

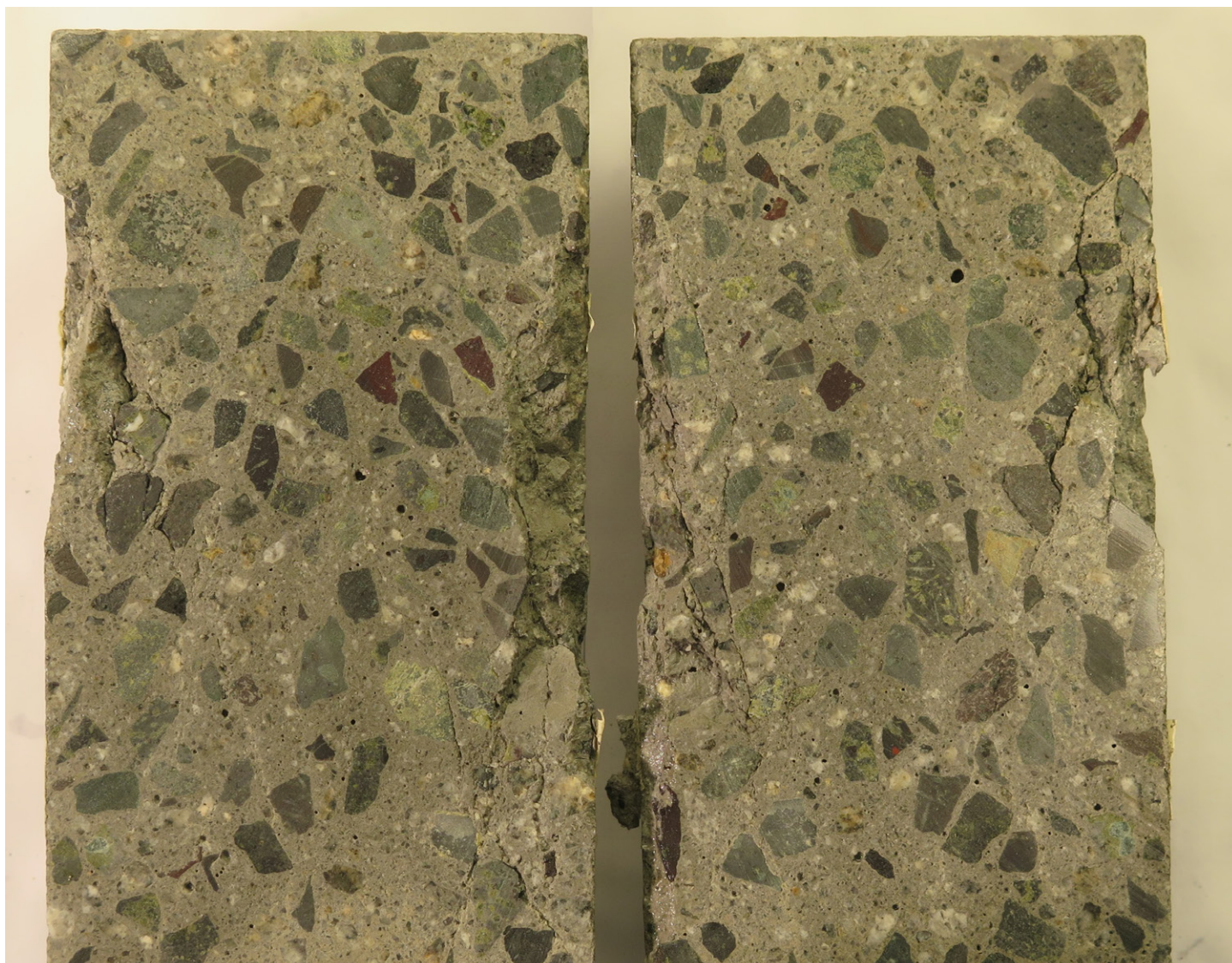


Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper

Trykkfasthet, E-modul og spaltestrekkfasthet

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 181



Tittel

Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper

Undertittel

Trykkfasthet, E-modul og spaltetrekkfasthet

Forfatter

Bård Pedersen

Avdeling

Vegavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603318

Rapportnummer

Nr. 181

Prosjektleder

Bård Pedersen

Godkjent av

Øyvind Bjøntegaard

Emneord

Tilslag, Los Angeles verdi, trykkfasthet, E-modul, spaltetrekkfasthet, mekaniske egenskaper

Sammendrag

Målsetningen ved denne studien har vært å undersøke hvilke egenskaper ved tilslaget som virker inn på trykkfasthet, E-modul og spaltetrekkfasthet. Det har vært spesielt viktig å etterprøve i hvilken grad tilslagets Los Angeles (LA)-verdi er korrelert mot oppnådde egenskaper i betong. Studien har vist at det grove tilslaget 8/16 mm generelt har betydelig større innvirkning enn det fine tilslaget 0/8 mm. Studien har vist at det er noen svakheter ved å bruke LA- verdi som kriterium for å sortere bort tilslag som er mindre egnet til betong. Spesielt gjelder dette dersom hensikten er å avdekke tilslag som gir lav trykkfasthet i betong, mens LA- verdi synes å være noe bedre egnet til å forutsi tilslageneffekt på E-modul i betong.

Title

Effect of aggregate type on the mechanical properties of concrete

Subtitle

Compressive strength, E-modulus and splitting tensile strength

Author

Bård Pedersen

Department

Roads Department

Section

Tunnels and Concrete

Project number

603318

Report number

No. 181

Project manager

Bård Pedersen

Approved by

Øyvind Bjøntegaard

Key words

Aggregate, Los Angeles value, compressive strength, splitting tensile strength, E-modulus, mechanical properties

Summary

The objective of this study has been to investigate which properties of the aggregate that affect compressive strength, E-modulus and tensile splitting strength. It has been particularly important to verify to which extent the Los Angeles (LA) value of the aggregate is correlated with the properties achieved in concrete. The study has shown that the coarse aggregate 8/16 mm generally has a significantly greater impact than the fine aggregate 0/8 mm. The study has shown that there are some weaknesses in using LA value as the criterion for sorting out aggregates that are less suitable for concrete. This applies in particular if the purpose is to reveal aggregates that give low compressive strength in concrete, while the LA value appears to be somewhat better suited to predict the effect of the aggregates on E-modulus in concrete.

Sammendrag

Målsetningen ved denne studien har vært å undersøke hvilke egenskaper ved tilslaget som virker inn på betongens trykkfasthet, E-modul og spaltestrekfasthet. Det har vært spesielt viktig å etterprøve i hvilken grad tilslagets Los Angeles verdi er korrelert mot oppnådde egenskaper i betong. Det ble valgt ut fire sand-fraksjoner (0/8 mm) med spredning i Los Angeles-verdi fra 10 til 34. To av sandtypene er natursand mens to er produsert fra knust berg. Tilsvarende ble det valgt ut fire stein-fraksjoner (8/16 mm) med spredning i Los Angeles-verdi fra 9 til 42. Alle steinfraksjonene er produsert fra knust berg.

Det er gjennomført en litteraturstudie som har vist at E-modul i betong har en direkte sammenheng med tilslagets E-modul, og at relativt enkle komposittmodeller kan brukes for å forutsi resulterende E-modul i betong. For trykkfasthet er det mer motstridende funn i litteraturen. Trykkfasthet for tilslag er normalt sett langt høyere enn sementpastaens fasthet, og for lave til moderat høye fasthetsnivåer vil sementpastaen være begrensende for fasthet. Imidlertid har den store forskjellen i E-modul mellom sementpasta og tilslag følgende effekter:

- Tilslaget vil avlaste sementpastaen, slik at midlere spenning for sementpastaen blir vesentlig lavere enn den ytre spenningen, mens tilslagets midlere spenning vil bli tilsvarende høyere.
- Forskjellen i stivhet mellom sementpasta og tilslag medfører en tøyingsforskjell, som vil medføre spenningskonsentrasjoner i overgangssonen mellom pasta og tilslag.

Det følger av dette at forskjellen i E-modul mellom pasta og tilslag får direkte betydning for betongens trykkfasthet. Eksempelvis vil da et tilslag med høy E-modul og lav styrke kunne være spesielt ugunstig, fordi det gir høy midlere spenning for tilslaget og høy grad av spenningskonsentrasjon og man kan da få brudd på relativt lave ytre spenninger. Et tilslag som både er stivt og har stor mekanisk styrke vil på den annen side kunne føre til økt betongstyrke fordi tilslaget har en avlastende effekt på sementlimet, og også styrke til å ta den økte midlere spenningen. Imidlertid vil effekten av spenningskonsentrasjoner i overgangssonen kunne begrense økningen av fasthet også i dette tilfellet.

I tillegg til de rent mekaniske egenskaper ved tilslaget vil også heftsonen mellom tilslag og pasta ha betydning, og her vil forhold som overflatetekstur, mineralogi, belegg på overflater etc. ha betydning. Det totale bildet er dermed ganske sammensatt, og gjør det vanskelig å forutsi effekten av tilslaget.

Hovedresultater fra denne studien er som følger:

Trykkfasthet:

- Studien har vist at valg av tilslag har stor effekt på betongens trykkfasthet, ved at det var 38 % forskjell mellom laveste og høyeste trykkfasthet etter 28 og 91 døgn.
- Undersøkelsen har vist at steintilslaget (8/16 mm) isolert sett har større betydning for trykkfasthet i betong enn sandtilslaget (0/8), men at også sandtilslaget har en viss betydning.
- Det ble ikke funnet samme tydelige sammenheng mellom LA-verdi og trykkfasthet som i tidligere studie (Pedersen & Kompen 2013). Spesielt har steintilslag fra Steinskogen, basalt med lav LA-verdi og kjent høy trykkfasthet og E-modul fra tidligere studier, gitt lav trykkfasthet sammenlignet med tidligere studier. Det er påvist at steinen som ble benyttet i denne studien avviker mineralogisk fra hovedbergarten i

bruddet, ved at den i stor grad inneholder epidot-holdig basalt. Dette har ikke i vesentlig grad gitt utslag på LA-verdi. En mulig forklaring på den lave trykkfastheten kan være at den epidot-holdige basalten har gitt en annen type kontaktsone mellom tilslag og sementpasta.

E-modul:

- Studien har vist at valg av tilslag har stor effekt på betongens E-modul, det er registrert opp til 40 % forskjell mellom laveste og høyeste verdi. Det ble registrert størst relativ forskjell ved det høyeste masseforholdet på 0,59
- Det grove tilslag (8/16 mm) har betydelig større effekt på E-modul enn det fine tilslaget (0/8 mm)
- Det er funnet en relativt god lineær korrelasjon mellom det grove tilslaget LA-verdi og betongens oppnådde E-modul, mens det fine tilslaget LA-verdi i mindre grad er korrelert mot oppnådd E-modul i betong. Det er omtrent tilsvarende grad av lineær korrelasjon også mellom E-modul og kulemølleverdi.
- Tidligere undersøkelse (Pedersen & Kompen 2013) viste omtrent tilsvarende korrelasjon mellom LA-verdi og E-modul, men de to datasettene avviker noe i forhold til hverandre. De oppnådde verdiene er noe høyere for det granittiske grove tilslaget Sarpsborg og noe lavere for det basaltiske tilslaget Steinskogen sammenlignet med tidligere studie. (Se for øvrige kommentar om Steinskogen-basaltens avvikende mineralogi under trykkfasthet).

Spaltestrekkfasthet:

- Studien har vist at valg av tilslag har stor effekt på oppnådd spaltestrekkfasthet, ved at det var 42 % forskjell mellom laveste og høyeste verdi ved masseforholdet 0,39
- Både det fine og det grove tilslaget har betydning for oppnådd spaltestrekkfasthet, men effekten var betydelig større for det grove tilslaget
- Spaltestrekkfasthet er i betydelig grad korrelert mot betongens trykkfasthet og E-modul. Spaltestrekkfastheten var i gjennomsnitt 6 % av betongens trykkfasthet
- Spaltestrekkfasthet er til en viss grad korrelert mot tilslaget LA-verdi, og i noe høyere grad korrelert mot kulemølleverdi og Micro-Deval.

Studien har vist at det er noen svakheter ved å bruke LA- verdi som kriterium for å sortere bort tilslag som ikke er egnet til betong. Spesielt gjelder dette dersom hensikten er å avdekke tilslag som gir lav trykkfasthet i betong, mens LA- verdi synes å være noe bedre egnet til å forutsi tilslageneffekt på E-modul i betong.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning og bakgrunn	4
2	Målsetning og omfang for ny undersøkelse	6
3	Effekt av tilslag på mekaniske egenskaper i betong - litteraturstudie	7
3.1	Innledning	7
3.2	Noen flere funn i litteraturen	10
3.3	Oppsummering og avsluttende diskusjon.....	15
4	Forsøksprogram, materialer og metoder	17
4.1	Forsøksmatrise og betongsammensetning	17
4.2	Materialer.....	18
4.2.1	Tilslag.....	18
4.2.2	Sementer.....	20
4.2.3	Tilsetningsstoffer.....	20
4.3	Prøvingsmetoder.....	20
5	Resultater	22
5.1	Synkmål, luft og densitet	22
5.2	Trykkfasthet, E-modul og spaltestrekfasthet	23
6	Diskusjon	25
6.1	Tilslagets effekt på trykkfasthet	25
6.2	Tilslagets effekt på E-modul.....	33
6.3	Tilslagets effekt på spaltestrekfasthet.....	39
6.4	Utvikling av riss og sprekker ved brudd.....	43
7	Konklusjoner og videre arbeid.....	46
7.1	Konklusjoner fra denne undersøkelse	46
7.2	Videre arbeid	47
8	Referanser	48
	Vedlegg	50

1 Innledning og bakgrunn

Tilslaget utgjør 60-70 % av betongens volum avhengig av betongkvalitet, og har stor betydning for egenskaper hos fersk og herdnet betong. Det er velkjent at betongtilslaget i stor grad er styrende for egenskaper i fersk fase. Ved valg av et «godt tilslag» kan man redusere mengde nødvendig vann og dermed også sement, noe som slår positivt ut for reseptøkonomi, i tillegg til at det reduserer betongens herdevarme og potensiale for svinn. Det er også velkjent at valg av tilslag har stor betydning for betongens stivhet eller E-modul. Når det gjelder trykkfasthet har det lenge vært en «etablert sannhet» at for normale betongkvaliteter er trykkfastheten i all hovedsak bestemt ut fra sementens fasthetspotensial, valgt masseforhold i tillegg til tilsetningsmaterialer som silikastøv, flygeaske etc., og at valg av tilslag kun har begrenset effekt på trykkfasthet. Når vi vet at betongkvaliteter høyere enn B55 er relativt sjelden er i bruk, og samtidig vet at en-aksiell trykkfasthet for det meste av norske bergarter ligger betydelig over 100 MPa er det da også naturlig å tenke seg at det er sementpastaen og ikke tilslaget som utgjør den begrensende faktoren for betongens trykkfasthet. Til tross for dette har en tidligere undersøkelse med et utvalg av 8 tilslag fra ulike deler av landet (Pedersen & Kompen 2011) vist et variasjonsområde i trykkfasthet fra 61–88 MPa etter 28 døgn (terningfasthet). Undersøkelsen ble gjort for en B45 MF betong med konstant masseforhold på 0,39, luftinnhold mellom 4 og 5 % og Norcem Anleggsement FA. Tilslag fra enkelte forekomster gir altså såpass lav fasthet at det vil være problematisk å oppnå fastheter som er høyere enn B45 sammen med norske sementer. Variasjonsområdet for E_c i den samme undersøkelsen var fra 21-36 GPa.

En av konklusjonene fra undersøkelsen (Pedersen & Kompen 2013) var at det i stor grad var korrelasjon mellom tilslagenes Los Angeles verdi og oppnådd E-modul i betong. I tillegg til dette ble det også funnet en betydelig grad av korrelasjon mellom betongens trykkfasthet og tilslagets Los Angeles verdi. Et utdrag fra rapportens konklusjon er vist under:

Sammenhengen mellom Los Angeles verdi og oppnådde mekaniske egenskaper i betong er så god at det bør undersøkes nærmere om Los Angeles verdi kan innføres som kriterium for å differensiere tilslag til ulike formål. I første rekke er det naturlig å få på plass rutinemessig dokumentasjon av Los Angeles verdi, og dermed en praktisk oppfølging av Statens vegvesens krav om maksimalt tillatt LA-verdi på 35.

Gjennom det nasjonale tillegget til NS-EN 206 ble det i 2014 innført nasjonale krav til Los Angeles verdi (motstand mot knusing for grovt tilslag). Kravet i det nasjonale tillegg er LA_{50} for betongkvaliteter opp til B25, og LA_{35} for høyere kvaliteter. Statens vegvesen har et tilleggskrav om LA_{30} for fastheter høyere enn B45. Statens vegvesen hadde en periode et krav om at også det fine tilslaget (her definert som tilslag med $D \leq 8$ mm) skulle oppfylle kravet til LA-verdi, men dette kravet er nå tatt ut.

Noen kommentar til metodene som klassifiserer mekaniske egenskaper hos tilslaget:

Los Angeles verdien er et mål på materialets motstand mot knusing ved slagpåkjenning, men er likevel ikke en ren knusetest fordi også nedbrytning ved abrasjon spiller en viss rolle. Los Angeles verdi deklarerer i ulike klasser fra LA_{50} og ned til LA_{15} , hvor LA_{15} er den beste klassen. De sterkeste og beste tilslagene har LA-verdier på 10 eller lavere. Micro Deval- og kulemølle-metoden er i større grad rene slitasjetester som forteller mer om tilslagets abrasive egenskaper. Spesielt gjelder dette Micro Deval metoden, mens kulemølle-metoden også har et ikke ubetydelig element av slagpåkjenning. Disse tre metodene er mye benyttet for å

Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper

klassifisere materiale til veg og asfalt, men har i liten grad vært benyttet for å klassifisere betongtilslag. Alle metodene er imidlertid omtalt i tilslagsstandarden NS-EN 12620.

2 Målsetning og omfang for ny undersøkelse

Målsetningen med denne nye undersøkelsen har vært å undersøke nærmere hvilke egenskaper ved tilslaget som slår ut på betongens mekaniske egenskaper målt ved trykkfasthet, E-modul og spaltestrekkfasthet. Det har spesielt vært aktuelt å etterprøve i hvilken grad Los Angeles verdi både for fin- og grovfraksjonen¹ er korrelert mot E-modul og trykkfasthet for noen utvalgte tilslagstyper. Det har i tillegg til trykkfasthet og E-modul vært gjennomført testing av spaltestrekkfasthet. Hoveddelen av undersøkelsen er gjennomført for betong med masseforhold på 0,39. Det har i begrenset omfang blitt gjennomført undersøkelse av betonger med masseforhold på henholdsvis 0,34 og 0,59.

