved å bruke ulike doseringer av herdningsakselererende tilsetningsstoff.

Produktinformasjon

- Selvkomprimerende betong, B35 M40, bestilt SU 650 mm.
- Tradisjonell betong, B35 M40, bestilt synk 220 mm.
- Akselererende tilsetningsstoff av typen Master X-Seed 100 (BASF)
- Stålformer til støping av prøvelegemer
- SP-stoff av typen MasterGlenium SKY 601 og MasterGlenium SKY 615 (BASF) (Begge brukes i resepten).
- TempSim - Temperatursimuleringsprogram levert av Aalborg Portland

Eksperimentet

Denne testen ble utført to ganger ved ulike temperaturer. Den andre gangen testen ble gjennomført ble det samlet noe mer data enn første gang, da det ble oppdaget at flere parametere kunne spille inn på resultatene. Testene ble utført på to ulike betongstasjoner grunnet kapasitet og logistikk.

Test 1 - Vestby

Det ble bestilt 2m³ med SKB fra blandeverket som ble kjørt til Unicons laboratorium på Vestby hvor det ble tatt ut en prøve fra bilen som ble brukt til å støpe prøvelegemer i triple stålformer. Prosedyren ble gjentatt tre ganger, men da med tilsetning av hhv. 4l/m³, 8l/m³ og 12l/m³, av det herdningsakselererende stoffet Master X-Seed 100. Det ble testet synkutbredelse på alle lass, dette med noe varierende resultater, på grunn av naturlige fuktvariasjoner i tilslaget. Tall for målt fuktinnhold ble justert av blandeoperatør underveis og dette kan ha påvirket resultatene for blandingen med 8 kg X-Seed og blandingen med tradisjonell betong. Alle prøvelegemer ble lagret i romtemperatur, 20°C (±2°C). Tidligfasthet ble bestemt ved trykktesting etter 24 timer.

Test 2 - Sjursøya

Testen ble utført på tilsvarende måte som Test 1, med denne gangen ble det støpt ytterligere 2 terninger fra hver blanding for trykktesting etter 12 timer. Det ble også tatt prøver av luftinnhold i betongen. I denne testen ble alle prøvelegemer lagret i termostatstyrt herdeskap som holdt 5°C (±2°C). Etter 12 timer ble to terninger fra hver blanding trykktestet, og etter 24 timer ble resten av terningene trykktestet.

Merknad:

Forsøket ble gjennomført totalt tre ganger, men resultatene fra det første forsøket ble forkastet, grunnet svært varierende temperatur i rommet hvor terningene herdet.

Feilkilder

Test 1:

- Underveis i testen ble fuktinnhold i tilslaget endret av blandeoperatøren, noe som i større eller mindre grad kan ha gjort utslag på betongens v/c-tall og dermed konsistens og trykkfasthet.
- Naturlige variasjoner i tilslag.
- Det ble kun utført trykktesting etter 24 timer.

Test 2:

- Naturlige variasjoner i tilslag
- Ved 5°C vil prøvelegemenes lave volum hindre at det blir noen merkbar økning i kjernetemperatur gjennom herdeperioden, og temperaturen i kjernen forblir 5°C. I massive konstruksjoner vil ikke omgivelsestemperatur på 5°C være noe stort problem når hydratiseringen først har startet, for kjernetemperaturen vil kunne øke. (Selvsagt avhengig av herdetiltak, som f.eks. tildekking.)
- Referansebetong ble først støpt med Standard FA, og SKB med Rapid Aalborg sement. Det ble derfor støpt ut ny referansebetong med Rapid Aalborg sement for å få en referanse med likere forutsetninger. Norcem Standard FA har lavere finhet enn Rapid Aalborg, dette gir mindre varmeutvikling, som igjen påvirker tidligfastheten.

Resultater

Test 1:

Tabell 1. Tabellen viser trykkfasthet (MPa) i terninger målt 24 timer etter støping ved konstant herdetemperatur på 20 °C ($\pm 2^\circ\text{C}$)

* Betong som er blandet før justering av målt fuktinnhold i tilslag

Betong, dosering av X-seed	Terning 1	Terning 2	Terning 3	Snitt
Referansebetong, 0 kg/m ³ *	11,37*	11,15*	11,29*	11,27*
SKB, 0 kg/m ³	7,37	7,08	7,46	7,3
SKB, 4 kg/m ³	11,28	12,02	11,38	11,56
SKB, 8 kg/m ³ *	10,58*	10,63*	10,66*	10,63*
SKB, 12 kg/m ³	12,36	12,11	12,08	12,18

Test 2:

Tabell 2. Tabellen viser trykkfasthet (MPa) i terninger målt 12 timer etter støping ved konstant herdetemperatur på 5°C ($\pm 2^\circ\text{C}$).

** Referansebetong støpt ut med Rapid Aalborg sement

Betong, dosering av X-seed	Terning 1	Terning 2	Snitt
Referansebetong, 0 kg/m ³	0,03	0,01	0,02
SKB, 0 kg/m ³	0,15	0,17	0,16
SKB, 4 kg/m ³	0,35	0,37	0,36
SKB, 8 kg/m ³	0,62	0,71	0,67
SKB, 12 kg/m ³	0,96	1,06	1,01
Referansebetong, 0 kg/m ³ **	0,12**	0,14**	0,13**

Tabell 3. Tabellen viser trykkfasthet i MPa i terninger målt 24 timer etter støping ved konstant herdetemperatur på 5°C (± 2°C).