Det har videre vært en målsetning å gjennomføre et begrenset litteraturstudium, og sette egne resultater i sammenheng med tilgjengelige resultater i litteraturen.

I tillegg til tekniske data som er tilgjengelige gjennom deklarasjonsdatablader har det vært gjennomført prøving av tekniske egenskaper i egen regi. Følgende prøving er gjennomført i eget laboratorium:

- Glimmerinnhold i finfraksjonen
- Slaminnhold i finfraksjonen
- Kornform (flisighetsindeks)
- Gradering
- Los Angeles-metoden: Motstand mot knusing
- Kule mølle-metoden: Motstand mot piggdekkslitasje
- Micro Deval-metoden: Motstand mot slitasje

¹ I de fleste land i Europa benyttes 4 mm som grense mellom grovt og fint tilslag, noe som er i tråd med tilslagsstandarden EN 12620. I Norge og har vi tradisjon for å bruke natursand i fraksjonen 0/8 mm, denne fraksjonen har fått en egen kategori «naturlig gradert 0/8 mm» i tilslagsstandarden. I denne studien regnes 0/8 mm som fint tilslag og 8/16 mm som grovt tilslag, i tråd med norsk praksis.

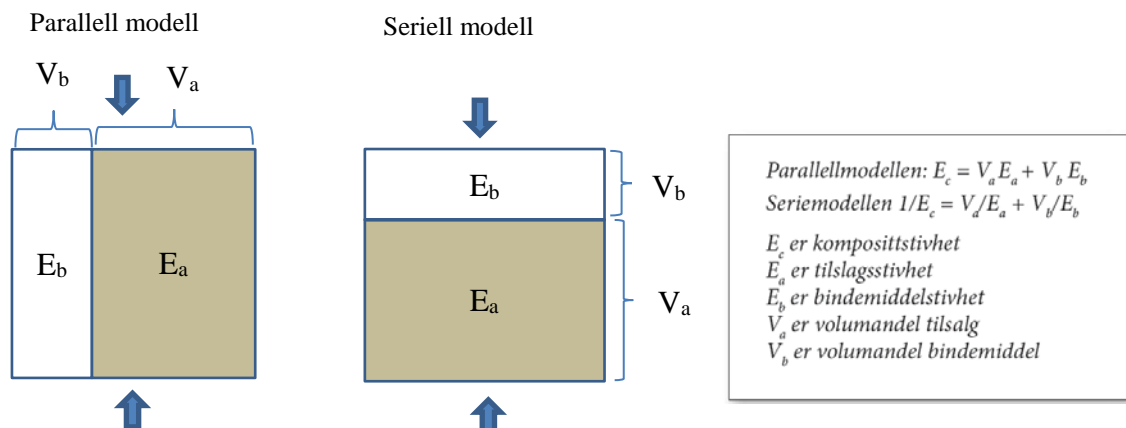
3 Effekt av tilslag på mekaniske egenskaper i betong - litteraturstudie

3.1 Innledning

Betong er et komposittmateriale bestående av sementpasta og tilslag, eller egentlig mer riktig tre faser, hvor sementlimets heft- eller overgangssone mot tilslagspartiklene utgjør den tredje fasen. Trykkfasthet for alminnelige norske tilslag varierer innenfor vide grenser, med «typisk» verdi på om lag 150 MPa, og et variasjonsspekter fra ca. 60-350 MPa. Verdiene ligger altså normalt 2-3 ganger høyere enn trykkfasthet for ordinære brubetonger. Det er naturlig å tenke seg at det er sementpastaen som er begrensende faktor i de fleste tilfellene, fordi sementpastaens trykkfasthet er såpass mye lavere enn tilslagets trykkfasthet. Tilsvarende er «typisk» verdi for E-modul i området 50 GPa, med et variasjonsspekter fra ca. 25-80 GPa. Sementlimets E-modul er avhengig av masseforholdet, men er normalt sett 25 GPa eller lavere, altså langt lavere enn tilslagets E-modul.

Betongens resulterende E-modul vil ligge mellom E-modul for sementpasta og tilslag, og vil være direkte avhengig av volumfordelingen mellom pasta og tilslag. Betongens resulterende trykkfasthet er i mange tilfeller noe høyere enn trykkfastheten til sementpastaen, men den kan også være lavere. Mens sementpasta og tilslag har en sprø oppførsel, med tilnærmet lineærelastisk oppførsel fram til brudd, så har betong en duktil oppførsel. Den duktile oppførselen til betong kan forklares ut fra den store forskjellen i E-modul mellom sementpasta og tilslag (Smeplass 2015). Duktilitet er en viktig egenskap som har betydning for blant annet rissfølsomhet og betongens evne til å omlagre spenninger før brudd, men duktilitet vil ikke bli behandlet videre i denne rapporten.

Hva er det så som styrer de mekaniske egenskapene for betong? Når det gjelder E-modul så kan relativt enkle komposittmodeller brukes til å gi et estimat for den sammensatte stivheten. I Figur 1 er de aller enkleste komposittmodellene, seriell- og parallellmodellen illustrert. Parallellmodellen forutsetter at tøyingsfordelingen er homogen, altså samme tøyning i begge materialer. Seriellmodellen forutsetter på den annen side homogen spenningsfordeling, altså samme spenning i begge materialer.



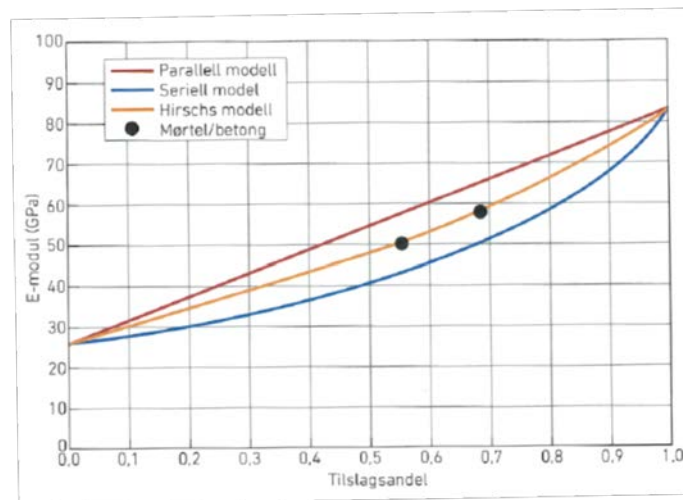
Figur 1 Komposittmodeller: parallellmodell og seriellmodell.

Modellene forutsetter elastisk samvirke, og altså ingen opprissing eller begynnende bruddutvikling. Ingen av modellene vil kunne være representative for betong, men de kan benyttes for å gi et øvre estimat (parallellmodellen) og nedre estimat (seriellmodellen). Smeplass (1992, 2015) har vist at den såkalte Hirsch-modellen, som er satt sammen av parallell og seriellmodell, gir en god tilnærming når faktoren «x» settes lik 0,7. Faktoren «x» indikerer den relative fordelingen av parallellmodell kontra seriellmodell. Tilnærmingen er best når man benytter dynamisk E-modul og noe dårligere for E-modul basert på trykk.

Hirsch-modellen:

$$\frac{1}{E_c} = x \left(\frac{1}{V_b E_b + V_a E_a} \right) + (1-x) \left(\frac{V_b}{E_b} + \frac{V_a}{E_a} \right)$$

Dette er vist i Figur 2, hvor henholdsvis en mørtel (tilslagsandel 56 %) og betong (tilslagsandel 68 %) er plottet.



Figur 2 Dynamisk E-modul som funksjon av tilslagsandel. Parallellmodell, seriellmodell og Hirschs modell ($x = 0,7$) for kombinasjoner av tilslag av kvartsdioritt/mylonitt og bindemiddel med masseforhold 0,30. Fra Smeplass 2015.

For E-modul er det altså en åpenbar sammenheng mellom tilslagets stivhet og betongens resulterende stivhet. For trykkfasthet er sammenhengene ikke så åpenbare. Undersøkelsen av Smeplass (1992) viste at tilslag med et variasjonsspekter i trykkfasthet fra 100-350 (ved et masseforhold på 0,30) ga et variasjonsspekter i betong fra 103-124 MPa. Sett i forhold til den store forskjellen i trykkfasthet for de to tilslagene var forskjellen i trykkfasthet for betong relativt liten, men likevel ikke ubetydelig. Høyest fasthet ble oppnådd med grovt tilslag av basalt fra Steinskogen (med trykkfasthet og E_c på henholdsvis 346 MPa og 74 GPa) mens lavest fasthet ble oppnådd med kalkstein (med trykkfasthet og E_c på henholdsvis 100 MPa og 70 GPa).

Den relativt sett mye lavere trykkfastheten for sementpastaen vil være en begrensende faktor for «normalbetonger», og tilslagets styrke vil dermed kunne være underordnet. For høyfaste betonger er bindemiddelets egenskaper i større grad sammenlignbare med tilslagets egenskaper, og tilslagets egenskaper vil dermed kunne ha mye større betydning.

Stivhetsforskjellen mellom tilslag og bindemiddel vil i stor grad bestemme den interne spenningsforskjellen mellom disse fasene, og vi kan gjøre følgende betraktninger rundt dette (basert på Smeplass 1992):

- I og med at tilslaget har vesentlig høyere E-modul enn bindemiddelet vil tilslaget få høyere midlere spenning enn bindemiddelet, og vil altså «avlaste» bindemiddelet som får lavere midlere spenning enn den påførte ytre spenningen.
- Differansen vil øke med økende stivhetsforskjell mellom tilslag og bindemiddel.
- Stivhetsforskjellen vil gi en tøyingsforskjell mellom tilslag og bindemiddel, både i retning av spenningsfeltet og i tverretning. Det oppstår dermed spenningskonsentrasjoner både på trykk og strekk i overgangssonen.
- Spenningskonsentrasjonene vil kunne virke begrensende på fasthet, ved at lokal overskridelse av strekktøyingskapasitet vil gi dannelse av riss, omlagring av spenninger, nye rissdannelser og til slutt brudd.

Av ovennevnte følger at økt tilslagsstivhet vil gi avlastning av bindemiddelet, men samtidig økt middelspenning i tilslaget og økte spenningskonsentrasjoner. Den resulterende fasthetsøkningen vil dermed kunne være begrenset. Det finnes eksempler på at å bytte ut tilslag med et annet tilslag som er sterkere og stivere vil kunne gi redusert trykkfasthet. Et «ekstremt» eksempel på dette er publisert av Zhou et al. (1995). Tilslag av stål (E-modul på 210 GPa) medførte en E-modul omtrent som forventet (ca. 70 GPa i betongen), mens trykkfastheten ble kun 83 MPa (terningfasthet 28 døgn) mot 88 og 91 MPa for henholdsvis naturgrus og kalkstein. I følge forfatterne kan den lave fastheten med ståltilslag tilskrives en kombinasjon av a) redusert heft og b) spenningskonsentrasjoner pga. stor stivhetsforskjell mellom sementpasta og stål.

I tillegg til de rene fasene tilslag og sementpasta har vi også å gjøre med en overgangssone mellom tilslag og pasta. Effekten av denne overgangsfasen er utførlig behandlet i en litteraturstudie av Danielsen & Rønning (1989), og noen viktige funn fra denne studien omtales kort her: Denne sonen kan volummessig utgjøre opptil 70 % av pastavolumet ifølge enkelte beregninger. Den er karakterisert ved noe større porøsitet, og har gjerne store orienterte CH-krystaller. Det er noen forskjeller mellom ulike tilslag knyttet opp mot mineraltype: Det er flere publikasjoner som viser at karbonatbergarter gir en kjemisk binding mot sementpasta, og at brudd i kalkspatmørtel skjer inne i tilslagskorn, mens det i kvartsmørtel skjer i grenseflaten. Det finnes imidlertid også litteratur som viser at det kan forekomme kjemisk binding mellom sementpasta og kvarts. Den siste gjør seg spesielt gjeldende ved autoklavherding, fordi den høye temperaturen øker kvartsens reaktivitet. Det er videre vist til en studie av Danielsen & Rueslåttén (1984) som viser at det er meget store forskjeller for hhv metamorft omvandlet feltspat og uomvandlet feltspat. Omvandlet feltspat ga betydelig høyere trykkfasthet (i mørtel) enn uomvandlet feltspat, og det ble funnet en lineær sammenheng mellom omvandlet feltspat og fasthet. Undersøkelser vha. mikrosonde påviste ellers en tilnærmet kontinuerlig overgang fra mineralfasen til pastafasen for omvandlet feltspat (for Ca, Si, Al), mens den var diskontinuerlig for uomvandlet feltspat. Studien omfattet både monomineralske tilslag samt knuste tilslag og naturtilslag fra feltspatdominerte forekomster.

I tillegg til eventuelle kjemiske (og/eller fysikalske) bindinger er det opplagt at også mekanisk binding vil gjøre seg gjeldende på ujevne overflater. Danielsen & Rønning (1989) uttaler at det er til dels velkjent og akseptert at skarpkantet (knust) materiale gir høyere fasthet og også til dels høyere bøyestrekfasthet.

3.2 Noen flere funn i litteraturen

Jacobsen et al. (1990) undersøkte mørtler med 9 tilslag. 8 av disse tilslagene var produsert fra knust berg, mens det niende tilslaget var natursand. Masseforholdet $v/(c+s)$ var 0,31 og mengden silikastøv (s/c) var 7,8 %. Trykkfasthet målt på prismer varierte fra 100,3 MPa for basalt til 73,4 for kvartsitt, mens natursand (fra Kilemoen) ga nesten identisk fasthet som basalt. Variasjon i sylindrefasthet var enda større, fra 97,9 til 48,8 MPa for henholdsvis basalt og kvartsitt. E-modul for de samme mørtlene varierte fra 25,7 til 33,8 GPa. Bøyestrekfasthet var også høyest for basalt (15,6 MPa) og lavest for kvartsitt (9,1 MPa). Porøsitetsundersøkelser og tynnslipanalyser viste at en del av forskjellene i det opprinnelige programmet skyldtes inhomogeniteter og defekter, og det ble konkludert med at resultatene var usikre. Gjentak av undersøkelsen for 4 av de 8 knuste bergartene ga fortsatt som resultat at basalt lå høyest (101 MPa) og kvartsitt lavest (86 MPa), mens differansen (basert på prismer) var nå altså redusert til det halve i forhold til opprinnelig program.

Mekaniske egenskaper for tilslagene ble ikke målt, og det er i rapporten ikke diskutert hvorvidt forskjeller i mekaniske egenskaper kan forklare fasthetsforskjellene i mørtel. Det er i rapporten pekt på noen forhold som kan ha betydning:

- Ulik sugporøsitet hos tilslagene, som har resulterte i ulike effektive v/c -forhold (målt på tynnslip).
- Ulike målte kapillærsugingshastigheter kan være et uttrykk for ulike tykkelse og ulike oppbygging av overgangssonen mellom tilslag og pasta. Det ble påvist en god korrelasjon mellom fasthet og kapillær absorpsjon.

Jacobsen (1991) har gjort en studie av tilslagets effekt på trykkfasthet i mørtel ved masseforhold 0,45. Mengden sementpasta var 40 % for alle mørtlene. Resultatene som er vist i Tabell 1 viser at spennet i oppnådd fasthet etter 28 døgn var i intervallet 45,0 – 58,5 MPa. Forfatteren konkluderte med at innhold av svake korn og belegg på korn ser ut til å være de viktigste parameterne for fasthet. Men ut fra data i tabellen kan også mengde glimmer i fraksjonen 0,125 – 0,250 mm se ut til å være en viktig parameter, ved at økende mengde glimmer ga lavere fasthet. Det er ikke oppgitt mekaniske egenskaper for noen av tilslagene.

Tabell 1 Oppnådd trykkfasthet for mørtelblandinger med masseforhold 0,45 og 40 % sementpasta for ulike tilslag. Tabell fra Jacobsen 1997 (byggdetaljblad 520.024), data fra Jacobsen 1991.

Tilslag nr.	Trykkfasthet ¹⁾ Mpa	Glimmer 0,125 – 0,25 mm %	Kvarts/feltspat 0,125 – 0,25 mm %	Gneis/granitt 2 – 4 mm %	Svake korn 2 – 4 mm %	Belegg ³⁾ 2 – 4 mm	Slam (volumprosent) NS 3103	Filler (vektprosent) < 63 µm
1	58,5	3 – 13	84 – 91	67 – 83	0 – 1	0 – 1	3 – 4	0,9 – 1,2
2	55,6	5 – 7	85 – 89	84 – 90	0	0 – 1	5 – 6	2,0 – 3,0
3	52,4	3 – 8	83 – 90	52 – 60	0 – 5	1 – 2	3	1,4 – 2,0
4	50,9	3 – 10	79 – 88	71 – 80	0	1	5 – 8	0,4 – 2,5
5	49,5	9 – 12	78 – 84	24 – 27 ²⁾	3 – 12	2	1	3,8 – 4,3
6	45,0	12 – 15	71 – 79	10 – 23 ²⁾	10 – 17	2	8 – 12	4,1 – 6,5

¹⁾ Middell av fem prøvestykker etter 28 døgn

²⁾ Inneholdt større mengder svake bergarter (skifer, sandstein mm.)

³⁾ Beleggklasse 0 – 1: Intet – tynt løst silt-/støvbelegg

Beleggklasse 2: Tynt silt-/støvbelegg, større dekning, noe fastere

Beshr et al. (2003) har undersøkt effekten av 4 ulike grove tilslag i betong: kalsitt/kalkstein, dolomitt, kvartsholdig kalkstein og stålsagg. Masseforhold var 0,33. Oppnådde fastheter etter 28 døgn var 43, 45, 47 og 54 (sylinderfasthet, MPa) i samme rekkefølge, mens E-modul var fra 21,6 (kalkstein) til 29,6 (stålsagg). Spaltestrekkfasthet lå i intervallet 2,4 (kalkstein) – 4,1 (stålsagg) MPa etter 28 døgn. Både fasthet, E-modul og spaltestrekkfasthet kan relateres til mekanisk styrke for tilslagene, her karakterisert ved «Loss on abrasion» (uklart om dette er Los Angeles eller annen prøvningsmetode).

Järvenpää (2001) har studert effekten av fint tilslag (0/4 mm) på ulike betongskaper, deriblant trykkfasthet for betonger med «moderat høy» fasthet, dvs. omlag B45- kvalitet. Hun konkluderte med at kornform (uttrykt ved flisighetsindeks) samt Los Angeles-verdi var de tilslagegenskapene som hadde størst effekt på trykkfasthet i betong. Spesielt var kombinasjonen av høy LA-verdi og dårlig kornform (tynne/flisige partikler) ugunstig, og resulterte i fasthetsreduksjon på 10-15 MPa.

I en studie av Kılıç et al. (2008) ble effekten av 5 ulike knuste tilslag studert for høyfast betong (masseforhold 0,30, 15 % silikastøv). I Tabell 2 er trykkfasthet og bøyestrekfasthet for 28 og 90 døgn vist. Alle de fem tilslagene er testet for en-aksiell trykkfasthet og Los Angeles verdi, se verdier i tabellen.

Noen konklusjoner fra undersøkelsen

- Det var en eksponentiell sammenheng mellom trykkfasthet for stein og steinens Los Angeles verdi
- Det var en generell tendens til at betongens trykkfasthet øker ved økende trykkfasthet for stein, men med noen unntak.
- For gabbro var sementpastaens fasthetspotensial en åpenbar begrensning mht. fasthet, i og med at steinens fasthetspotensiale er så mye høyere enn betongens. Konklusjonen styrkes ved at ingen sprekker etter brudd passerte gjennom grove tilslagskorn, men gikk gjennom pasta/mørtel
- For basalt-tilslaget ble det konkludert med at fasthetspotensialet til både stein og pasta var fullt utnyttet, i og med at fastheten for betong var omtrent lik fastheten for stein. Konklusjonen styrkes ved at sprekken etter brudd gikk gjennom både stein og sementpasta

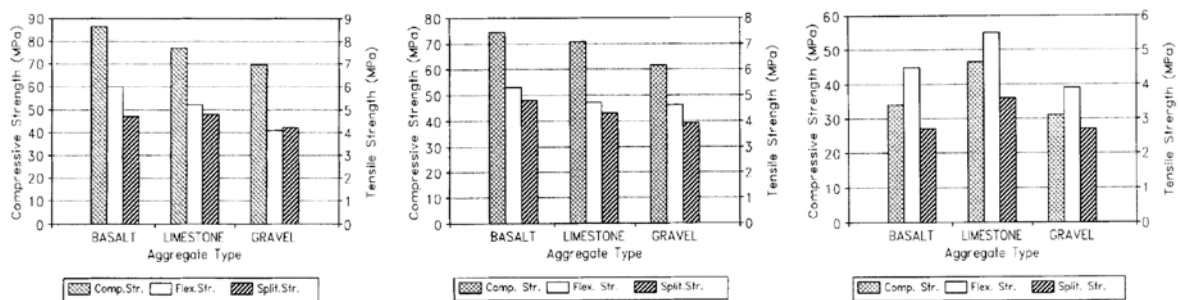
- For kalkstein, og i enda større grad sandstein, har steinens fasthetspotensiale begrenset betongfastheten. For disse to tilslagene gikk sprekker etter brudd i hovedsak gjennom tilslagskorn
- Det var en relativt god lineær sammenheng mellom trykkfasthet og bøyestrekfasthet. Bøyestrekfastheten var fra 11-16 % av trykkfastheten.

Tabell 2 Trykkfasthet og bøyestrekfasthet for betonger med fem ulike bergarter. Masseforhold 0,30 og 15 % silikastøv. Resultater fra Kılıç et al. (2008).

Bergart	Trykkfasthet stein, MPa	LA-verdi	Trykkfasthet terning, MPa		Bøyestrekfasthet, MPa	
			28 døgn	90 døgn	28 døgn	90 døgn
Gabbro	247	11	119,4	136,4	17,3	18,4
Basalt	132	24	121,2	134,6	16,7	17,9
Kvartsitt	160	16	97,4	103	16,2	16,9
Kalkstein	110	24	96,3	107,7	12,8	13,9
Sandstein	52	96	50,3	53	5,2	5,6

Også for lav-kvalitetsbetonger med masseforhold på 0,60 kan tilslagstype ha en viss effekt på trykkfasthet. Abdullahi (2012) undersøkte to knuste grove tilslag av henholdsvis kvartsitt og granitt, i tillegg til naturlig elvegrus. Det samme naturtilslaget ble benyttet som finfraksjon for alle betongene. Variasjonsspekteret for betongene var fra 27 MPa (granitt) til 40 MPa (kvartsitt), mens betong med elvegrus hadde en trykkfasthet på 36 MPa (terningfasthet). Ingen data for mekaniske egenskaper for tilslagene er tilgjengelig.

Özturan & Çeçen (1997) har undersøkt effekt av tre grove tilslagstyper (knust basalt, knust kalkstein og naturgrus «round siliceous gravel» ved tre ulike masseforhold: 0,30 – 0,40 – 0,58. Egenskapene som ble undersøkt var trykkfasthet (terning), spaltstrekfasthet og bøyestrekfasthet (tre-punkts forsøk, dimensjon 100x100x500 mm bjelker). Hovedresultatene er gjengitt i Figur 3.

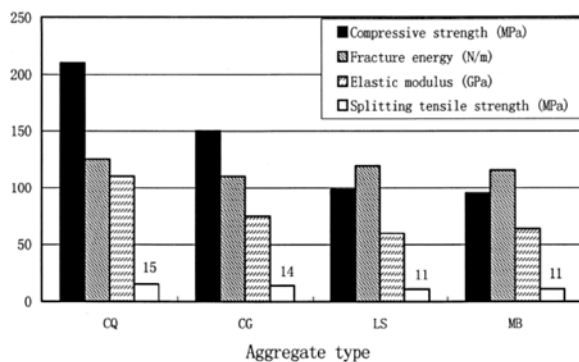


Figur 3 Effekt av grovt tilslag på trykkfasthet, bøyestrekfasthet og spaltstrekfasthet. Masseforhold 0,30 (venstre), 0,40 (midt) og 0,58 (høyre). Fra Özturan & Çeçen (1997)

Ved masseforhold 0,30 var det et variasjonsspekter fra ca. 85 MPa (basalt) til 70 MPa (naturgrus), med kalkstein omtrent midt mellom. Ved det høyeste masseforholdet på 0,58 var forskjellen mellom basalt og naturgrus omtrent utjevnet til et nivå i overkant av 30 MPa, som

kan synes å være sementpastaens kapasitet. Kalkstein ga imidlertid høyere fasthet enn basalt ved dette masseforholdet, noe som forfatterne forklarer med at overgangssonens styrke er forbedret av kjemisk reaksjon mellom sementpasta og kalkstein. For masseforhold 0,30 ble naturgrusen også testet med en sement med høyere fasthetspotensiale (11 MPa), men det ga ingen økning i betongfasthet. Det er åpenbart at naturtilslaget var begrensende mht. fasthet i det tilfellet. Derimot ga økt sementfasthet seg utslag i 30 % økning av bøyestrek- og spaltestrekfasthet. En hovedkonklusjon fra studien er at for høyste betonger er det primært det grove tilslaget som styrer trykkfastheten, mens strekkfasthet i hovedsak er styrt av mørtelfastheten – i tillegg til overflateegenskapene til det grove tilslaget. Det er ikke angitt noen mekaniske egenskaper for tilslagene som ble benyttet.

Wu et al. (2001) har undersøkt effekten av grovt tilslag på mekaniske egenskaper i betong. Målte egenskaper på de fire ulike tilslagene er vist i Figur 4 (venstre), mens egenskaper i betong er vist i tabell til høyre. For høye masseforhold (0,55) var det ingen signifikant effekt av tilslagstype på trykkfasthet. For lave masseforhold (0,26) var det en effekt av tilslag ved at de to sterkeste (og stiveste) tilslagene ga 18-19 MPa høyere fasthet. For E-modul var det en tydelig sammenheng mot tilslagernes E-modul ved alle masseforhold.

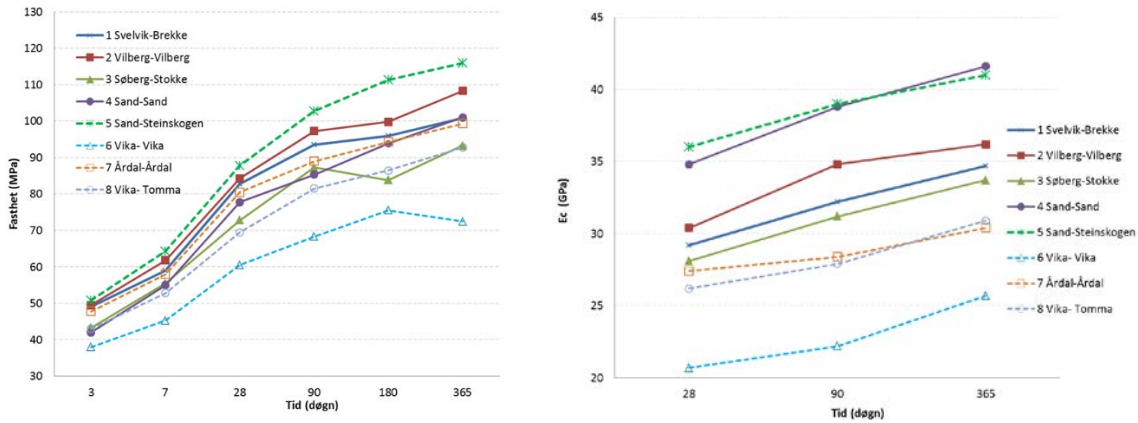


W/C	Aggregate	f_c (MPa)	f_{ct} (MPa)	E (GPa)	G_F (N/m)	l_{ch} (m)
0.26	CQ	98.2	8.4	48.2	166.1	0.113
	CG	99.1	7.9	36.2	150.2	0.087
	LS	83.4	7.3	33.2	157.3	0.098
	MB	79.8	7.6	33.7	165.2	0.096
0.44	CQ	70.4	5.2	39.5	158.1	0.231
	CG	65.8	5.3	36.2	145.2	0.187
	LS	60.5	5.0	31.5	156.3	0.197
	MB	62.1	5.1	31.0	146.3	0.174
0.55	CQ	44.8	4.1	37.5	143.1	0.319
	CG	43.2	4.2	28.3	135.2	0.216
	LS	46.6	3.9	30.1	152.3	0.301
	MB	45.0	4.2	29.0	142.1	0.234

Figur 4 Effekt av grovt tilslag på mekaniske egenskaper i betong. Tilslagsegenskaper er vist til venstre, resultater for betong i tabell til høyre. Tilslag: CQ: knust kvartsitt, CG: knust granitt, LS: kalkstein, MB: marmor. Egenskaper fra venstre: trykkfasthet, spaltestrekfasthet, E-modul, bruddenergi og karakteristisk lengde (omvendt proporsjonal med sprøhetstallet).

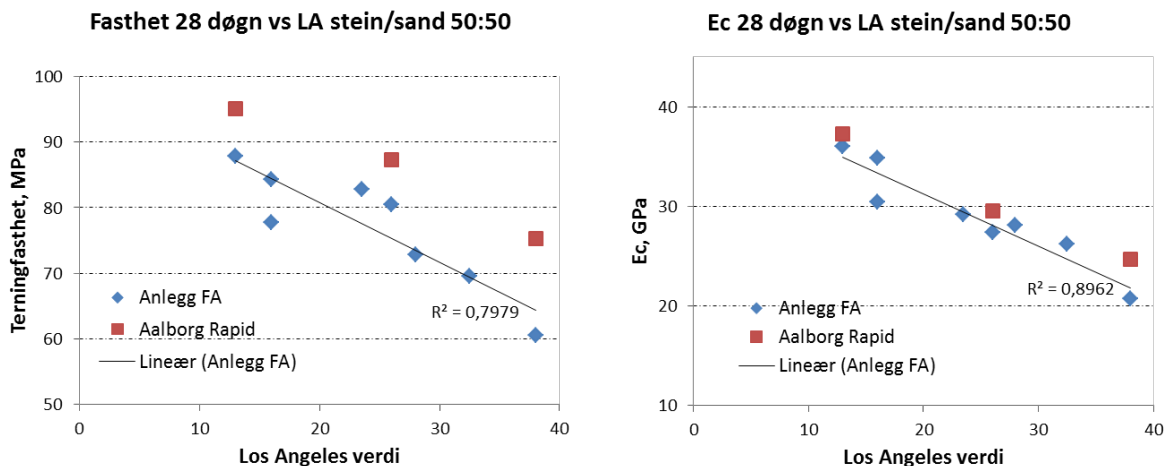
Vår tidligere undersøkelse som er nevnt innledningsvis i rapporten (Pedersen & Kompen 2011) viste stor spredning i trykkfasthet. Hovedresultatene for trykkfasthet og E-modul er vist i Figur 5. Etter 28 døgn var spredningen fra 60,5 - 87,8 MPa, noe som utgjør 45 % forskjell. Etter 365 døgn var spredningen 72,5 - 116 MPa, tilsvarende 60 % forskjell. Variasjonsspekteret for E-modul var 20,7 - 36 GPa (74 %) og 25,7 - 41,6 GPa (62 %) etter henholdsvis 28 og 365 døgn. Den høyeste trykkfastheten ble oppnådd med knust basalt som grov-fraksjon, mens den laveste trykkfastheten ble oppnådd med et naturtilslag fra Nordland.

Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper



Figur 5 Trykkfasthet (venstre) og E-modul (høyre) for 8 norske tilslagskombinasjoner. Masseforhold 0,39, 4 % silikastøv, 4-5 % luft, Anlegg FA sement. Fra Pedersen & Kompen (2011).

Det ble funnet en relativt god korrelasjon mellom Los Angeles verdi for tilslaget (middel LA-verdi for sand og stein) og trykkfasthet, og i enda større grad mellom LA-verdi og E-modul. Plott som viser sammenhengen mellom LA verdi for henholdsvis trykkfasthet (venstre) og E_c (høyre) er vist i Figur 6.



Figur 6 Sammenheng mellom Los Angeles-verdi for tilslag (middelverdi for stein og sand) og trykkfasthet (venstre) og tilsvarende for E-modul (høyre). Fra Pedersen & Kompen (2011).

Også andre forhold enn det som er nevnt har betydning, spesielt kan her nevnes volumforholdet mellom tilslag og sementpasta. I det relevante området for mørtel og betong (ca. 50-75 % tilslagsvolum) er det en økende trykkfasthet ved økende tilslagsvolum (Stock et al. 1979). En annen effekt som er relativt godt kjent etter hvert er at økende D_{max} gir redusert trykkfasthet. I følge De Larrard & Belloc (1997) var det Walker & Bloem (1960) som var de første til å publisere denne sammenhengen, som den gang overasket forskningsmiljøene på betong. I praksis benyttes ofte D_{max} 16 mm for høyfaste betonger, men for å oppnå spesielt høye fastheter kan det være aktuelt med mindre steinstørrelser.

3.3 Oppsummering og avsluttende diskusjon

For E-modul er det relativt åpenbart at tilslagets stivhet har størst betydning. De fleste studier viser at det grove tilslaget (oftest definert som +4 mm) har langt større betydning enn sandtilslaget. For å oppnå høy E-modul i betong må man altså velge et tilslag med høy E-modul, og samtidig proporsjonere betongen slik at andelen grovt tilslag er stor. Dersom man kjenner E-modul for henholdsvis sementpasta og tilslag (og samtidig kjenner volumfordelingen mellom disse i den aktuelle betongen) vil man ved å bruke Hirsch-modellen kunne forutsi betongens resulterende E-modul med relativt stor grad av sikkerhet. I og med at forskjellen mellom E-modul for sementpasta og tilslag er økende ved økende masseforhold vil tilslagets E-modul relativt sett få økende betydning med økende masseforhold. Effekten av å bytte til et stivere tilslag vil altså være størst for betonger med høyt masseforhold og lav styrke.

For trykkfasthet er det mer motstridende funn i litteraturen. Tilslagets styrke vil kunne ha direkte betydning, men for de fleste bergarter som er aktuelle å bruke i betong i Norge vil tilslagets mekaniske styrke være vesentlig høyere enn sementpastaens styrke. Men også tilslagets stivhet vil ha vesentlig betydning for betongens styrke. Den store stivhetsforskjellen mellom sementpasta og tilslag har følgende effekter:

- Tilslaget vil avlaste sementpastaen, slik at midlere spenning for sementpastaen blir vesentlig lavere enn den ytre spenningen, mens tilslagets midlere spenning vil bli tilsvarende høyere.
- Forskjellen i stivhet mellom sementpasta og tilslag medfører en tøyingsforskjell, som vil medføre spenningskonsentrasjoner i overgangssonen mellom pasta og tilslag.

Det følger av dette at forskjellen i E-modul mellom pasta og tilslag får direkte betydning for betongens trykkfasthet. Eksempelvis vil da et tilslag med høy E-modul og lav styrke kunne være spesielt ugunstig, fordi det gir høy midlere spenning for tilslaget og høy grad av spenningskonsentrasjon, og man kan da få brudd på relativt lave ytre spenninger. Kalkstein er eksempel på et tilslag som er i denne kategorien. Et tilslag som både er stivt og har stor mekanisk styrke (eksempelvis finkornede bergarter som basalt) vil kunne føre til økt betongstyrke fordi tilslaget har en avlastende evne og også styrke til å ta den økte midlere spenningen. Imidlertid vil effekten av spenningskonsentrasjoner i overgangssonen kunne begrense økningen i fasthet. Størrelsen på spenningskonsentrasjoner er avhengig av forskjellen i stivhet mellom bindemiddel og tilslag, og minker ved økende bindemiddelstivhet (synkende masseforhold).

I tillegg til de rent mekaniske egenskaper ved tilslaget vil også heftsonen mellom tilslag og pasta ha vesentlig betydning, og her vil forhold som overflatetekstur, mineralogi, belegg på overflater etc. ha stor betydning. Det totale bildet er dermed ganske sammensatt, og gjør det vanskelig å forutsi effekten av tilslaget. Ved høye masseforhold (lave fastheter) er det sementpastaens styrke som vil være begrensende faktor, mens tilslaget generelt får økende betydning ved høyere fastheter. Det grove tilslaget vil generelt ha større betydning enn det fine tilslaget for trykkfasthet, selv om flere studier viser at også det fine tilslaget har vesentlig betydning. Når det gjelder strekkfasthet er det funnet relativt få studier. Noen studier tyder på at det som betyr mest er fastheten for mørteldelen samt overflateegenskapene til det grove tilslaget, og at mekaniske styrke for grovt tilslag har mindre betydning.

I noen av studiene er det i større eller mindre grad funnet sammenheng mellom Los Angeles verdi (motstand mot knusing) og E-modul og trykkfasthet i betong. Lav Los Angeles verdi gir en indikasjon på at tilslaget har «gode mekaniske egenskaper», men det er ikke mulig å forutsi

hverken E-modul eller trykkfasthet ut fra LA-verdi. Fundamentale mekaniske egenskaper som trykkfasthet, E-modul, strekkfasthet og eventuelt bruddenergi er sjelden tilgjengelig for kommersielle tilslag, men karakteriseres av og til i forskningsøyemed.

4 Forsøksprogram, materialer og metoder

4.1 Forsøksmatrise og betongsammensetning

Det ble valgt ut fire sand-fraksjoner (0/8 mm) med spredning i Los Angeles-verdi fra 10 til 34. To av sandtypene er natursand, mens to er produsert fra knust berg. Tilsvarende ble det valgt ut fire stein-fraksjoner (8/16 mm) med spredning i Los Angeles-verdi fra 9 til 42. Alle steinfraksjonene er produsert fra knust berg. Detaljert informasjon om tilslagene er gitt i kapittel 4.2.1. Forsøksmatrise er vist i Tabell 3.