** Referansebetong støpt ut med Rapid Aalborg sement

Betong, dosering av X-seed	Terning 1	Terning 2	Terning 3	Snitt
Referansebetong, 0 kg/m ³	0,63	0,57	0,55	0,58
SKB, 0 kg/m ³	1,19	1,22	1,15	1,19
SKB, 4 kg/m ³	1,81	1,89	1,84	1,85
SKB, 8 kg/m ³	2,64	2,47	2,50	2,54
SKB, 12 kg/m ³	3,44	3,45	3,43	3,44
Referansebetong, 0 kg/m ³ **	1,40**	0,90**	1,12**	1,14**

Resultater fra mottakskontroll

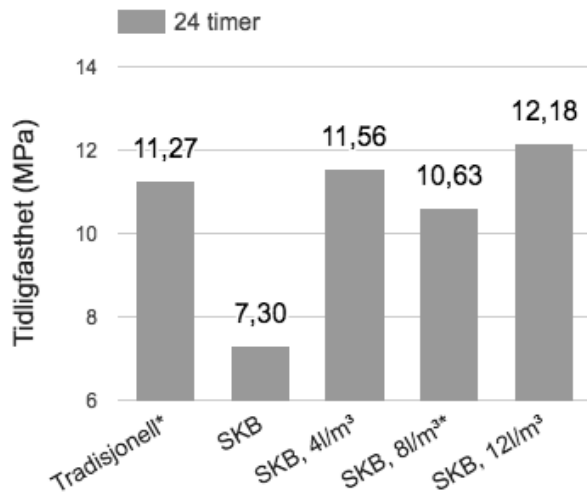
Tabell 4. Tabellen viser målte verdier av fersk betong ved mottak på laboratoriet.

* Betong som er blandet før justering av målt fuktinnhold i tilslag

** Betong støpt ut med Rapid Aalborg sement

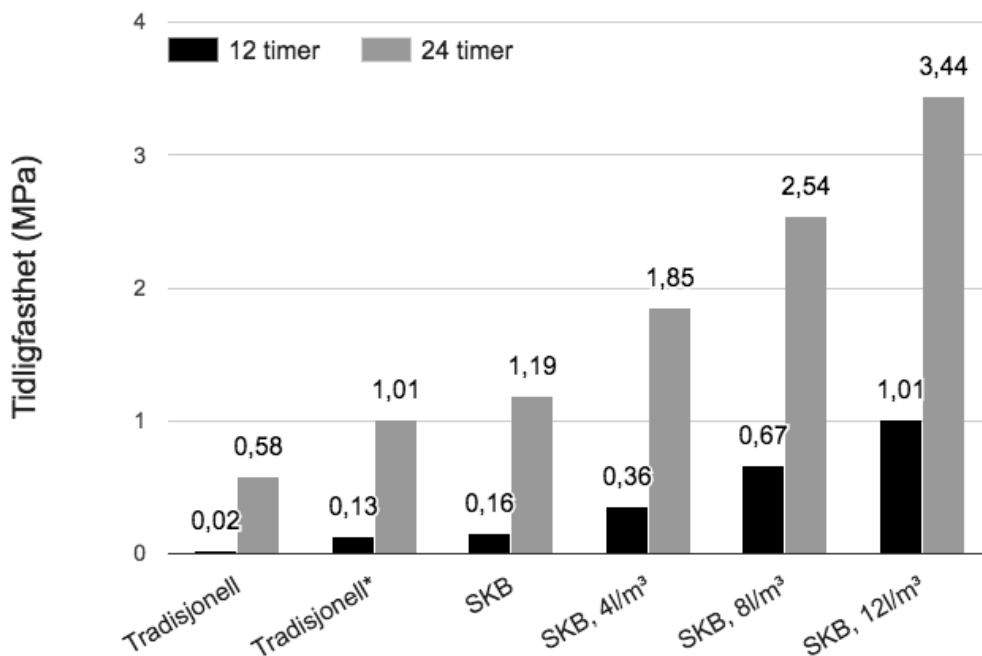
Betongtype	SU/Synk (mm) (Test 1)	SU/Synk (mm) (Test 2)	Temperatur °C (Test 2)	Luftinnhold % (Test 2)
Referansebetong, 0 kg/m ³	240*	240	20	1,7
SKB, 0 kg/m ³	610	570	20	1,4
SKB, 4 kg/m ³	630	640	17	1,2
SKB, 8 kg/m ³	670*	620	18	2,4
SKB, 12 kg/m ³	640	640	17	1,5
Referansebetong, 0 kg/m ³ **	-	220**	16**	2,9**

Mottakskontroll ble utført i henhold til:
 NS-EN 12350-2:2009 (Synkmål)
 NS-EN 12350-7:2009 (Luftinnhold)
 NS-EN 12350-8:2010 (Synkutbredelse)
 NS-EN 12390-2:2009 (Prøvetaking)
 NS-EN 12390-3:2009 (Trykkfasthet)



Figur 1. (Test 1) Diagrammet viser trykkfasthet etter 24t. (Herdetemperatur 20°C (± 2°C))

* Betong som er blandet før justering av målt fukt



Figur 2. (Test 2) Diagrammet viser trykkfasthet etter 12 og 24 timer.

(Herdetemperatur 5°C (± 2°C))

* Trykktestet referansebetong med Rapid Aalborg semen

Diskusjon

Herdetemperatur på 20°C:

Resultatene viser at SKB uten akselererende tilsetningsstoff har betydelig lavere fasthet enn tradisjonell betong av tilsvarende kvalitet. Likevel har begge betongene utviklet mer enn nok fasthet for riving av forskaling etter 24 timer, så dette burde ikke være noe problem, med mindre man ønsker å rive mye tidligere. Eventuelt er det mulig å kompensere for den lavere fasthetsutviklingen ved tilsetning av ca. 4 liter Master X-Seed 100 og dermed oppnå omtrent samme tidligfasthet som med tradisjonell betong.