Tabell 3 Forsøksmatrise. Alle kombinasjoner av sand (0/8 mm) og stein (8/16 mm) hvor det er angitt tall i tabellen (tallene representerer middel LA-verdi for sand- og steinfraksjon) er testet ved masseforhold 0,39. I tillegg er to av reseptene merket med * også testet ved høyt (0,59) og lavt (0,34) masseforhold.

Stein / Sand	Bjønndalen 0/8 (K) LA = 10	Lier 0/8 (N) LA = 17	Velde 0/8 (K) LA = 20	Ullsfjord 0/8 (N) LA = 34
Steinskogen 8/16 LA = 9	9,5	13*	14,5	21,5
Velde 8/16 LA = 20			20	
Råde 8/16 LA = 32			26	
Sarpsborg 8/16 LA = 42	26	29,5	31	38*

K = knust sand N = natursand

Det ble valgt en vanlig standard SV-Standard betong med tilslagsstørrelse D16 og 4 % silikastøv som basisresept. Det ble valgt å holde mengde sementpasta konstant, dvs. konstant mengde sement, silikastøv og fritt vann. Tilslaget ble proporsjonert på volumbasis, med konstant volumfordeling mellom grovt og fint tilslag (47/53 %). Tilslagene har varierende vannbehov, SP-stoff ble derfor brukt aktivt for å justere konsistensen. Det ble ikke tilsatt L-stoff. Betongene ble proporsjonert ut fra en forutsetning om 2 % naturlig luft. Oppnådd luftinnhold er vist under resultater.

Basisresept for betonger med masseforhold 0,39: (mengder i kg/m³)

- Masseforhold: 0,39
- Fritt vann: 175
- Norcem Anlegg FA: 414,2
- Silikastøv: 17,3
- Fint tilslag 0/8: 53 volum %
- Grovt tilslag 8/16: 47 volum %
- Mapei Dynamon SX-23: Varierende mengde, se detaljer under resultater

Resept for betonger med masseforhold 0,34: (mengder i kg/m³)

- Masseforhold: 0,34
- Fritt vann: 170
- Norcem Anlegg FA: 461,5
- Silikastøv: 19,2
- Fint tilslag 0/8: 53 volum %
- Grovt tilslag 8/16: 47 volum %
- Mapei Dynamon SX-23 Varierende mengde, se detaljer under resultater

Resept for betonger med masseforhold 0,59: (mengder i kg/m³)

- Masseforhold: 0,59
- Fritt vann: 192
- Norcem Anlegg FA: 325,4
- Silikastøv: 0
- Fint tilslag 0/8: 56 volum %
- Grovt tilslag 8/16: 44 volum %
- Mapei Dynamon SX-23 Varierende mengde, se detaljer under resultater

Følgende blandedprosedyre ble benyttet:

- Tørrblanding 1 minutt
- 50 % av vannmengde tilsettes i løpet av 30 sek. Blandingsperiode
- Resterende vannmengde tilsettes i løpet av 60 sek. Blandingsperiode
- Blanding i 30 sek.
- Blandemaskinen står i ro i 120 sek.
- SP-stoff tilsettes i løpet av 30 sek. Blandeperiode
- Betongen blandes i ytterligere 90 sek.

Graderinger for hver enkelt betong er gitt i Vedlegg 1.

Alle forsøk ble gjennomført ved Statens vegvesens Sentrallaboratorium i Oslo.

4.2 Materialer

4.2.1 Tilslag

Det er benyttet følgende tilslag/fraksjoner:

Grove fraksjoner:

- Steinskogen 8/16: knust fjell av basalt
- Velde 8/16: knust fjell av granitt
- Råde 8/16: knust fjell av gneisgranitt
- Sarpsborg 8/18: knust fjell av granitt

Petrografiske beskrivelser basert på produsentenes produktdeklarasjoner er gitt under:

Steinskogen 8/16 mm

Forekomsten består av knust fjell av basalt. Hovedsakelig sammensatt av kubisk skarpkantede korn. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.

Velde 8/16

Knust fjell forekomst av granitt, hovedsakelig sammensatt av kubisk skarpkantede korn. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.

Sarpsborg 8/6:

Knust pukk fra Sarpsborg Pukkverk. Fin- middelskornet lyse bergartsfragmenter. Kubiske korn uten belegg på kornoverflatene. Friske kornoverflater. Svake forvitrede korn, aurhellekorn og skjell er ikke registrert. Materialet inneholder ikke kalkstein.

Råde 8/18:

Knust pukk fra Råde Pukkverk. Fin- middelskornet lyse og noen rosa bergartsfragmenter. Hovedsakelig kubiske korn uten belegg på kornoverflatene. Friske kornoverflater. Svake forvitrede korn er ikke registrert. Aurhellekorn og skjell er ikke registrert. Materialet inneholder ikke kalkstein.

Fine fraksjoner:

Bjønndalen 0/8:	Knust berg av rombeporfyr
Lier 0/8:	Sand/grus fra løsmasseforekomst
Velde 0/8:	Knust berg av granitt
Ullsfjord 0/8:	Sand/grus fra løsmasseforekomst

Petrografiske beskrivelser basert på produsentenes produktdeklarasjoner er gitt under:

Bjønndalen 0/8 mm

Forekomsten består av knust fjell og dominerende bergart er rombeporfyr. Kornene er friske og overflatebelegg er uten betydning.

Lier 0/8 mm

Sand med knuste korn fra løsmasseforekomst sammensatt hovedsakelig av kubisk rundede/skarpkantede korn av sandstein, siltstein, hornfels, kalkstein, granitt, gneis, feltspatisk bergart, kvarts og mafisk bergart. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.

Velde 0/8 mm

Knust fjell forekomst av granitt, hovedsakelig sammensatt av kubisk skarpkantede korn. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.

Ullsfjord 0/8 mm:

Materialet består av sand og grus fra en løsmasseforekomst. Grovandelen består av kvartsitt, kvartsittisk gneis og glimmerskifer. Mafiske bergarter som gabbro og amfibolitt er også representert. Finandelen består av frikorn av kvarts, feltspat, glimmer, hornblende og pyroksen. Materialet består vesentlig av kubisk kantavrundede korn. Ca 10 % av kornene er flisige/stenglige. Materialet er gjennomgående friskt, men forvitrede korn kan iaktaes. Et lite finstoffbelegg som lett vaskes av.

Tabell 4 Sentrale tekniske egenskaper for tilslagsfraksjonene basert på prøving i eget laboratorium. Oversikt over produsentenes deklarererte egenskaper er vist i vedlegg.

Tilslagsfraksjon	Densitet ¹⁾	Absorbert vann %	LA-verdi	Kulemølle	Micro-Deval	Flisighetsindeks	Glimmer ²⁾
Steinskogen 8/16	2956 2850	0,7	9	9,5	8	7	-
Velde 8/16	2648 2640	0,3	20	7,4	5	1	-
Råde 8/16	2667 2620	0,5	32	18,5	11	10	-
Sarpsborg 8/16	2634 2620	0,5	42	21,6	11	6	-
Bjønndalen 0/8	2686 2720	0,7	10	7,7	5	-	3
Lier 0/8	2738 2700	0,9	17	12,4	10	-	2
Velde 0/8	2640	1,0	20	7,4	5	-	5
Ullsfjord 0/8	2775 2787	0,3	34	17,3	16	-	4

- 1) Mettet overflatetørr tilstand. Øvre verdi er målt i eget laboratorium, nedre verdi er oppgitt av leverandør.
- 2) Fri glimmer i fraksjonen 0,125 - 0,250 mm

4.2.2 Sementer

Norcem Anlegg FA ble benyttet som sement for forsøkene. Denne sementen er klassifisert som en CEM II/A-V 42,5 N iht. NS-EN 197-1. Denne sementen har en retningsgivende trykkfasthet på 55 MPa etter 28 døgn ved standard sementprøving². All sement benyttet i disse forsøkene er fra samme produksjonsbatch.

4.2.3 Tilsetningsstoffer

Det ble benyttet Mapei Dynamon SX-23 som superplastiserende tilsetningsstoff for alle blandinger.

4.3 Prøvmingsmetoder

Konsistens, støpelighet:

Synkmål ble målt umiddelbart etter blanding iht. prosedyre 412 i Statens vegvesens Håndbok R210.

Luftinnhold:

Luftinnhold ble målt umiddelbart etter blanding iht. prosedyre 415 i Statens vegvesens Håndbok R210.

Densitet:

Densitet ble målt på herdnet betong ved alle prøvingstidspunkter for trykkfasthet i henhold til prosedyre 414 i Håndbok R210.

² Standard sementprøving utføres som mørtelprøving med standard sand og med masseforhold på 0,50.

Trykkfasthet, terning

Trykkfasthet ble målt ved 28, 56, og 91 døgn iht. prosedyre 421 i Håndbok R210. Alle rapporterte resultater er gjennomsnittsverdi av to terninger.

E-modul

E-modul ble testet iht. prosedyre 423 i Håndbok R210 ved prøvingsaldere på 28 og 91 døgn. Hvert resultat er gjennomsnittsverdi av 3 sylindere.

Spaltestrekkfasthet:

Spaltestrekkfasthet ble testet iht. prosedyre 424 i Håndbok R210 ved prøvingsaldere på 28 og 91 døgn. Hvert resultat er gjennomsnittsverdi av 4 sylindere.

Trykkfasthet, sylinder:

Sylindrene fra E-moduls-forsøkene ble trykket til brudd iht. prosedyre 421. Rapporterte verdier er gjennomsnittsverdi av 3 sylindere.

5 Resultater

5.1 Synkmål, luft og densitet

Oppnådde resultater for konsistens og luft vises i Tabell 5. Resultater for oppnådd densitet for herdet betong vises også i tabellen. Resultatene er relativt tilfredsstillende mht. måloppnåelse for synkmål (150-200 mm). Noen av blandingene, spesielt blanding 3, hadde imidlertid noe lavere synkmål enn de ideelt skulle hatt. Alle betongene var imidlertid relativt lette å støpe ut.

Mengde SP-stoff gjenspeiler tilslagernes variasjon i «vannbehov». Blanding 1 og 5 med Bjønndalen sand skiller seg markant ut fra de øvrige betongene ved at de hadde en oppnådd synk på kun 80 mm selv med tilsatt mengde SP-stoff på 4,3 kg/m³.

Merk at det ikke ble benyttet tilsatt L-stoff. Erfaringsmessig vil behovet for L-stoff variere i ganske stor grad ut fra type sand, og det er vanskelig å forutsi hvor stor mengde L-stoff som skal til for å oppnå luftinnhold på 4-5 %. Eliminering av L-stoff representerte dermed en forenkling av blandeprosessen. Oppnådd naturlig luftinnhold varierte imidlertid fra 1,3 – 3,3 %, et variasjonsspekter som er noe høyere enn forventet.

Tabell 5 Oppnådde egenskaper

Resept nr.	Sand	Stein	Masse- forhold	SP-stoff	Synk	Luft	Densitet 28 d
				kg/m ³	mm	%	kg/m ³
1	Bjønndalen	Sarpsborg	0,39	4,36	80	1,3	2395
2A	Velde	Sarpsborg	0,39	2,6	170	1,6	2400
2B	Velde	Sarpsborg	0,39				2400
3	Lier	Sarpsborg	0,39	2,6	155	1,8	2400
4	Ullsfjord	Sarpsborg	0,39	2,6	155	1,8	2435
5	Bjønndalen	Steinskogen	0,39	4,3	80	1,6	2490
6	Velde	Steinskogen	0,39	2,2	135	1,4	2470
6B	Velde	Steinskogen	0,39				2485
7	Lier	Steinskogen	0,39	2,2	160	2,5	2495
8	Ullsfjord	Steinskogen	0,39	3,2	150	1,9	2535
9	Velde	Velde	0,39	4,3	175	2,3	2420
10	Velde	Råde	0,39	4,6	165	1,8	2440
11	Ullsfjord	Sarpsborg	0,34	3,8	170	3,3	2400
12	Lier	Steinskogen	0,34	3,2	160	2,2	2505
13	Ullsfjord	Sarpsborg	0,59	1,0	200	1,3	2430
14	Lier	Steinskogen	0,59	0,4	200	1,4	2470

5.2 Trykkfasthet, E-modul og spaltestrekkfasthet

Oppnådde trykkfastheter er vist i Tabell 6 (terning) og Tabell 7 (sylinder). Resultater for E-modul og spaltestrekkfasthet er vist i henholdsvis Tabell 8 og Tabell 9. Grafiske plott og diskusjoner av oppnådde egenskaper er vist i Kapittel 6.

Tabell 6 Trykkfasthet (terning) etter 28, 56 og 91 døgn

Resept	Sand	Stein	Masseforhold	Trykkfasthet terning, MPa		
				28 d	56 d	91 d
1	Bjønndalen	Sarpsborg	0,39	83,3	96,8	99,3
2A	Velde	Sarpsborg	0,39	79,3	89,3	92,3
2B	Velde	Sarpsborg	0,39	84,3	92,3	97,8
Middel 2A og 2B				81,8	90,8	95,0
3	Lier	Sarpsborg	0,39	85,3	96,0	101,3
4	Ullsfjord	Sarpsborg	0,39	74,5	80,5	86,0
5	Bjønndalen	Steinskogen	0,39	89,3	96,8	101,3
6A	Velde	Steinskogen	0,39	74,3	83,8	85,8
6b	Velde	Steinskogen	0,39	81,5	90,5	95,0
Middel 6A og 6B				77,9	87,1	90,4
7	Lier	Steinskogen	0,39	82,8	96,3	99,8
8	Ullsfjord	Steinskogen	0,39	78,5	88,8	94,0
9	Velde	Velde	0,39	103,3	113,5	118,3
10	Velde	Råde	0,39	99,5	107,8	108,8
11	Ullsfjord	Sarpsborg	0,34	90,3	98,8	103,0
12	Lier	Steinskogen	0,34	94,8	104,0	105,0
13	Ullsfjord	Sarpsborg	0,59	41,0	48,5	54,0
14	Lier	Steinskogen	0,59	41,3	49,0	55,8

Tabell 7 Trykkfasthet (sylinder) etter 28 og 91 døgn

Resept	Sand	Stein	Masseforhold	Sylinderfasthet 28 døgn, MPa		Sylinderfasthet 91 døgn, MPa	
				Middel	Std. Av.	Middel	Std. Av.
1	Bjønndalen	Sarpsborg	0,39	59,5	0,7	74,8	3,6
2A	Velde	Sarpsborg	0,39	60,8	2,1	71,7	0,8
2B	Velde	Sarpsborg	0,39	71,8	3,4	84,3	3,3
Middel 2A og 2B				66,3	6,5	78,0	7,3
3	Lier	Sarpsborg	0,39	69,7	0,8	74,3	1,2
4	Ullsfjord	Sarpsborg	0,39	67,5	7,4	76,7	7,2
5	Bjønndalen	Steinskogen	0,39	69,0	1,4	82,5	2,3
6A	Velde	Steinskogen	0,39	56,2	0,3	71,2	1,8
6B	Velde	Steinskogen	0,39	69,3	1,6	80,8	1,3
Middel 6A og 6B				62,8	7,3	76,0	5,5
7	Lier	Steinskogen	0,39	65,3	1,3	79,8	2,8
8	Ullsfjord	Steinskogen	0,39	62,2	0,3	78,2	0,3
9	Velde	Velde	0,39	83,5	1,3	100,2	0,3
10	Velde	Råde	0,39	75,2	2,8	85,2	1,8
11	Ullsfjord	Sarpsborg	0,34	75,2	2,8	89,3	1,3
12	Lier	Steinskogen	0,34	75,3	1,6	87,5	5,4
13	Ullsfjord	Sarpsborg	0,59	32,3	2,1	43,3	1,0
14	Lier	Steinskogen	0,59	32,5	1,0	45,0	1,0

Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper

Tabell 8 E-modul (E_c og E_0) etter 28 og 91 døgn

Resept	Sand	Stein	Masse- forhold	E _c 28 døgn, GPa		E _c 91 døgn, GPa		E ₀ 28 døgn, GPa		E ₀ 91 døgn, GPa	
				Middel	Std. Av.	Middel	Std. Av.	Middel	Std. Av.	Middel	Std. Av.
1	Bjønndalen	Sarpsborg	0,39	27,3	0,6	29,7	0,6	26,6	0,5	29,7	0,6
2A	Velde	Sarpsborg	0,39	27,9	0,4	29,7	0,4	27,1	0,3	29,5	0,4
2B	Velde	Sarpsborg	0,39	30,0	0,1	31,3	0,3	29,2	0,1	30,8	0,4
Middel 2A og 2B				28,9	1,2	30,5	0,9	28,2	1,2	30,2	0,8
3	Lier	Sarpsborg	0,39	29,7	0,3	27,6	0,2	29,4	0,5	27,1	0,3
4	Ullsfjord	Sarpsborg	0,39	28,2	2,6	29,5	2,6	27,7	2,9	29,1	2,9
5	Bjønndalen	Steinskogen	0,39	34,1	0,8	36,0	0,9	32,4	0,8	35,3	1,0
6A	Velde	Steinskogen	0,39	32,6	0,2	36,9	0,3	31,6	0,3	36,4	0,2
6B	Velde	Steinskogen	0,39	35,8	0,8	38,1	0,8	35,5	0,4	37,7	0,8
Middel 6A og 6B				34,2	1,8	37,5	0,8	33,5	2,1	37,0	0,9
7	Lier	Steinskogen	0,39	35,2	0,6	38,5	0,8	34,0	0,4	38,0	0,6
8	Ullsfjord	Steinskogen	0,39	31,1	0,9	35,7	0,8	29,6	1,0	34,8	0,8
9	Velde	Velde	0,39	36,4	0,6	38,1	1,4	35,6	0,6	38,8	2,5
10	Velde	Råde	0,39	31,8	0,7	33,4	0,5	31,1	0,5	33,2	0,4
11	Ullsfjord	Sarpsborg	0,34	30,3	0,6	32,6	0,3	29,9	0,5	32,7	0,4
12	Lier	Steinskogen	0,34	37,0	0,3	40,1	0,7	36,1	0,2	39,5	0,7
13	Ullsfjord	Sarpsborg	0,59	19,4	0,9	23,2	0,2	18,3	0,5	22,2	0,2
14	Lier	Steinskogen	0,59	28,0	0,9	32,4	0,8	27,0	1,2	31,3	0,7

Tabell 9 Spaltestrekfasthet etter 28 og 91 døgn

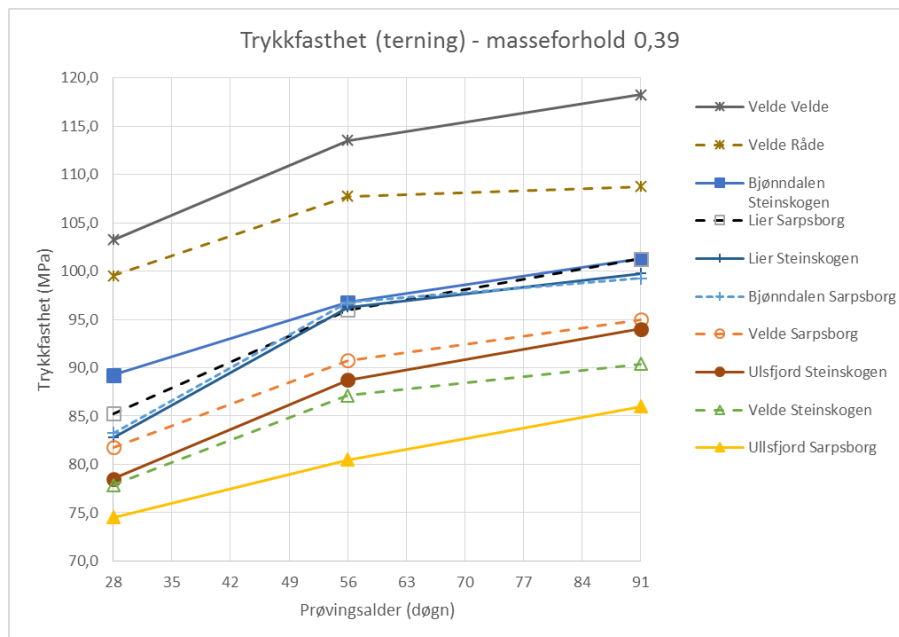
Resept	Sand	Stein	Masse- forhold	Spaltestrekfasthet			
				28 døgn, MPa		91 døgn, MPa	
				Middel	Std. Av.	Middel	Std. Av.
1	Bjønndalen	Sarpsborg	0,39	4,4	0,3	5,4	0,2
2A	Velde	Sarpsborg	0,39	4,5	0,4	5,2	0,2
2B	Velde	Sarpsborg	0,39	5,1	0,2	5,5	0,4
Middel 2A og 2B				4,8	0,5	5,3	0,3
3	Lier	Sarpsborg	0,39	4,9	0,3	5,4	0,3
4	Ullsfjord	Sarpsborg	0,39	4,3	0,0	4,8	0,3
5	Bjønndalen	Steinskogen	0,39	5,4	0,1	6,4	0,4
6A	Velde	Steinskogen	0,39	5,1	0,2	5,7	0,4
6B	Velde	Steinskogen	0,39	5,5	0,2	6,4	0,3
Middel 6A og 6B				5,3	0,3	6,0	0,5
7	Lier	Steinskogen	0,39	5,4	0,2	6,1	0,4
8	Ullsfjord	Steinskogen	0,39	5,3	0,3	5,9	0,4
9	Velde	Velde	0,39	6,1	0,2	6,8	0,5
10	Velde	Råde	0,39	5,2	0,3	6,0	0,4
11	Ullsfjord	Sarpsborg	0,34	4,8	0,1	5,4	0,3
12	Lier	Steinskogen	0,34	5,7	0,3	6,3	0,2
13	Ullsfjord	Sarpsborg	0,59	3,1	0,1	3,8	0,1
14	Lier	Steinskogen	0,59	3,3	0,3	4,1	0,1

6 Diskusjon

6.1 Tilslagets effekt på trykkfasthet

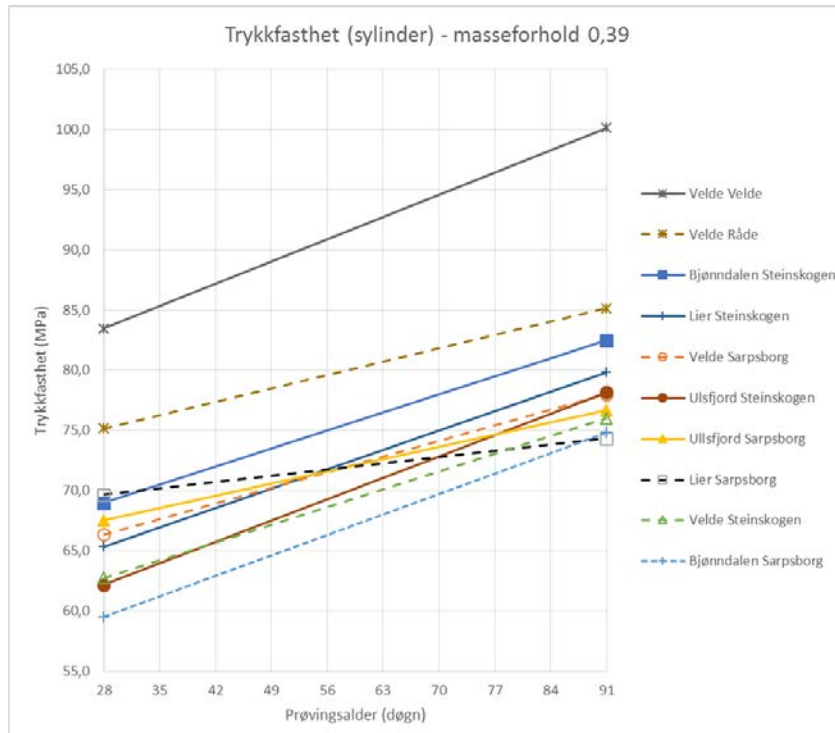
Utvikling i trykkfasthet over tid fram til 91 døgns alder er vist i Figur 7 og Figur 8 for henholdsvis terning og sylinder. Variasjonsspekeret er relativt stort, fra 75-103 MPa ved 28 døgn, og fra 86 til 118 MPa ved 91 døgn. Høyeste trykkfasthet (terning) er ca. 38 % høyere enn laveste trykkfasthet ved 28 og 91 døgns alder.

Det bemerkes at det ikke ble tilsatt L-stoff, og at betongene dermed kun inneholder «naturlig luft». Dette medfører at fasthetsnivået gjennomgående vil være i størrelsesorden 15-20 % høyere enn for tilsvarende luftinnførte betonger med luftinnhold på 4-5 %.



Figur 7 Trykkfasthet (terning) for alle betonger med masseforhold 0,39 for 28, 56 og 91 døgn.

Betong med tilslagskombinasjonen Lier-Steinskogen har tidligere blitt testet (med 4 % luft), og ga da trykkfasthet på henholdsvis 88 og 103 MPa etter 28 og 91 døgn (mot 83 og 100 MPa i denne runden). Trykkfastheten var altså lavere i denne runden til tross for at luftinnholdet var 2 % lavere, mens man normalt sett skulle forventet at trykkfastheten var ca.15 % høyere for betongen med lavest luftinnhold. Årsakene til dette kan være flere og sammensatte, hvor forskjeller i fasthetspotensiale for de to ulike uttakene av sement kan være en medvirkende årsak. Det kan imidlertid også skyldes forskjeller i egenskaper for de to ulike uttakene av tilslag. Det er i etterkant av undersøkelsen blitt påvist at tilslaget fra Steinskogen som ble benyttet i denne undersøkelsen har avvikende egenskaper i forhold til materiale fra tidligere undersøkelse, se detaljer og diskusjon om dette i slutten av Kapittel 6.1.

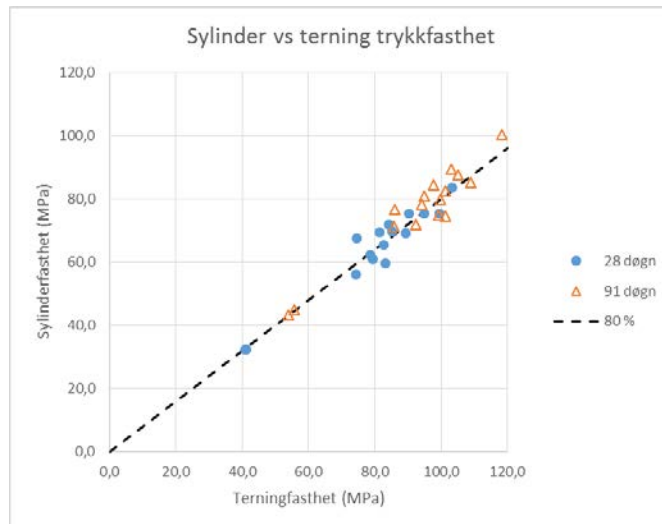


Figur 8 Trykkfasthet (sylinder) for alle betonger med masseforhold 0,39 ved 28 og 91 døgn.

For tilslagskombinasjonen Lier-Sarpborg var fasthetstilveksten fra 28-91 døgn svært lav basert på sylinder-resultater, og avvikende fra terning-resultatene som viser en mer «normal» utvikling av trykkfasthet.

Forholdet mellom trykkfasthet for sylinder og terning ligger som forventet på ca. 80 % både ved 28 og 91 døgners alder, se plott i Figur 9. Det er imidlertid noen av betongene som i betydelig grad avviker fra 80 %, spesielt gjelder dette Bjønndalen-Sarpborg med sylinder/terning-forhold på 71 % ved 28 døgn, og Ullsfjord-Sarpborg med sylinder/terning-forhold på 91 % ved 28 døgn. Vi kan også se dette ved å sammenligne Figur 7 og 8, hvor nettopp disse to betongene har «byttet plass». Tilslagstype vil kunne påvirke forholdet mellom sylinder- og terningfasthet (pga. ulik tverrutvidelse og ulik oppsprekking ved brudd), men det er ikke grunnlag for å konkludere med noe annet enn at de observerte forskjellene i denne undersøkelsen skyldes naturlig variasjon.

Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper

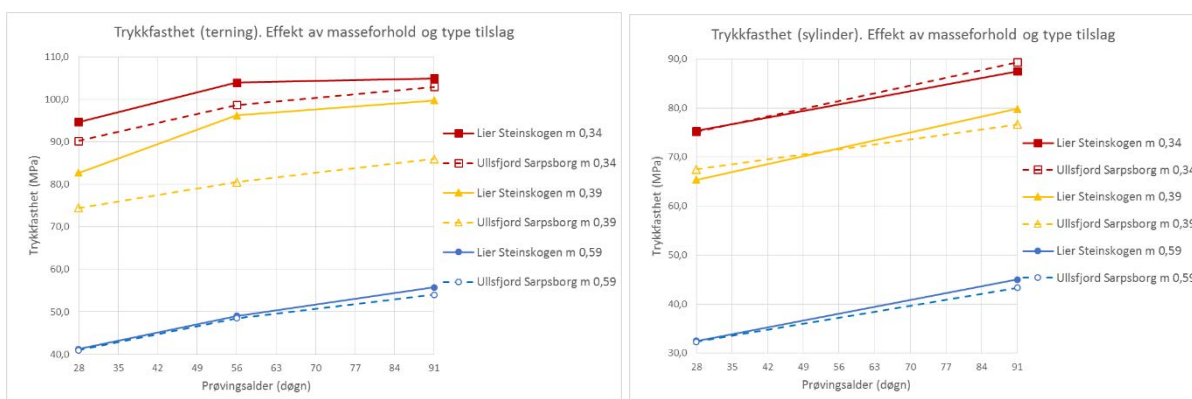


Figur 9 Forhold mellom trykkfasthet målt på sylinder og terning. Betonger med tre ulike masseforhold fra 0,34 til 0,59.

Effekten av mekanisk sterkt og mekanisk svakt tilslag (karakterisert ved Los Angeles verdi) ble testet ved 3 ulike masseforhold: 0,34 – 0,39 og 0,59 for å vurdere om effekten av tilslagets styrke er avtagende ved økende masseforhold. Følgende 2 tilslagsvarianter ble benyttet:

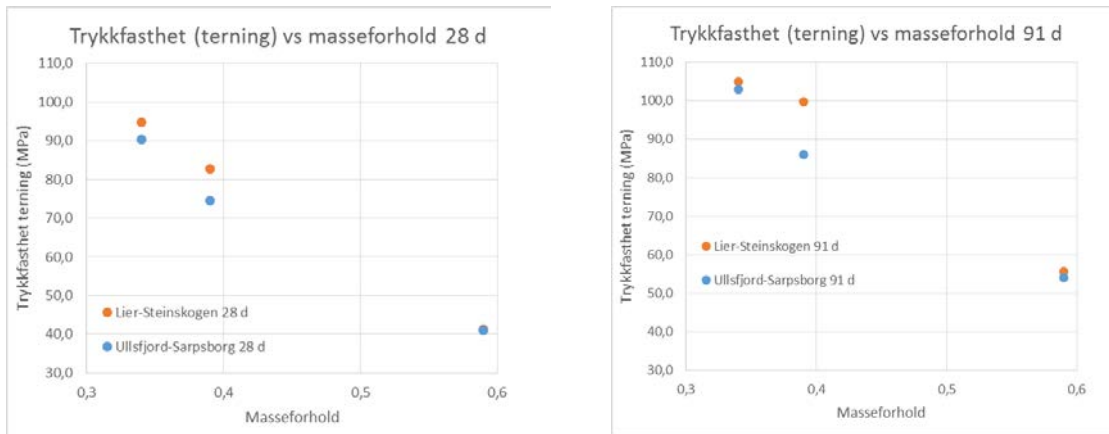
- Lier 0/8 mm (LA 17) og Steinskogen 8/16 mm (LA 9): Middel LA-verdi på 13
- Ullsfjord 0/8 mm (LA 34) og Sarpsborg 0/8 mm (LA 42): Middel LA-verdi på 38

Resultatene er plottet i Figur 10 og 11. Ved det høyeste masseforholdet (0,59) var det ingen effekt av tilslagstype, mens det ved de lavere masseforholdene (0,34 og 0,39) ble oppnådd noe høyere trykkfasthet for tilslagskombinasjonen Lier-Steinskogen basert på terning-resultater. For resultatene basert på sylinderfasthet (Figur 10, høyre) var det helt ubetydelige forskjeller mellom tilslagsvariantene ved alle tre masseforhold.



Figur 10 Trykkfasthet terning (venstre) og sylinder (høyre). Effekt av masseforhold og type tilslag. Tilslagsfraksjoner med henholdsvis høye LA-verdier (Ullsfjord LA 34 og Sarpsborg LA 42) og med lave LA-verdier (Lier LA 17 og Steinskogen LA 9).

Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper

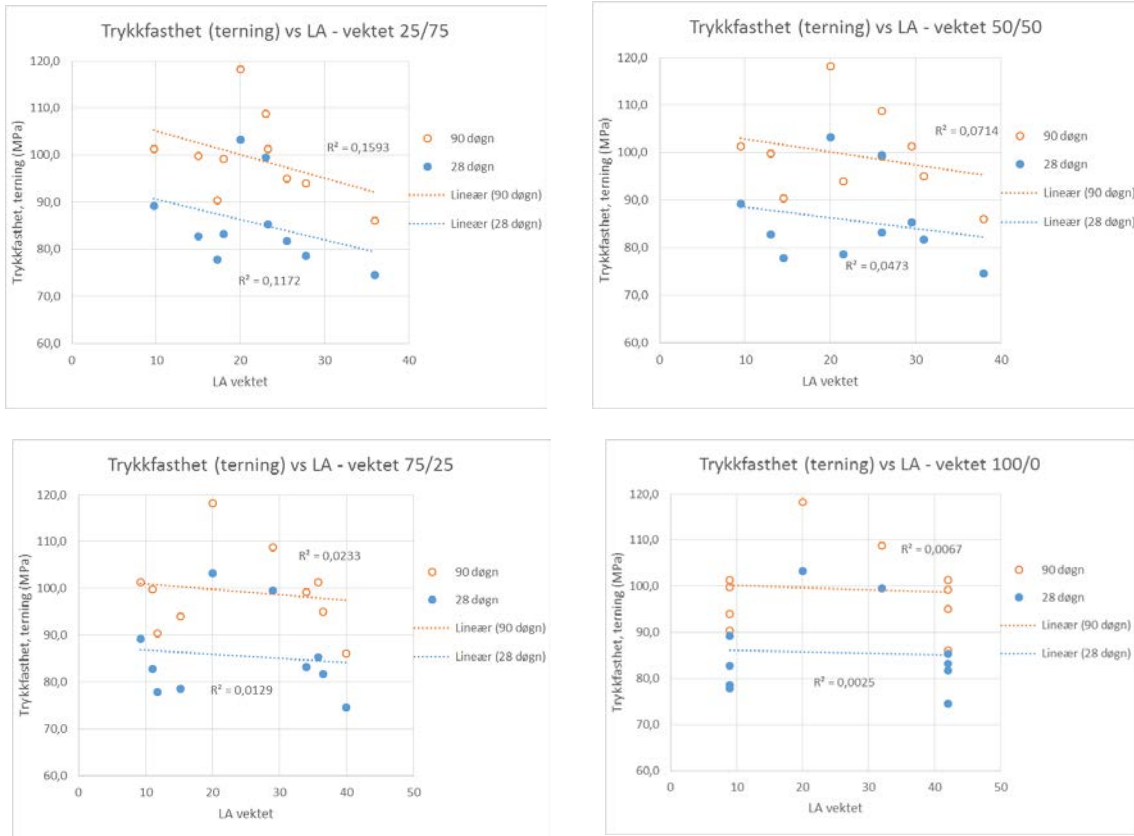


Figur 11 Trykkfasthet terning 28 døgn (venstre) og 91 døgn (høyre) som funksjon av masseforhold. Tilslagsfraksjoner med henholdsvis høye LA-verdier (Ullsfjord LA 34 og Sarpsborg LA 42) og med lave LA-verdier (Lier LA 17 og Steinskogen LA 9).

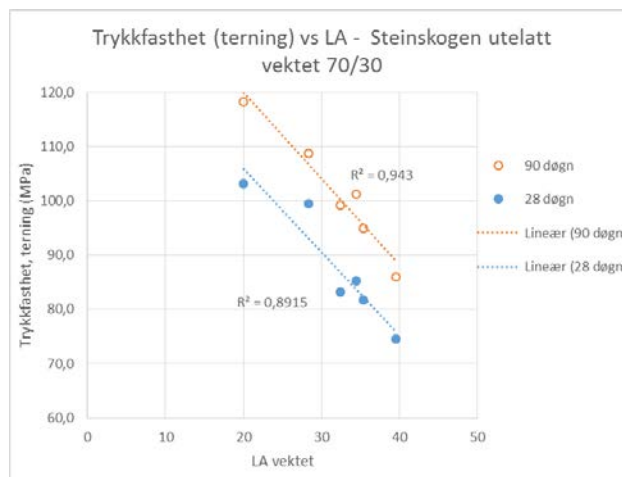
I Figur 12 er det vist plott av trykkfasthet (terning) mot LA-verdi. LA-verdiene er her beregnet som «vektet» verdi, hvor f.eks. 75/25 betyr at steinens verdi er vektet 75 % og sandens verdi er vektet 25 % i total verdi. Plottene viser at det for denne serien er liten eller ingen sammenheng mellom trykkfasthet og LA-verdi, nærmest uavhengig av vektingsforholdet mellom stein/sand.