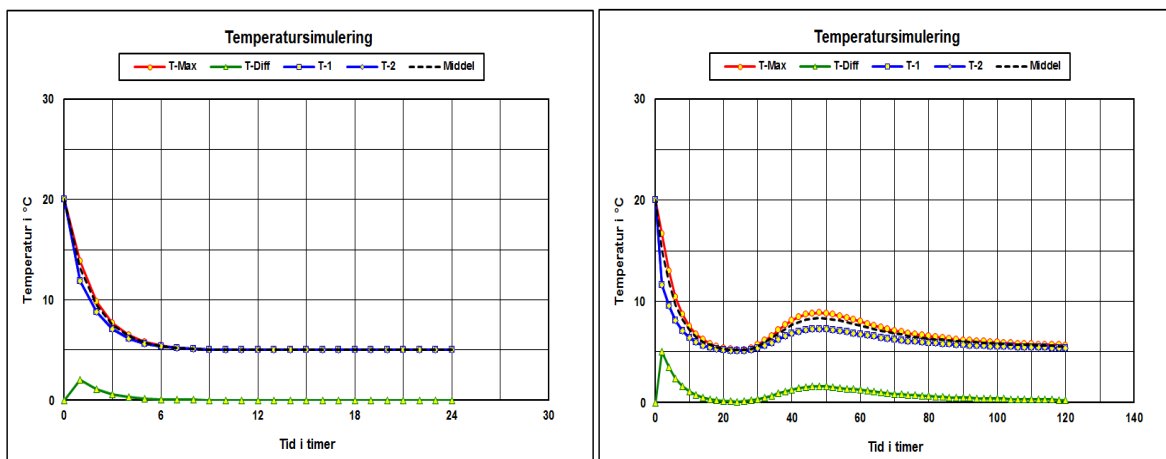
Herdetemperatur på 5°C:

Resultatene viser at tradisjonell betong (med Rapid Aalborg sement) omtrent hadde samme tidligfasthet som SKB uten akselererende tilsetningsstoff. Dette stemmer ikke med hypotesen, men en forklaring kan være at temperaturen på referansebetongen var litt lavere enn SKB ved utstøping av prøvelegemer. Dette forsøket viser at begge typer betong hadde altfor lav tidligfasthet til at forskaling kunne blitt revet på byggeplass, og at gode herdetiltak vil være like viktig for begge betongtypene.

SKB fikk økt fasthet av økende mengde Master X-Seed 100, men selv ved høy dosering (12l/m³) ble ikke fastheten høy nok for riving av forskaling.

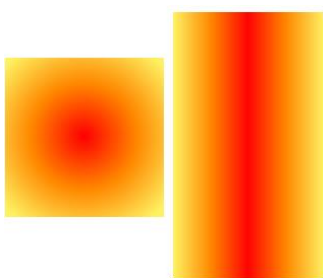
I lave temperaturer er det sannsynligvis lite hensiktsmessig å utføre tester på små terninger (100x100x100mm), for det er en nokså dårlig tilnærming til virkeligheten, da det vil være en helt annen temperatur- og fasthetsutvikling i mer massive konstruksjoner. Resultatene kunne kanskje vært mer interessante om forsøket hadde blitt gjennomført med tilsetningsstoff som heller virket ved å aktiverte den kjemiske prosessen. Evt. med en kombinasjon av aktivator og X-Seed.

Av resultatene ser det ut til at den retarderende effekten ved høye doseringer av SP-stoff er større ved 20°C. Det kan virke som at retardasjon på grunn av lav temperatur er så dominerende at SP-stoffets retarderende effekt blir liten i forhold.



Figur 3 a) og b) Viser temperaturutviklingen i vegger med tykkelse 100mm (a) og 200mm(b). (Samme type betong i omgivelsestemperatur på 5°C) (TempSim)

Figurene over viser at betongen i vegg med tykkelse på 100mm kjøles ned og temperaturen forblir 5°C. Dette vil føre til veldig langsom fasthetsutvikling. Terninger med kantmål på 100mm vil i praksis kjøles ned enda fortere enn vist i figur 3, fordi kjernen har flere eksponerte sider enn en vegg, som vist i figuren under.



Figur 4. Viser temperaturfordeling gjennom en terning og en vegg.

Det ville vært mulig å få mer nøyaktige resultater om betongen hadde blitt blandet i liten skala på laboratoriet, for da ville det i større grad vært mulig å eliminere feilkilder, som for eksempel fuktvariasjoner i tilslaget og eventuelle feil i oppveide mengder av ulike delmaterialer. Sistnevnte er dog ikke en vanlig feil hos Unicon på Sjursøya, da vektene kalibreres regelmessig og er svært nøyaktige. Tester ble likevel utført med betong fra blandeverket, da dette er en bedre tilnærming til vanlig praksis. Testene kunne med fordel vært gjennomført med prøvelegemer med større volum, f.eks 150x150x150mm, da disse vil avkjøles saktere og få høyere fasthet. Det burde også brukes plastformer, fordi høy varmeledning i stålformer fører til raskere avkjøling av betongen.

Konklusjon

Høye doseringer av SP-stoff har retarderende virkning på fasthetsutvikling i betong ved normale temperaturer. Ved lave temperaturer (kjernetemperatur ned mot 5°C) vil ikke SP-stoffets retarderende effekt være særlig tydelig, da den lave omgivelsestemperaturen selv vil føre til stor grad av retardasjon. I omgivelsestemperatur på 5°C vil den lave massen til

prøvelegemene (100x100x100mm) raskt kjøles ned og fasthetsutviklingen vil gå svært langsomt. I tillegg vil åpningstiden til SP-stoffet forlenges ved lave temperaturer og forsinke fasthetsutviklingen ytterligere. Master X-Seed 100 er avhengig av at hydratisering av sementpartikler setter i gang for å ha noen effekt. Derfor vil ikke tilsetning av dette stoffet kunne være godt nok som eneste herdetiltak når betongtemperaturen er lav. Likevel har stoffet svært positiv effekt, sammen med andre tiltak som legger til rette de riktige forutsetningene for at stoffet skal fungere. Med økende mengde tilsatt Master X-Seed 100 får betongen en økende fasthetsutvikling.