Det er imidlertid resultatene for Steinskogen som «ødelegger» korrelasjonen, og ved å utelate alle betonger med tilslag fra Steinskogen oppnås en god korrelasjon. Korrelasjonen er best ved et vektingsforhold på ca. 70/30 mellom stein og sand ved beregning av LA-verdi. Dette er vist i Figur 13. Se ellers etterfølgende diskusjon angående Steinskogen-tilslaget.

Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper



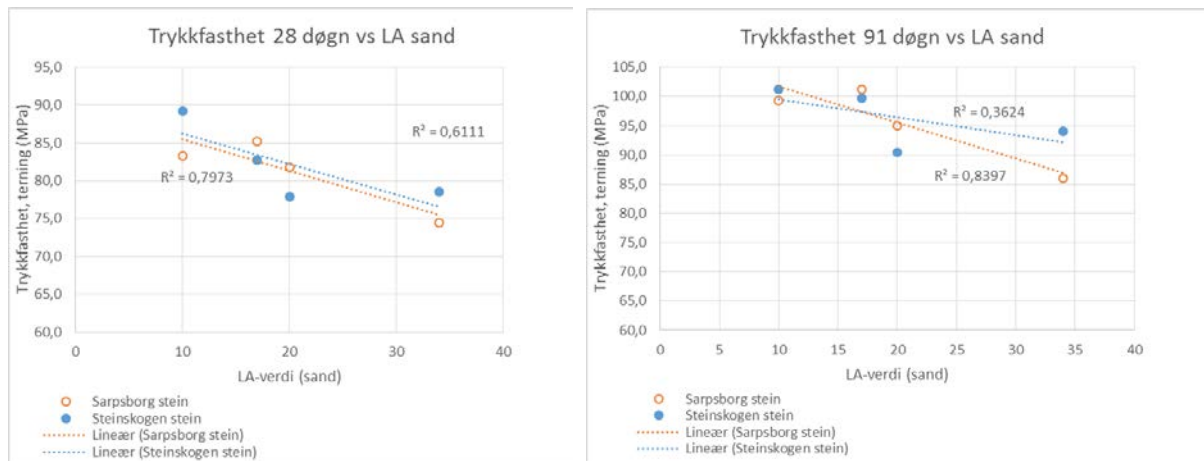
Figur 12 Trykkfasthet som funksjon av LA-verdi. Vekting av LA-verdi for stein/sand variert fra 25/75 til 100/0.



Figur 13 Trykkfasthet (terning) som funksjon av LA-verdi beregnet ved en vekting på 70/30 mellom stein og sand. Alle betonger med Steinskogen tilslag utelatt.

I Figur 14 er trykkfasthet plottet mot LA-verdi for sand, for betonger med henholdsvis Sarpsborg og Steinskogen stein. Følgende kan leses ut fra plottene:

- De to steintypene med LA-verdier på henholdsvis 42 (Sarpsborg) og 9 (Steinskogen) ga tilnærmet like resultater for trykkfasthet.
- Det er en viss effekt av sandtype på trykkfasthet, ved at det skiller 14 MPa mellom høyeste og laveste verdi (innenfor samme stein-serie) ved 91 døgn. Det er videre en viss grad av korrelasjon mellom trykkfasthet og LA-verdi for sand.
- Knust sand har ikke gitt høyere fasthet enn natursand. De to natursandstypene har gitt både høyest (Lier) og lavest (Ullsfjord) verdi.



Figur 14 Trykkfasthet (terning) plottet mot LA-verdi for 4 sandtyper ved 2 aldre. Steintyper med henholdsvis lav verdi (Steinskogen, LA 9) og høy verdi (Sarpsborg, LA 42). Sandtyper, fra venstre mot høyre: Bjørndalen (knust), Lier (natur), Velde (knust), Ullsfjord (natur).

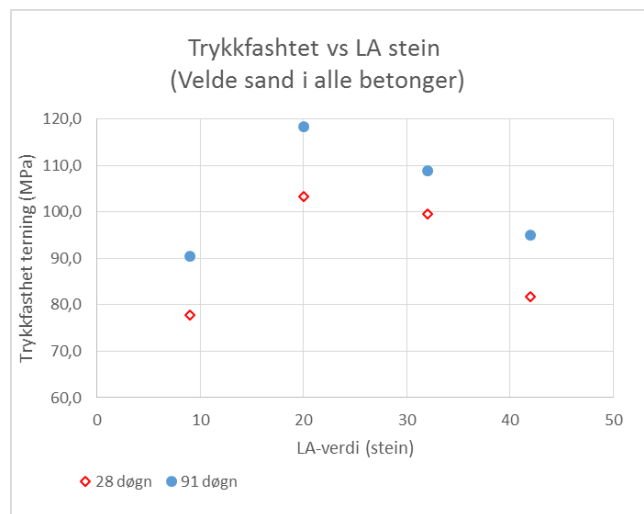
I Figur 15 er den isolerte effekten av å variere steintilslag vist for 2 aldre. Det er benyttet Velde sand i alle disse betongene. Forskjellen mellom høyeste og laveste verdi er 25 og 28 MPa ved henholdsvis 28 og 91 døgns aldre. Den isolerte effekten av steintilslag er altså betydelig, og langt større enn tilsvarende isolerte effekt av sandtilslag. Det er bemerkelsesverdig at betong med Velde stein (LA 20) har gitt 28 MPa høyere trykkfasthet etter 91 døgn enn betong med Steinskogen (LA 9). Det er videre bemerkelsesverdig at betong med Steinskogen har gitt 4 MPa lavere trykkfasthet enn betong med stein fra Sarpsborg (LA 42) ved 28 døgn. Den lave trykkfastheten for betong med Steinskogen-tilslaget representerer et avvik i forhold til tidligere utførte testserie (Pedersen & Kompen 2011), og også fra forsøk av Smeplass (1992), hvor dette steintilslaget ga høyest fasthet. Betongene med stein fra Steinskogen og Sarpsborg har blitt kjørt to ganger, og verdiene som er plottet i Figur 15 er middelverdi av de 2 blandingene. Enkeltverdiene for hver blanding var 79 og 84 for Sarpsborg og 74 og 82 for Steinskogen ved 28 døgn. Det var altså en viss spredning mellom enkeltresultatene, men repeterte blandinger har bekreftet at Steinskogen og Sarpsborg med svært ulike mekaniske egenskaper har gitt omtrent likeverdige egenskaper mht. trykkfasthet.

Basert på de avvikende resultatene for Steinskogen-tilslaget, ble det foretatt følgende undersøkelse av Franzefoss' geolog:

- Undersøkelse av steintilslaget, basert på tilsendt betongprøve
- Undersøkelse av produsert basalt i 2012 kontra 2016 basert på produksjonlogg

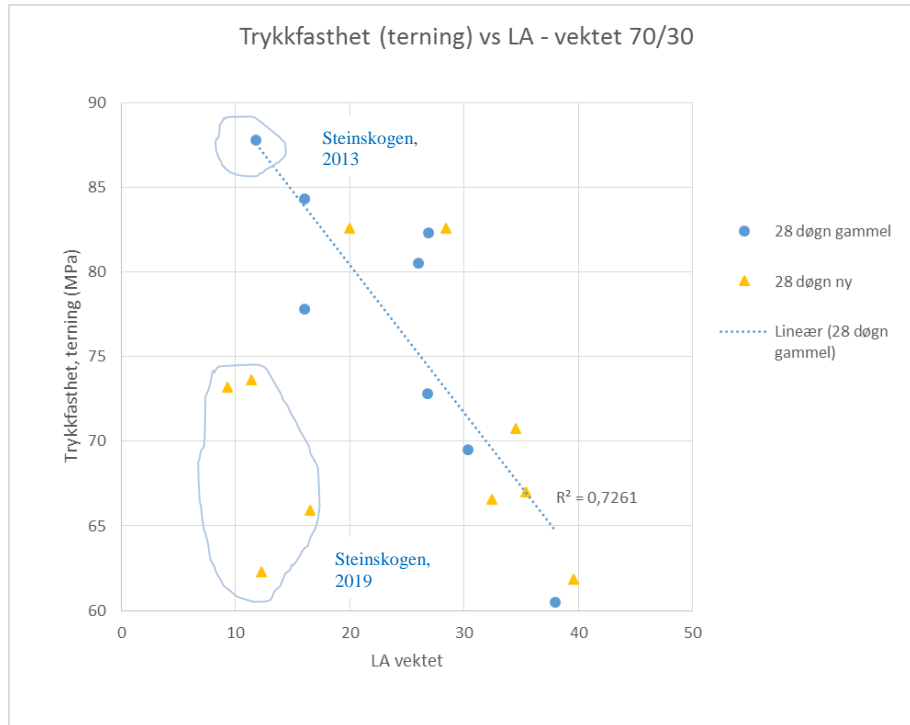
Undersøkelsen viste følgende resultat (Grannes 2018):

«Tilslaget levert ved forrige analyse (2012) var homogent og besto av finkornet basalt med små lister av plagioklas. Tilslaget som ble levert til betongtesting i 2016 ble tatt ut i ett annet område i anlegget, og består av flere forskjellige typer basalt som finnes på Steinskogen. Ut i fra betongprøven ser vi at tilslaget inneholder 20-30% epidotoid basalt, denne har noe høyere mekaniske verdier enn resten av basaltene. I denne perioden ble det i tillegg produsert fra dagfjell. Epidotsonene er kjent og opptrer i varierende tykkelser rundt om i anlegget, men utgjør kun ett begrenset volum <5% totalt. Tilslaget det er blitt testet på i 2016 er derfor ikke representativt for bruddet på Steinskogen.»



Figur 15 Trykkfasthet (terning) plottet mot LA-verdi for 4 steintyper ved 2 aldre. Velde sand i alle betonger. Steintyper fra venstre mot høyre: Steinskogen, Velde, Råde, Sarpsborg (alle produsert fra knust berg).

Resultatene fra undersøkelsen i 2013 (Pedersen & Kompen 2013) er plottet sammen med de nye resultatene i Figur 16. Betongene er ikke direkte sammenlignbare siden det i 2013-undersøkelsen ble benyttet luft (ca. 4 %) mens betongene i den nye undersøkelsen ikke ble tilsatt luft. Trykkfasthet for betonger fra ny (2019) undersøkelse har derfor i denne sammenhengen blitt omregnet til lavere fasthet, under antagelsen om at hver % økning i luft gir ca. 7,5 % reduksjon i trykkfasthet. Som diskutert tidligere har betonger med Steinskogen 8/16 mm gitt betydelig lavere trykkfasthet i ny undersøkelse sammenlignet med 2013-studien, dette vises tydelig i Figur 16. Disse 4 betongene (Steinskogen 8/16 i kombinasjon med 4 ulike sandtyper) representerer et vesentlig avvik i trenden, og illustrerer tydelig at det er svakheter ved bruk av LA-verdi som kriterium for valg av tilslag.



Figur 16 Trykkfasthet for ny (2019) og gammel (Pedersen & Kompen 2013) undersøkelse plottet mot LA-verdi. Alle betonger har masseforhold 0,39 og Norcem Anlegg FA sement. Resultater fra ny undersøkelse omregnet til fasthet for tilsvarende betonger med ca. 4 % luft. LA-verdi er beregnet med en vektingsfaktor på 70 % fra stein og 30 % fra sand. Betonger med Steinskogen 8/16 fra gammel og ny undersøkelse er markert. Inntegnet regresjonslinje gjelder for serien fra 2013.

Oppsummert om trykkfasthet:

- Undersøkelsen har vist at steintilslaget (8/16 mm) isolert sett har større betydning for trykkfasthet i betong enn sandtilslaget (0/8), men at også sandtilslaget har en viss betydning.
- Det ble ikke funnet samme tydelige sammenheng mellom LA-verdi og trykkfasthet som i tidligere studie (Pedersen & Kompen 2013). Spesielt har steintilslag fra Steinskogen, basalt med lav LA-verdi og kjent høy trykkfasthet og E-modul fra tidligere studier,³ gitt lav trykkfasthet sammenlignet med tidligere studier. Det er påvist at steinen som ble benyttet i denne studien avviker mineralogisk fra hovedbergarten i bruddet, ved at den i stor grad inneholder epidot-holdig basalt. Dette har ikke i vesentlig grad gitt utslag på LA-verdi. En mulig forklaring på den lave trykkfastheten kan være at den epidot-holdige basalten har gitt en annen type kontaktzone mellom tilslag og sementpasta.
- De avvikende resultatene for Steinskogen-basalten er planlagt undersøkt nærmere, ved at stein fra ulike soner i bruddet vil bli karakterisert og testet ut i betong.

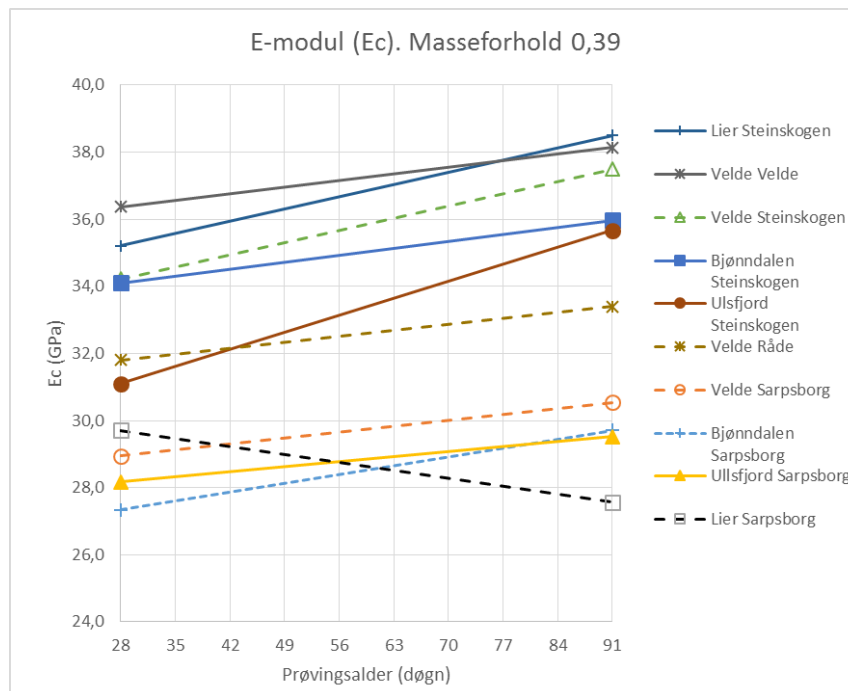
Denne studien har fokusert mye på Los Angeles verdi. De øvrige «mekaniske testene» Micro Deval og kulemlle karakteriserer i større grad abrasive egenskaper enn Los Angeles verdi.

³ I tidligere studie av Smeplass (1992) ble E_c og trykkfasthet målt til henholdsvis 74 GPa og 346 MPa for basalt fra denne forekomsten.

Steintilslaget som har gitt høyest trykkfasthet (Velde) har imidlertid lavest verdi for både kulemølle og Micro-Deval, men den totale korrelasjonen mot hele settet av trykkfasthet er ikke spesielt god ($R^2 < 0,4$ for Micro-Deval og $R^2 < 0,15$ for kulemølle ved vektingsfaktor stein/sand på 75 %). Øvrige deklarete egenskaper er vist i Kapittel 4.2.1. Det er noen ganske små forskjeller i absorbert vann og kornform, og noen av tilslagene har løst belegget på korn. Det er ikke konstatert svake korn eller aurrheller i noen av tilslagene. Mengde friknust glimmer i sandfraksjonene er meget lav (under 5 %). Det er ikke funnet noen spesielle sammenhenger mellom noen av disse egenskapene ved tilslagene og oppnådd trykkfasthet i betong.

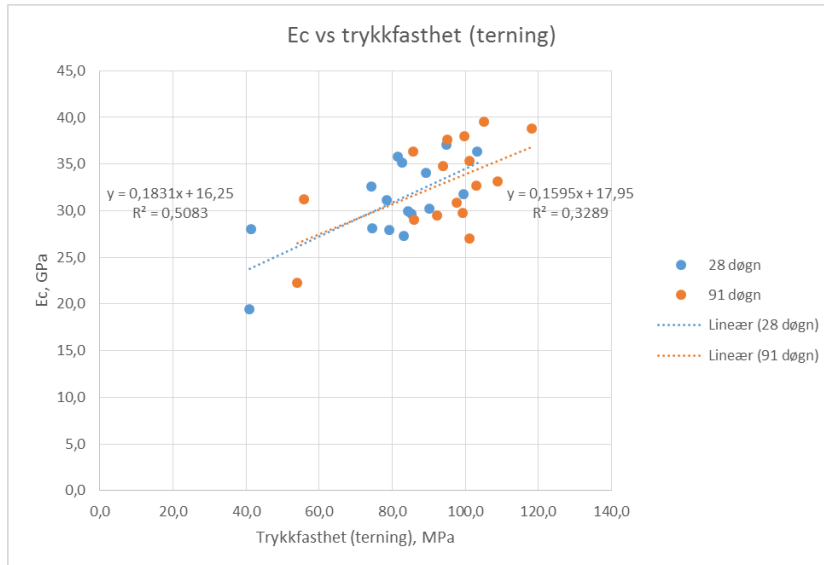
6.2 Tilslagets effekt på E-modul

Oppnådd E-modul (E_c) ved 28 og 91 døgns alder for alle betonger med masseforhold på 0,39 er vist i Figur 17. Differansen mellom høyeste og laveste verdi er 9 GPa ved 28 døgn, økende til 10,5 GPa ved 91 døgn. Høyeste verdi ved 91 døgn er 38 % høyere enn laveste verdi. Det er en gjennomsnittlig økning på 2,4 GPa fra 28 til 91 døgn, bortsett fra for betongen med Lier-Sarpsborg tilslag som har gitt redusert E_c fra 28 til 91 døgn. Det er ikke avdekket noen spesiell årsak til at denne betongen har gitt avvikende resultat.



Figur 17 E-modul (E_c) for alle betonger med masseforhold 0,39.

Sammenhengen mellom trykkfasthet og E-modul er vist i Figur 18. Det er en viss grad av sammenheng, men som plottet viser er variasjonsområdet i oppnådd E_c ganske stort for relativt like trykkfastheter.



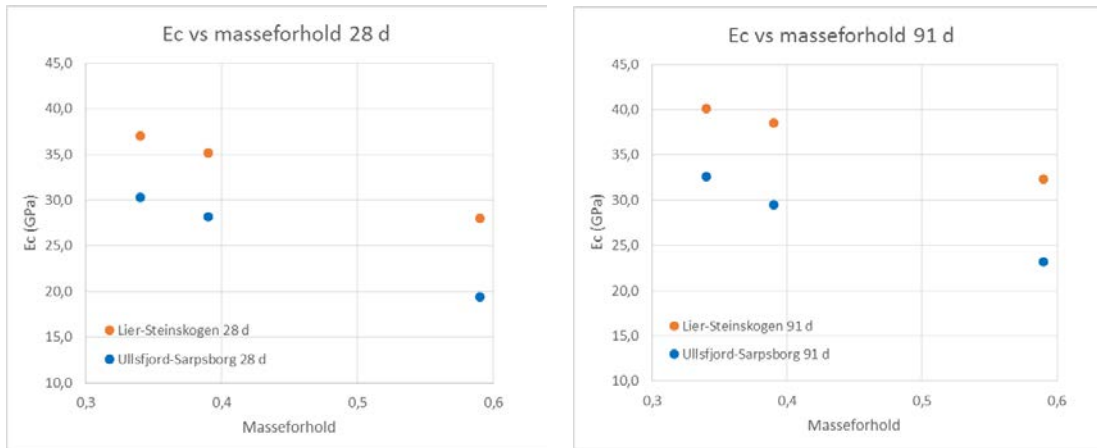
Figur 18 E_c som funksjon av trykkfasthet (terning). Resultater for betonger med tre ulike masseforhold fra 0,34 til 0,59.

Effekten av mekanisk sterkt og mekanisk svakt tilslag (karakterisert ved Los Angeles verdi) ble testet ved 3 ulike masseforhold: 0,34 – 0,39 og 0,59 for å undersøke om effekten av tilslagets styrke er avtagende ved økende masseforhold. Følgende to tilslagsvarianter ble benyttet:

- Lier 0/8 mm (LA 17) og Steinskogen 8/16 mm (LA 9): Middel LA-verdi på 13
- Ullsfjord 0/8 mm (LA 34) og Sarpsborg 0/8 mm (LA 42): Middel LA-verdi på 38

Resultatene er plottet i Figur 19. Resultatene viser følgende:

- Det er en tydelig effekt av masseforhold, ved at det laveste masseforholdet ga 8-9 GPa høyere verdi enn det høyeste masseforholdet. Dette er i tråd med forventningene.
- Det er som forventet en begrenset effekt av herdetid, med en økning på ca. 2-4 GPa fra 28 til 91 døgn.
- Det er en tydelig effekt av tilslagstype, ved at tilslagskombinasjonen med lavest LA-verdi ga ca. 8-9 GPa høyere verdier enn tilslagskombinasjonen med høyest LA-verdi ved alle masseforhold. Den relative effekten av å bytte tilslag var altså størst ved høyest masseforhold (ca. 40 % økning), og minst ved lavest masseforhold (ca. 24 % økning), i tråd med forventningene som er diskutert i Kapittel 3.



Figur 19 Ec som funksjon av masseforhold og type tilslag ved 28 døgn (venstre) og 91 døgn (høyre). Tilslagsfraksjoner med henholdsvis høye LA-verdier (Ullsfjord LA 34 og Sarpsborg LA 42) og med lave LA-verdier (Lier LA 17 og Steinskogen LA 9). Hver verdi er gjennomsnitt av 3 enkeltprøver.

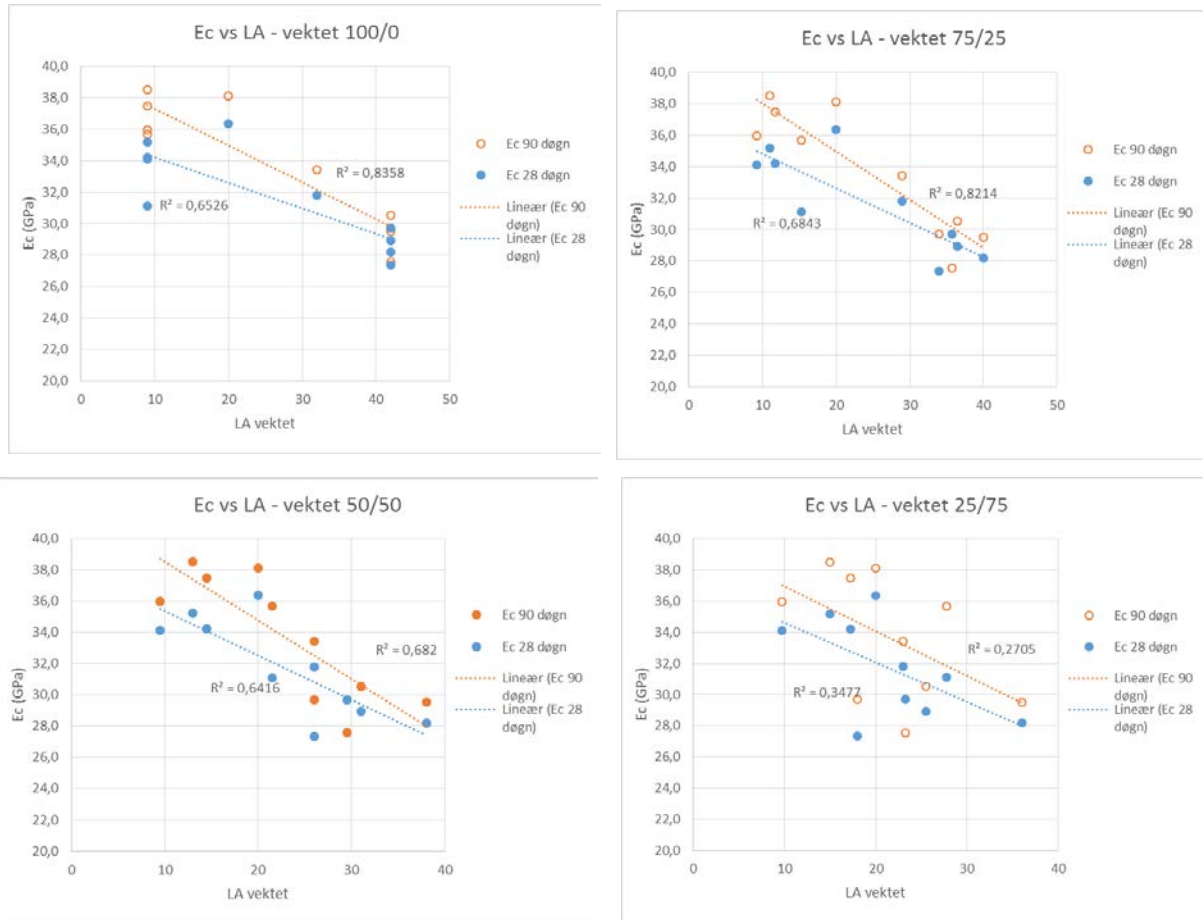
I Figur 20 er Ec plottet mot «vektet LA-verdi», hvor vektingen er variert fra 100/0 (LA-verdi kun for stein) til 25/75 (beregnet LA-verdi hvor LA-verdien til stein og sand er vektet henholdsvis 25 og 75 %). Korrelasjonen er økende med økende vektning av steintilslaget, opp til ca. 75-80 %. Ved vektingsforhold 0/100, altså at sandtilslaget vektet 100 %, er det tilnærmet ingen korrelasjon mot E-modul.

Det bemerkes at oppnådd E-modul for kombinasjonen Lier-Steinskogen ved masseforhold 0,39 ligger omtrent på samme nivå som oppnådd i tidligere forsøksserie (Pedersen & Kompen 2013). Verdiene fra den undersøkelsen var henholdsvis 36 og 39 GPa ved 28 og 91 døgn. Betongene er imidlertid ikke direkte sammenlignbare siden det ble benyttet luft (ca. 4 %) i 2013-undersøkelsen mens det ikke ble benyttet luftinnføring i denne nye undersøkelsen. Se for øvrig Figur 23 hvor omregnede resultater fra ny undersøkelse er plottet sammen med resultater fra 2013-undersøkelsen.

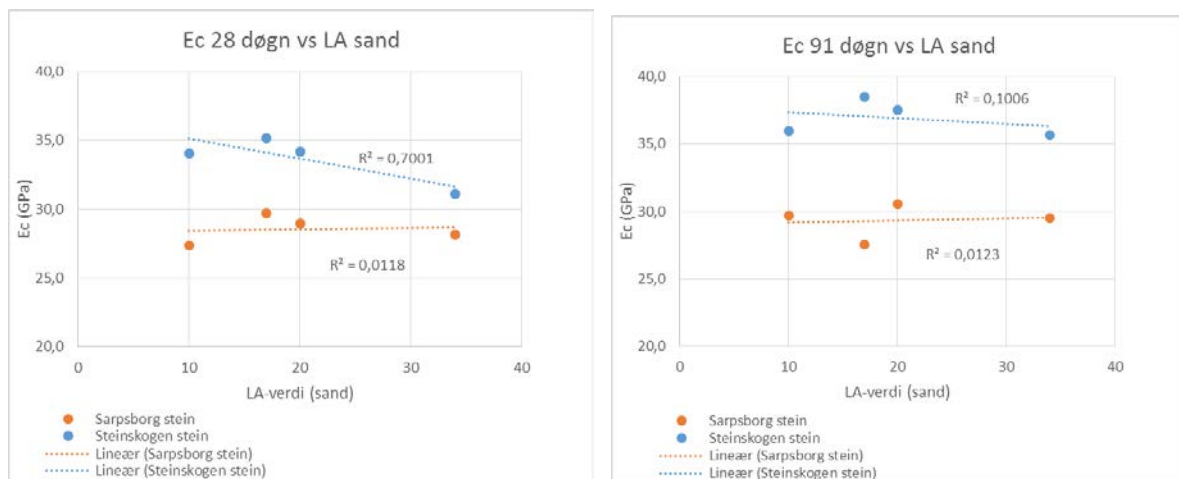
I Figur 21 er trykkfasthet plottet mot LA-verdi for sand, for henholdsvis Sarpsborg og Steinskogen stein. Følgende kan leses ut fra plottene:

- Steinskogen stein (LA 9) har gjennomgående gitt høyere Ec enn Sarpsborg stein (LA 42), midlere forskjell mellom de to seriene er 5,2 GPa ved 28 døgn og 7,6 GPa ved 91 døgn.
- Innenfor serien Steinskogen stein ved 28 døgn er det en forskjell på 4,1 GPa mellom høyeste og laveste verdi, men den generelle trenden er at type sand synes å ha begrenset innvirkning på E-modul.

Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper

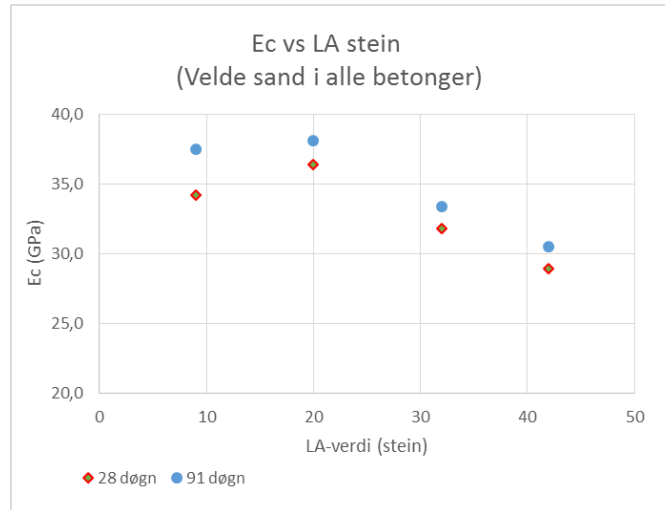


Figur 20 E_c plottet mot LA-verdi. Vekting mellom stein og sand ved beregning av LA-verdi er variert fra 100/0 til 25/75.



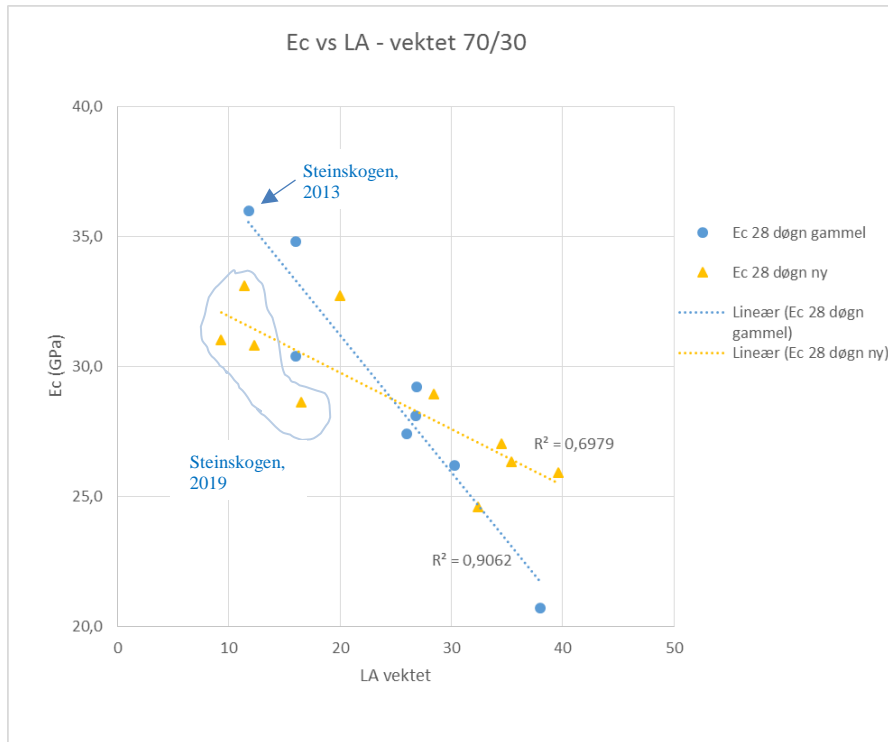
Figur 21 E_c plottet mot LA-verdi for 4 sandtyper ved 2 aldere. Steintyper med henholdsvis lav LA-verdi (Steinskogen, LA 9) og høy LA-verdi (Sarpsborg, LA 42). Sandtyper, fra venstre mot høyre: Bjønndalen (knust), Lier (natur), Velde (knust), Ullsfjord (natur).

I Figur 22 er den isolerte effekten av å variere steintilslag vist for 2 aldre. Det ble benyttet Velde sand i alle disse betongene. Forskjellen mellom høyeste og laveste verdi var henholdsvis 9,1 og 10,5 GPa ved 28 og 91 døgns alder. Den isolerte effekten av steintilslag er altså betydelig, og større enn tilsvarende effekt av å bytte sandtilslag. Det synes å være en sammenheng mellom steintilslagets LA-verdi og oppnådd E_c , men betongen med steintilslag fra Steinskogen representerer et avvik i trenden med relativt lav E_c i forhold til LA-verdi.



Figur 22 E-modul (E_c) plottet mot LA-verdi for 4 steintyper ved 2 aldre. Velde sand i alle betonger. Steintyper fra venstre mot høyre: Steinskogen, Velde, Råde, Sarpsborg (alle produsert fra knust berg).

Resultatene fra undersøkelsen i 2013 (Pedersen & Kompen 2013) er plottet sammen med de nye resultatene Figur 23. Betongene er ikke direkte sammenlignbare siden det i 2013-undersøkelsen ble benyttet luft (ca. 4 %) mens betongene i den nye undersøkelsen ikke ble tilsatt luft. E-modul for betonger fra ny (2019) undersøkelse har derfor i denne sammenhengen blitt omregnet for å samsvare med betong med ca. 4 % luft, under antagelsen om at hver % økning i luft gir ca. 3,5 % reduksjon i E-modul. Lineære regresjonslinjer inntegnet for hver av de to undersøkelsene viser at de to undersøkelsene avviker noe fra hverandre. Hvis man ser begge datasettene under ett gir det en samlet lineær korrelasjon mellom LA-verdi og E_c på $R^2 = 0,69$. Som vist i plottet representerer de fire betongene med Steinskogen 8/16 (kombinert med fire ulike sandtyper) et avvik i forhold til 2013-undersøkelsen i form av noe lavere E_c . Dette samsvarer med avvik vist under trykkfasthet, selv om avviket for E_c er mindre.



Figur 23 E-modul for ny (2019) og gammel (Pedersen & Kompen 2013) undersøkelse plottet mot LA-verdi. Resultater fra ny undersøkelse omregnet til E-modul for tilsvarende betonger med ca. 4 % luft. Alle betonger med masseforhold 0,39 og Norcem Anlegg FA sement. LA-verdi er beregnet med en vektingsfaktor på 70 % fra stein og 30 % fra sand. Betonger med Steinskogen 8/16 fra gammel og ny undersøkelse er markert.

Oppsummert om E-modul:

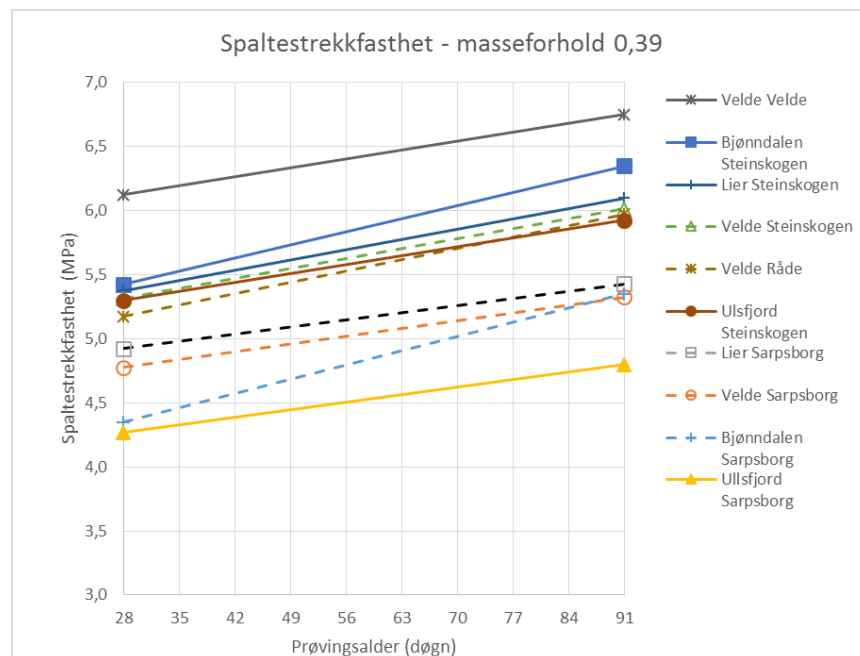
- Undersøkelsen har vist at steintilslaget har betydelig større betydning for E-modul enn sandtilslaget.
- Det er funnet en relativt god korrelasjon mellom oppnådd E-modul og LA-verdi, med høyest korrelasjon når steinens LA-verdi vektet ca. 75 % og sandens LA-verdi vektet 25 %.
- Tidligere undersøkelse (Pedersen & Kompen 2013) viste omtrent tilsvarende korrelasjon mellom LA-verdi og E-modul, men de to datasettene avviker noe i forhold til hverandre. De oppnådde verdiene for E-modul er noe høyere for det granittiske grove tilslaget Sarpsborg og noe lavere for det basaltiske tilslaget (Steinskogen) sammenlignet med tidligere studie.
- Effekten av masseforhold er tydelig, ved at det laveste masseforholdet (0,34) ga 8-9 GPa høyere Ec enn det høyeste masseforholdet (0,59).
- Den relative effekten av tilslag var størst ved høyest masseforhold

Se for øvrige kommentar om Steinskogen-basaltens avvikende mineralogi fra Kapittel 6.1. Avviket i Ec mellom gammel og ny undersøkelse er betydelig lavere enn tilsvarende avvik for trykkfasthet.