Forslag til videre forskning

Det hadde vært interessant å la betongen herde på flere ulike herdetemperaturer mellom 5°C og 20°C. Det kan også være interessant å gjennomføre et tilsvarende forsøk og kartlegge temperatur- og fasthetsutvikling hver time gjennom et helt døgn etter utstøping av terninger, ved ulike herdetemperaturer. Eventuelt kan det også eksperimenteres med bruk av tilsetningsstoff som akselererer hydratasjonen i tillegg.

Sjursøya, Oslo 29/03/2017



Mats Fjærestrand



Simen M. D. Hjelseth



Øyvind Fremmergård

Labrapport 2

Påvisning av separasjon i selvkompimerende betong

Formål

Mange hevder at SKB er ømfintlig for variasjoner i tilsatte delmaterialer, og at dette gjør den mer utsatt for separasjon enn vanlig betong. I dette forsøket skal det derfor påvises separasjon i SKB. Separert betong kan gi utfordringer som propp i pumperør, dårlig frostbestandighet, steinreir og høy permeabilitet. Utfordringene kan i tillegg kreve kostbare etterarbeider. Dette forsøket gjennomføres for å vise hvordan herdet, separert SKB ser ut under overflaten. I tillegg viser forsøket hvor lite som skal til for at SKB separeres i noen tilfeller. Samtidig skal det undersøkes hvor store konsekvensene av separasjon kan være for betongens fasthet.

Teori

Enkelte fagpersoner hevder at en av årsakene til at noen entreprenører har dårlig erfaringer med SKB kan skyldes at de ikke har tilstrekkelig kompetanse til å gjenkjenne separert SKB i en visuell mottakskontroll, og derfor bruker betong som heller burde vært returnert til betongleverandør. Det kan være vanskeligere å gjenkjenne separasjon i SKB enn vanlig betong, grunnet at SKB har høyere flyt i utgangspunktet. I følge Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 29 skal entreprenøren utføre mottakskontroll som minimum skal omfatte visuell kontroll og prøving av konsistens. Ved utbredelsesmål kan det utføres kantbedømmelse for å identifisere eventuell separasjon (Busterud et. al., 2007, s. 6).

Tabell 5 viser hvilke kontroller som må gjennomføres i ulike ledd ifølge Publikasjon nr. 29.

Tabell 5. Kontrollhyppighet og -omfang av SKB (Busterud et. al., 2007, s. 6)

Type kontroll	Spesifisert undersøkelse	Minimums hyppighet	Minimums omfang
Deklarasjon	<u>Minimum:</u> - konsistens (SU) - stabilitet (T_{500})	Ved alle større endringer av: - betongsammensetning, - produksjonsforhold, - utstyr	Minst tre uavhengige prøveuttak
	<u>Tillegg:</u> - blokkering (SU_j)		
Produksjonskontroll	<u>Minimum:</u> - konsistens (SU)	- ved oppstart av leveranse - periodisk hver 50 m ³ produsert betong - om visuell kontroll indikerer avvik	Ett prøveuttak
	<u>Tillegg:</u> - stabilitet (T_{500}) og/eller - blokkering (SU_j)		
Mottakskontroll	<u>Minimum:</u> - visuell kontroll - konsistens (SU)	- ved oppstart av leveranse - periodisk hver 50 m ³ produsert betong - om visuell kontroll indikerer avvik	Ett prøveuttak
	<u>Tillegg:</u> - stabilitet (T_{500}), gjelder kun for T2		

I Publikasjon nr. 29 finnes bilder av SKB med varierende stabilitet:



Figur 5 a), b) og c). Ustabil (a), stabil (b) og meget stabil (c) SKB, målt med utbredelsesmetoden. Viser hvordan man kan vurdere stabilitet ved kantbedømmelse. (Busterud et. al., 2007, s. 9)

Man kan tydelig se at pastaen ikke klarer å holde på tilslaget og at det blir en rand med væske i utbredelsesfronten, slik som vist i figur 5a, dette et tydelig tegn på separasjon.

Hypotese

I separert SKB vil tilslaget fordele seg slik at grove partikler er overrepresentert i bunnen av forskalingen, og i toppen vil det hovedsakelig bare være finstoff og små partikler.

Trykkfastheten vil være lavere i delen som inneholder lite grove partikler.

Produktinformasjon

- Selvkomprimerende betong, B35 M40, bestilt SU 650 mm.
- Akselererende tilsetningsstoff av typen Master X-Seed 100 fra BASF
- SP-stoff av typen MasterGlenium SKY 601 og MasterGlenium SKY 615 (BASF) (Begge brukes i resepten).
- Retarderende tilsetningsstoff av typen Rugasol AS 200 fra SIKA.

Eksperimentet

Det ble støpt en vegg i to horisontale lag. I det nederste laget ble det støpt med stabil SKB, og senere ble resten av formen fylt opp med en separert SKB. Andre lag ble støpt ut 90 minutter etter første lag, for at første lag skulle utvikle noe fasthet slik at lagene ikke ble blandet.

Det ble støpt prøvelegemer til trykktesting av begge lassene. Utbredelsesmål ble kontrollert i forkant av hver støp og det ble gjort vurdering av betongens stabilitet. På sett-siden av forskalingen ble det påført et lag med retarderende tilsetningsstoff, som gjorde at det ikke ble utviklet nevneverdig fasthet i betongoverflaten som kom i kontakt med dette. Lukkesiden ble satt inn med formolje. Forskalingen ble revet etter 48 timer og den retarderte sementpastaen ble spylt bort med høytrykkspyler.

Frileggingen av overflaten ble gjort for å sammenligne hvordan tilslaget fordelte seg gjennom betongveggen ved støping med stabil og ustabil betong.

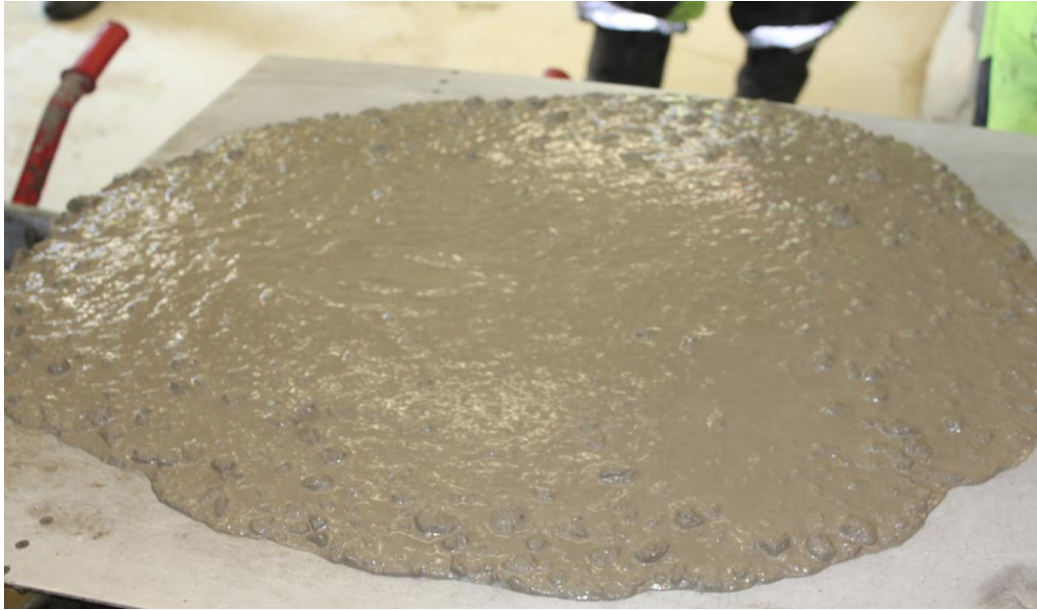
Resultater

Tabell 6. Tabellen viser informasjon om bestilte og mottatte verdier.

Mengde bestilt:	2 m ³
Fasthetsklasse:	B35
Bestandighetsklasse:	M45
Tilsatt mengde herdingsaksellerende tilsetningsstoff:	6 liter/m ³
Bestilt utbredningsmål:	650mm
Målt utbredningsmål:	660mm
Tilsetning av SP-stoff for å fremprovosere separasjon	1,5 liter
Målt utbredningsmål etter tilsetning av SP-stoff	740mm



Figur 6. Bildet viser synkutbredelse for stabil/meget stabil SKB.



Figur 7. Bildet viser synkutbredelse for ustabil SKB.



Figur 8. Bildet viser prøveuttak i trillebår.

Ved å måle med meterstokk ble det oppdaget at det ikke fantes grove partikler i de øverste 6 cm av den ferske betongen, og dette er et tydelig tegn på separasjon.

Fagkyndig personell fra produsent og entreprenør som var tilstede bekreftet at dette var betong som helt tydelig var separert, men som fremdeles kunne ha blitt godkjent ved en mottakskontroll.

Trykktesting av terninger av stabil og ustabil betong etter 24 timer

Tabell 7. Tabellen viser trykkfasthet (MPa) i prøvelegemer målt 24 timer etter utstøping. Herdetemperatur: 20 °C ($\pm 2^\circ\text{C}$).

	Terning 1	Terning 2	Terning 3	Snitt
Stabil betong	8,04	7,73	8,55	8,10
Ustabil betong	3,92	3,61	3,68	3,74

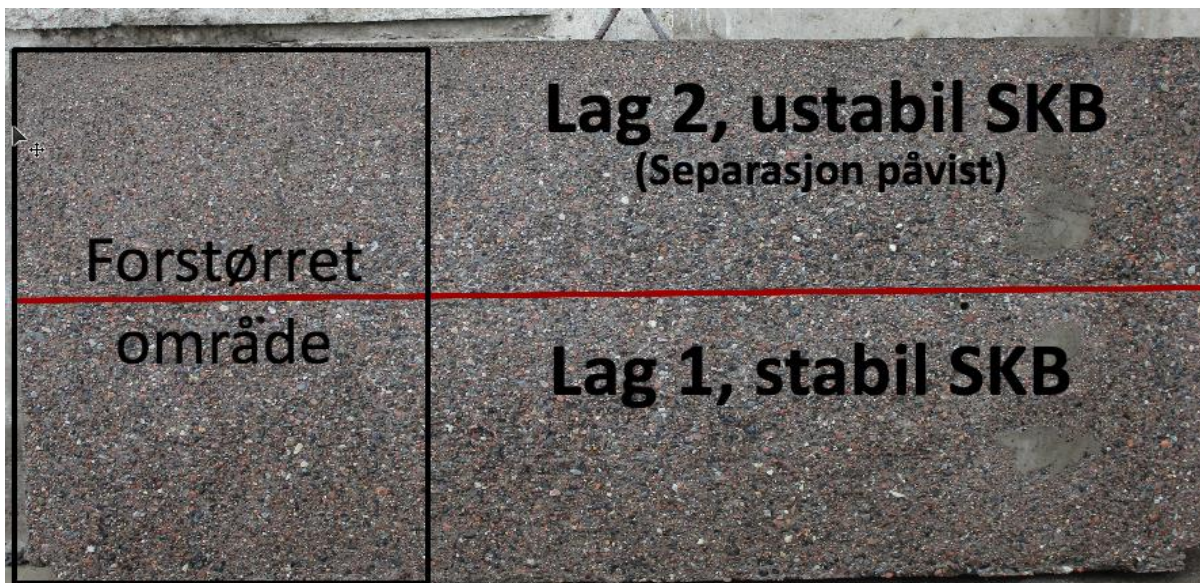
Tester ble utført i henhold til:

NS-EN 12350-8:2010 Prøving av fersk betong

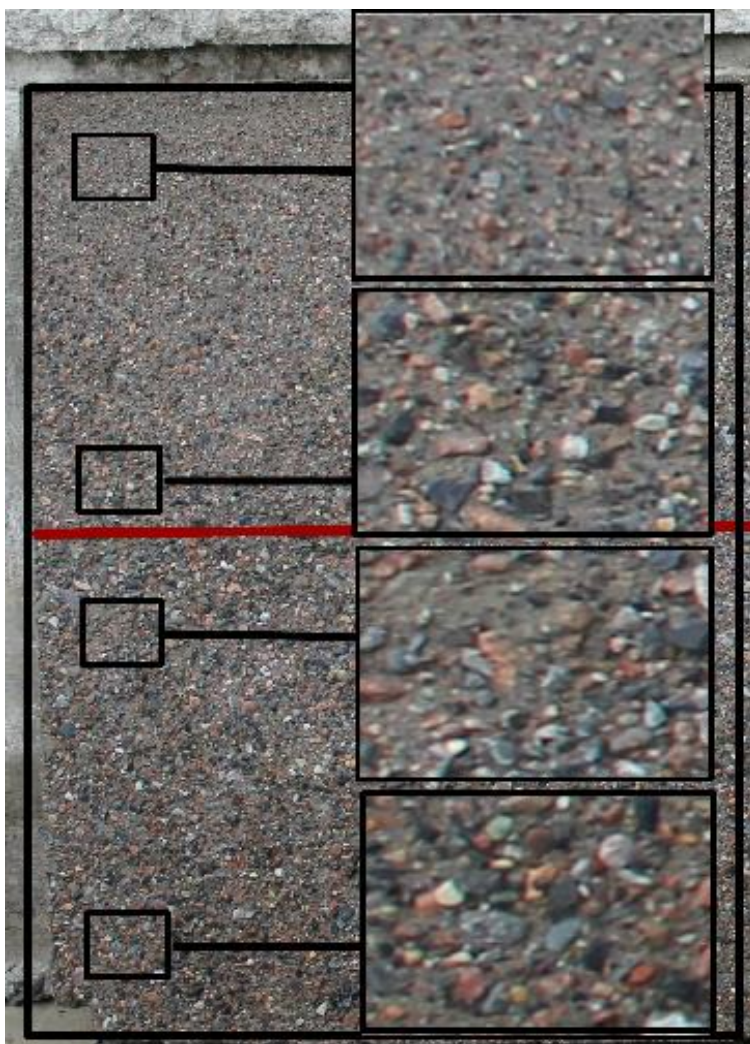
NS-EN 12390-2:2009 Prøving av herdnet betong

NS-EN 12390-3:2009 Prøvelegemers trykkfasthet

Frileggingen gjorde det mulig å studere tilslaget i overflaten. I den nederste delen av veggen hvor den stabile betongen var støpt ut var det jevn fordeling av tilslag i alle størrelser gjennom hele stykket. Den ustabile betongen som ble støpt ut i toppen viste svært ujevn fordeling av tilslag i overflaten. I toppen fantes det ikke grove fraksjoner (8-16mm) i det hele tatt. Grove fraksjoner hadde sunket til bunn, og kun finere fraksjoner ble igjen i toppen.



Figur 9 - Viser ferdig frilagt overflate. Betongen ble fylt fra høyre ende av forskalingen.



Figur 10 - Forstørret versjon av området som er markert i Figur 10

Diskusjon

En kan påvise separasjon, eller fare for separasjon i SKB ved ulike metoder, men det kan kreve noe erfaring å vite hvilke tegn man skal se etter. En vanlig metode er kantbedømmelse ved utbredelsesmål. Betongen som ble støpt i nederste del av forskalingen var god og stabil, som vist på figur 6. Det er ingen tegn til separasjon og tilslaget er jevnt fordelt i pastaen gjennom hele prøven. Etter tilsetning av SP-stoff ble det påvist svært tydelig separasjon ved å studere betongen i trillebåren. Likevel var det vanskeligere å påvise separasjon ved SU-mål og kantbedømmelse, da det ikke var en tydelig rand med vann i utbredelsesfronten. Derimot var det i veldig liten andel av grove partikler i sentrum av betongutbredelsen, og dette kan man se på figur 7. Om en kun bedømmer ut ifra hvordan utbredelsesfronten ser ut, kan det altså skje at betongen vurderes som stabil, selv som den har separert.

Konklusjon

Å støpe med separert SKB kan føre til store problemer som kan være kostbare å utbedre. Når det gjelder SKB er det helt uvurderlig at de utførende har gode rutiner for mottakskontroll på byggeplass, og hyppigheten av prøvetakning bør også vurderes spesielt for SKB. Det er også viktig at produsentene er observante ved produksjon av SKB, da man ikke har god nok kontroll på når naturlige variasjoner i delmaterialer kan forekomme. Kvaliteten på SKB kunne sannsynligvis vært jevnere om kravene til framstilling og bruk av SKB hadde vært strammet inn. Separasjon gjør betongen inhomogen og dette påvirker trykkfastheten. I ytterste konsekvens kan dette gi redusert bæring i viktige konstruksjonsdeler.

Sjursøya, Oslo 15/02/2017



Mats Fjærestrand








Simen M. D. Hjelseth



Øyvind Fremmergård

Reasons to the low use of self-consolidating concrete in Norway

	Øyvind Fremmergård B.Sc. Student oyvindfr89@gmail.com		Ann Karina Lassen Assistant Professor ann-karina.lassen@hioa.no
	Mats Fjærestrand B.Sc. Student mats.f.91@gmail.com		Mahdi Kioumars Associate Professor mahdi.kioumars@hioa.no
	Simen M. D. Hjelseth B.Sc. Student simen.hjelseth@gmail.com	Affiliation: Oslo and Akershus University College (HiOA) Pilestredet 46, 0130 Oslo	

ABSTRACT

According to several research papers, self-consolidating concrete (SCC) should be able to offer advantages over conventional vibrated concrete (CVC) [1-3]. Nevertheless, in Norway SCC has a relatively low market share, and the use is mainly concentrated to the capitol and nearby districts. In this paper, through interviews with professionals in the construction industry, possible causes of the low use of SCC in Norway have been investigated. Lab tests have also been conducted to study effects of variations in the concrete composition, as well as the effects of poor execution that can occur due to inadequate competence of construction workers. According to the paper's results, perceived advantages of the SCC are not nearly as many as those mentioned in various research papers [2-4].

Key words: Self-consolidating concrete, reinforced concrete, segregation, quality control, admixtures.

1. INTRODUCTION

SCC is a modern type of concrete which originated in Japan in the 1980s [5]. Due to high seismic activity, constructions in Japan require a large amount of tightly spaced reinforcement [2] which complicates the use of vibrators. In such constructions SCC is more suitable, because the properties of fresh SCC allows it to flow and fill the formwork without vibration. Various research papers mention quite a few other advantages, such as improved quality of the concrete, and overall costs lowered by up to 15% [4].

SCC might also reduce construction times [2] and improve health and safety on the construction site, as operation of vibrators is eliminated [2]. Despite these advantages the usage of SCC has not reached the levels that were expected, as the product was introduced to the Norwegian construction industry in the late 1990s [6].

In some parts of the world the access to resources used in concrete production, and especially components that are highly present in SCC, might be limited, which makes the use of SCC uneconomical [4, 7]. This is not the case in Norway, as both fly-ash and silica fume is available

[8, 9]. So, are Norwegian contractors not seeing the benefits, are they slow to adapt new materials and casting methods, or isn't the quality of Norwegian SCC satisfactory? By improving the understanding of what the biggest challenges with SCC are, one can more easily point out what needs to be done to improve the quality of finished constructions. In this paper, the results from 12 interviews with contractors, producers and suppliers will be presented through interview summaries. Lab tests are conducted on the basis of statements from the interviews that concern challenges experienced with SCC, often allegedly caused by unsatisfactory properties of the delivered, fresh concrete.

2. METHODS AND MATERIALS

2.1 Interviews

The interview guide is developed based on the theory of "Diffusion of Innovations" [10] by Everett Rogers. This theory explains how, why, and at what rate new ideas and technology spread in a market. In this paper, the theory is mainly used to review the decision-making process that leads to accepting SCC, or rejecting further use after the product has been tried and evaluated. Twelve interviews have been conducted with individuals holding different roles in the Norwegian construction industry, such as clients, contractors, producers of concrete and suppliers of aggregate and admixtures. The main topics revolve around the respondents' first-hand experience with SCC, which structural parts SCC is considered to be appropriate for, whether SCC fills a unique need in the industry, perceived quality of the delivered product, and the use of SCC in the future. A summary from the interviews is presented in chapter 3.1.

2.2 Experimental procedures

Test 1: Accelerating admixtures in SCC: Some respondents state that they experience lower early strength in SCC than in CVC, especially at low temperatures. Felekoğlu and Sarikahya [11] support this by describing polycarboxylate-based superplasticizers' retarding effect on cement hydration. The concrete used in the test specimens (100x100x100mm) is one mixture of SCC with different dosages of accelerating admixture, and one mixture of CVC with equal quality as reference, the latter without any accelerating admixture. Half of the specimens were cured for 12 hours, and the rest for 24 hours, before compression testing. The curing temperature was $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ for both the 12- and 24 hour specimens.

Test 2: Segregation test: A wall formwork system (2700x1200x200mm) was assembled and a surface retarding additive was applied onto the inner side of one of the walls. The purpose was to be able to expose the aggregate after a curing period of 48 hours, to show the distribution of the aggregate throughout the wall surface. The bottom half of the formwork was filled with SCC that had been visually controlled and showed no signs of segregation of cement paste from aggregates. Two hours later the top half was filled with an SCC that had 1.5 liters of superplasticizer added, enough to induce clear signs of segregation of cement paste from aggregates. The formwork was removed after 48 hours and the retarded cement paste was flushed off of using a high-pressure washer, enabling the exposed aggregate to be studied.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Interviews

Concrete producers estimate that SCC makes up approximately only 5-10% of the total concrete volume produced nationally. There is agreement among the interviewees that the most important advantages with SCC is its fresh properties that make it possible to cast in tight spaces with dense reinforcement without the need of vibrating, as well as increased efficiency due to faster casting. Few mention other advantages as significant for choosing SCC over CVC and many claim that they get just as good, or even better, results with CVC. It is indicated that quality control of the SCC on site very often is neglected, even though they consider this as an important parameter for the end results. Most of the interviewees claim that they don't have any particular estimate on gains from choosing SCC over CVC, as this is mostly based on perceived profitability. All respondents say that the same measures need to be taken in cold weather, regardless of whether one is using CVC or SCC, but some claim that they achieve lower early strength with SCC, presumably caused by the superplasticizers' retarding effect. Ready mixed SCC from the factory is, by many contractors, said to often have large variations in quality, which is surprising, since concrete is very rarely returned to the factory for this reason. This might be due to a very tight schedule that forces progress to be made. Some contractors state that the tolerances for variations in the concrete standards are too wide, and some producers agree and mention that a tightening here would lead to better results, and this should apply to all from suppliers of concrete components to execution on site. There is a general agreement that the use of SCC in Norway will increase in future, although this would require more researches on SCC composition and the additives' effect on SCC. This, combined with stricter tolerance requirements, could lead to more consistent quality and increased competence.

3.2 Experiment results

Results from Test 1 show that when curing concrete in low temperatures (constant core temperature at around 5°C), the retarding effect caused by superplasticizer in SCC is not significant, compared to the retardation caused by the low temperature itself (in relation to curing at 20°C). Figures 1a show that the SCC has approximately the same early strength as the CVC. Accelerating admixture can be used in both types of concrete in order to reach the necessary strength for early removal of formwork, but other measures as formwork insulation and external/internal heating, should also be considered. Differences in early strength is shown in Figure 1a. A computer simulation of the temperature development in the specimen is shown in Figure 1b. This simulation takes into account relevant aspects of the concrete composition in Test 1 and the heat development caused by cement hydration.

According to the results of test 2, a noticeable difference in aggregate distribution in the normal and segregated SCC was observed. In the bottom layer, both fine and coarse aggregates were evenly distributed through the whole layer. In the bottom part of the upper layer, coarse aggregates (8-16mm) was overrepresented, and in the top part of the upper layer, only small aggregates (0-8mm) and cement paste was to be found. The early compressive strength (24 hours) of the concrete from both layers also differed substantially; the segregated SCC only had $\frac{3}{4}$ of the compressive strength compared to the unsegregated SCC.

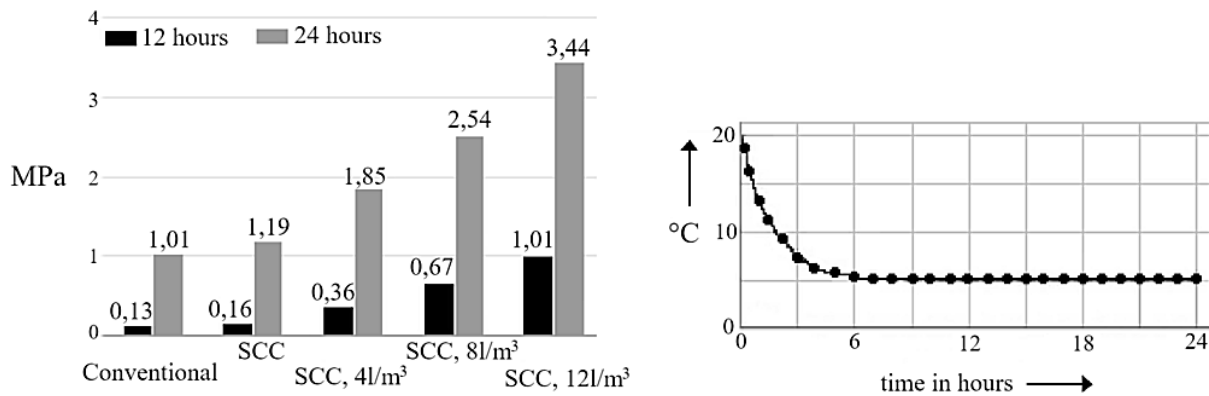


Figure 1 – a) Early compressive strength of concrete for different dosages of accelerator (curing temperature 5°C), b) simulation of the core temperature in the specimen throughout the curing period.

4. CONCLUSION

The quality of SCC is nearly always within current requirements as it leaves the factory. Since quality control on site often is neglected, deviations aren't detected before after casting the concrete. As SCC is a more fragile product than CVC, experience is important to be able to judge the quality on site, and to handle the product correctly. The industry would benefit from better communication and transfer of experience. Much research is being done on the subject, but the distance from PhD level to construction site is perhaps too far for the knowledge to ever reach the construction worker.

REFERENCES

1. Rajamohan, V., & Krishna, P. U. (2016). Self Compacting Concrete.
2. Bouzoubaa, N., & Lachemi, M. (2001) Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash: Preliminary results. *Cement and Concrete Research*, 31(3), 413-420.
3. Ouchi, M., Nakamura, S. A., Osterberg, T., Hallberg, S., & Lwin, M. (2003, October). Applications of self-compacting concrete in Japan, Europe and the United States. In *International Symposium on High Performance Computing (ISHPC)* (pp. 1-20).
4. Rich, D., Glass, J., Gibb, A. G., Goodier, C. I., & Sander, G. C. (2015). Optimising construction with self-compacting concrete.
5. Su, N., Hsu, K. C., & Chai, H. W. (2001). A simple mix design method for self-compacting concrete. *Cement and concrete research*, 31(12), 1799-1807.
6. Våre veger nr 8-1991 - 26 år. "Selvkomprimerende betong, Revolusjoneres Betongarbeidene?"
7. Adekunle, S., Ahmad, S., Maslehuddin, M., & Al-Gahtani, H. J. (2015). Properties of SCC prepared using natural pozzolana and industrial wastes as mineral fillers. *Cement and Concrete Composites*, 62, 125-133.
8. Malhotra, V. M., & Carette, G. G. (1982) Silica fume. *Concrete Construction*, 27(5), 443-446.
9. Vegvesen.no: Sementer med flygeaske og slagg: Lab- og felterfaringer. Statens vegvesens rapport nr. 517
10. Rogers, Everett M., *Diffusion of Innovations* (5th Edition), New York: Free Press, 2003.
11. Felekoğlu, B., & Sarikahya, H. (2008). Effect of chemical structure of polycarboxylate-based superplasticizers on workability retention of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 22(9), 1972-1980.

Kildeliste for vedlegg

Busterud, L., Fidjestøl, P., Frydendal, L., Hammer T. A., Kjellsen, K., Kylvteit, B.-P., ... Mathisen A. E., (2007) *Spesifikasjon og produktveiledning for selvkompimerende betong* (2. utg.). Oslo: Norsk betongforening

Felekoğlu, B., & Sarikahya, H. (2008). *Effect of chemical structure of polycarboxylate-based superplasticizers on workability retention of self-compacting concrete*. Construction and Building Materials, 22(9), 1972-1980. Hentet 20. Januar 2017 fra <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061807001857>