Denne studien har fokusert mye på Los Angeles verdi. Det skal imidlertid bemerkes her at korrelasjonen mellom Micro-Deval og E-modul for hele datasettet er omtrent i samme størrelsesorden som korrelasjonen mellom E-modul og Los Angeles-verdi, mens korrelasjonen mot kule mølle-verdi er noe lavere. Det er ikke funnet noen spesielle sammenhenger mellom øvrige deklarete egenskaper ved tilslagene (se Kapittel 4.2.1) og oppnådd E-modul.

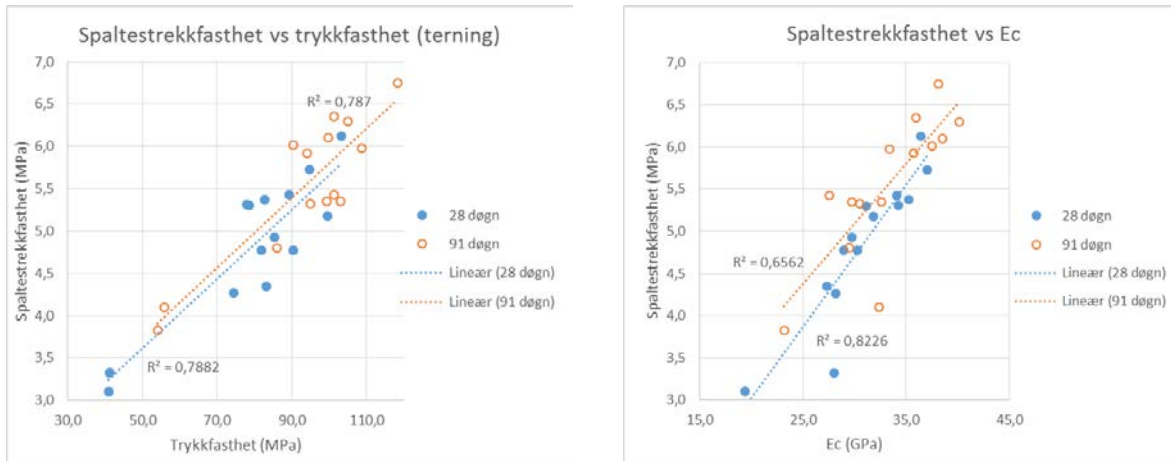
6.3 Tilslagets effekt på spaltstrekkfasthet

Oppnådd spaltstrekkfasthet for alle betonger med masseforhold på 0,39 er vist i Figur 24 ved henholdsvis 28 og 91 døgns alder. Differansen mellom høyeste og laveste verdi er 1,8 MPa ved 28 døgn, økende til 2,0 MPa ved 91 døgn. Dette tilsvarer en differanse på ca. 42 % både ved 28 og 91 døgn. Det er videre en konsistent økning i verdi fra 28 til 91 døgn, hvor den gjennomsnittlige økningen er på 0,7 MPa (tilsvarende 14 % økning).



Figur 24 Spaltstrekkfasthet for alle betonger med masseforhold 0,39. Hver verdi er gjennomsnitt av 4 enkeltp prøver.

Det er en relativt god korrelasjon mellom spaltstrekkfasthet og E-modul, og også mellom spaltstrekkfasthet og trykkfasthet, se Figur 25. I gjennomsnitt er spaltstrekkfastheten ca. 6 % av trykkfastheten for terning både ved 28 og 91 døgn.



Figur 25 Spaltestrekkfasthet relativt til trykkfasthet (venstre) og relativt til Ec (høyre). Inkluderer betonger med tre ulike masseforhold.

Effekten av mekanisk sterkt og mekanisk svakt tilslag (karakterisert ved Los Angeles verdi) ble testet ved 3 ulike masseforhold: 0,34 – 0,39 og 0,59 for å undersøke om effekten av tilslagets styrke er avtagende ved økende masseforhold. Følgende 2 tilslagsvarianter ble benyttet:

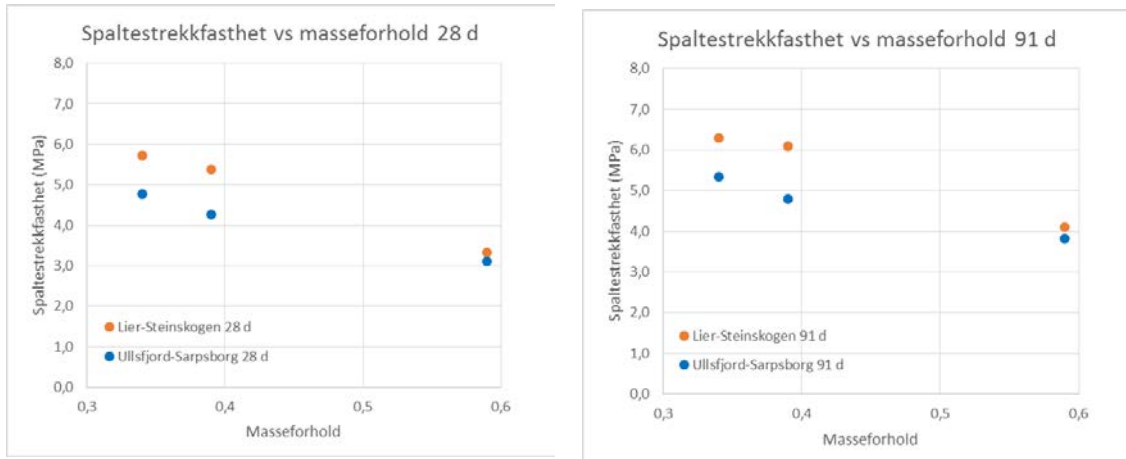
- Lier 0/8 mm (LA 17) og Steinskogen 8/16 mm (LA 9): Middell LA-verdi på 13
- Ullsfjord 0/8 mm (LA 34) og Sarpsborg 0/8 mm (LA 42): Middell LA-verdi på 38

Resultatene plottet i Figur 26 viser følgende:

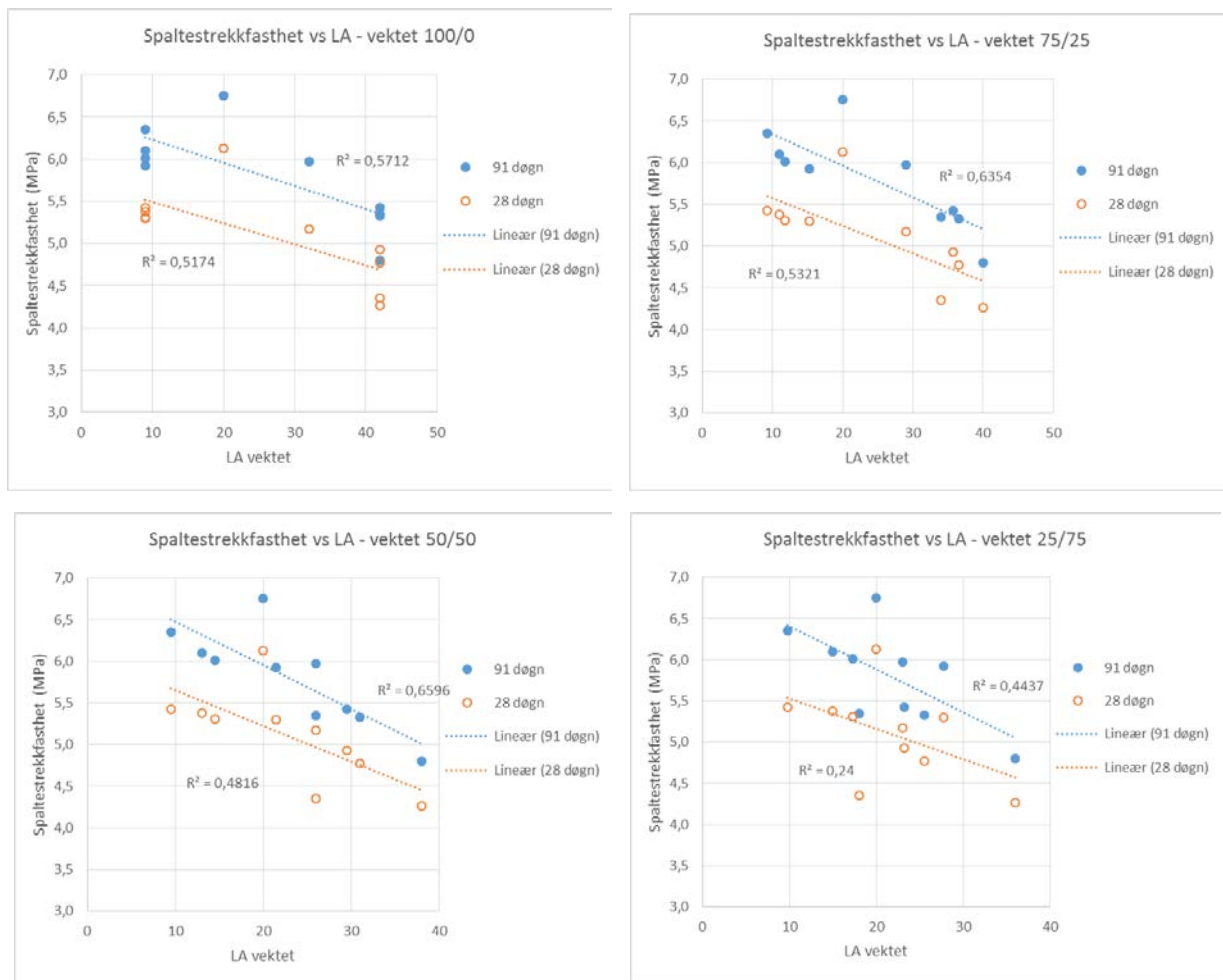
- Det er en tydelig effekt av masseforhold, ved at det laveste masseforholdet (0,39) har gitt inntil 2,4 MPa økning i spaltestrekkfasthet i forhold til det høyeste masseforholdet (0,59). Det er også en konsistent økning i spaltestrekkfasthet ved økende alder.
- Ved lave masseforhold (0,39 og 0,34) er det en tydelig effekt av tilslagstype, ved at tilslagskombinasjonen med laveste LA-verdi har gitt i størrelsesorden 1 MPa høyere verdier enn tilslagskombinasjonen med høyest LA-verdi. Effekten av tilslag er imidlertid liten ved det høyeste masseforholdet.

I Figur 27 er spaltestrekkfasthet plottet mot «vektet LA-verdi», hvor vektingen er variert fra 100/0 (LA-verdi kun for stein) til 25/75 (beregnet LA-verdi hvor LA-verdien til stein og sand er vektet henholdsvis 25 og 75 %). Korrelasjonen er best ved en vekting av steintilslaget på ca. 70-75 %. Ved vektingsforhold 0/100, altså at sandtilslaget vektet 100 %, er det tilnærmet ingen korrelasjon. Oppnådd lineær korrelasjon mot spaltestrekkfasthet var imidlertid enda høyere for kule mølle-verdi og Micro-Deval, på henholdsvis $R^2 = 0,83$ og $0,80$ ved 91 døgns ved vektingsforholdet 75 %.

Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper



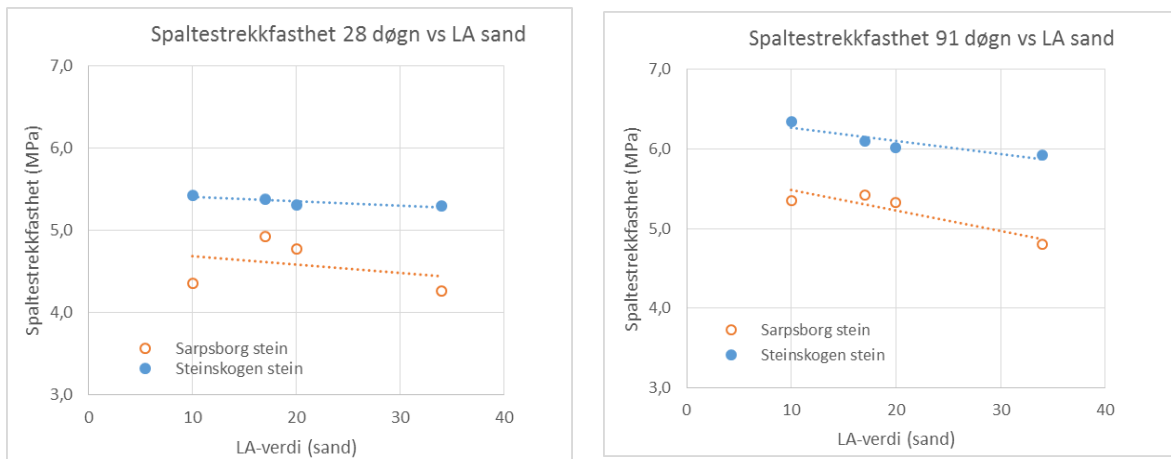
Figur 26 Spaltestrekkfasthet som funksjon av tilslagstype ved 28 døgn (venstre) og 91 døgn (høyre). Tilslagsfraksjoner med henholdsvis høye LA-verdier (Ullsfjord LA 34 og Sarpsborg LA 42) og med lave LA-verdier (Lier LA 17 og Steinskogen LA 9).



Figur 27 Spaltestrekkfasthet plottet mot vektet LA-verdi. Vekting stein:sand variert fra 100:0 til 25:75 ved beregning av LA-verdi.

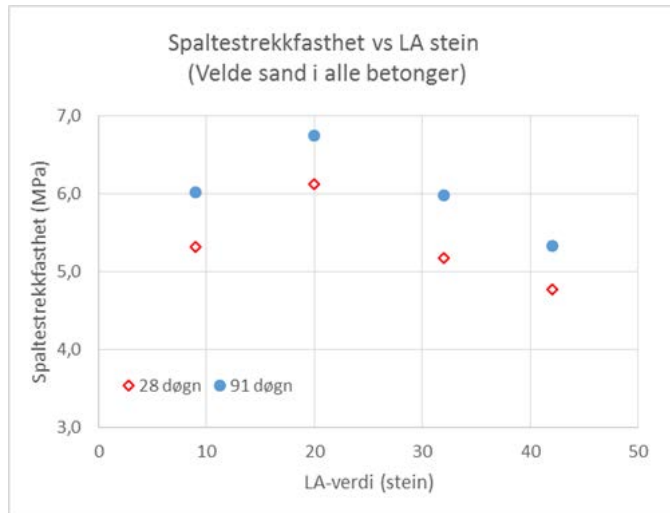
I Figur 28 er spaltestrekkfasthet plottet mot LA-verdi for sand, for henholdsvis Sarpsborg og Steinskogen stein. Følgende kan leses ut fra plottene:

- Steinskogen stein (LA 9) har gjennomgående gitt høyere spaltestrekkfasthet enn Sarpsborg stein (LA 42).
- Det er en viss effekt av type sand. Ved 91 døgns alder har sand med lavest LA-verdi gitt høyest spaltestrekkfasthet, mens dette ikke er tydelig ved 28 døgns alder.



Figur 28 Spaltestrekkfasthet plottet mot LA-verdi for 4 sandtyper ved 2 aldre. Steintyper med henholdsvis lav verdi (Steinskogen, LA 9) og høy verdi (Sarpsborg, LA 42). Sandtyper, fra venstre mot høyre: Bjønndalen (knust), Lier (natur), Velde (knust), Ullsfjord (natur).

I Figur 29 er det den isolerte effekten av å variere steintilslag vist for 2 aldre. Det er benyttet Velde sand i alle disse betongene. Forskjellen mellom høyeste og laveste verdi var henholdsvis 1,3 og 1,5 MPa ved 28 og 91 døgns alder. Den isolerte effekten av steintilslag er altså betydelig, og større enn tilsvarende isolerte effekten av å bytte sandtilslag. Sammenhengen mellom spaltestrekkfasthet og LA-verdi svekkes av at stein med LA 9 og LA 32 har gitt lik spaltestrekkfasthet.



Figur 29 Spaltestrekkfasthet plottet mot LA-verdi for 4 steintyper ved 2 aldere. Velde sand i alle betonger. Steintyper fra venstre mot høyre: Steinskogen, Velde, Råde, Sarpsborg (alle produsert fra knust berg).

Oppsummert om spaltestrekkfasthet:

- Undersøkelsen har vist at steintilslaget har betydelig større betydning for spaltestrekkfasthet enn sandtilslaget.
- Det er funnet en viss grad av korrelasjon mellom oppnådd E-modul og LA-verdi. Det oppnås langt bedre korrelasjon dersom man utelater betongene med Steinskogen-tilslag, på tilsvarende vis som vist for trykkfasthet.
- Det er funnet relativt god korrelasjon mellom oppnådd E-modul og henholdsvis kulle-mølle-verdi og Micro-Deval.

Det er ikke funnet noen spesielle sammenhenger mellom øvrige deklareerte egenskaper ved tilslagene (se Kapittel 4.2.1) og oppnådd spaltestrekkfasthet.

6.4 Utvikling av riss og sprekker ved brudd

En enkel kartlegging av hvordan sprekker og riss fordeler seg i betongene. Undersøkelsen ble gjennomført ved at prøvesylindere kjørt til brudd ble saget på langs nær midten av prøvene, omtrent vinkelrett på dominerende sprekkeretning. Undersøkelsen av sprekker er utført på fotografier av to motsvarende sagflater per prøve. Kun relativt grove tilslagspartikler er vurdert. Fotografiene hadde noe varierende kvalitet og viste ikke tynne riss som ellers er synlige i prøvene. Undersøkelsen er utført av Per Hagelia. Følgende kategorier er av riss er telt opp:

- A) Sprekker gjennom tilslag
- B) Sprekker omkring tilslag
- C) Sprekker som stopper mot tilslag

Resultatene er vist i Tabell 10. Det er i Figur 30 vist plott av henholdsvis sprekker gjennom tilslag og sprekker rundt tilslag som en funksjon av LA-verdi for det grove tilslag. Den prosentvise fordelingen av sprekker gjennom tilslag i forhold til totalt antall sprekker er vist i Tabell 11.

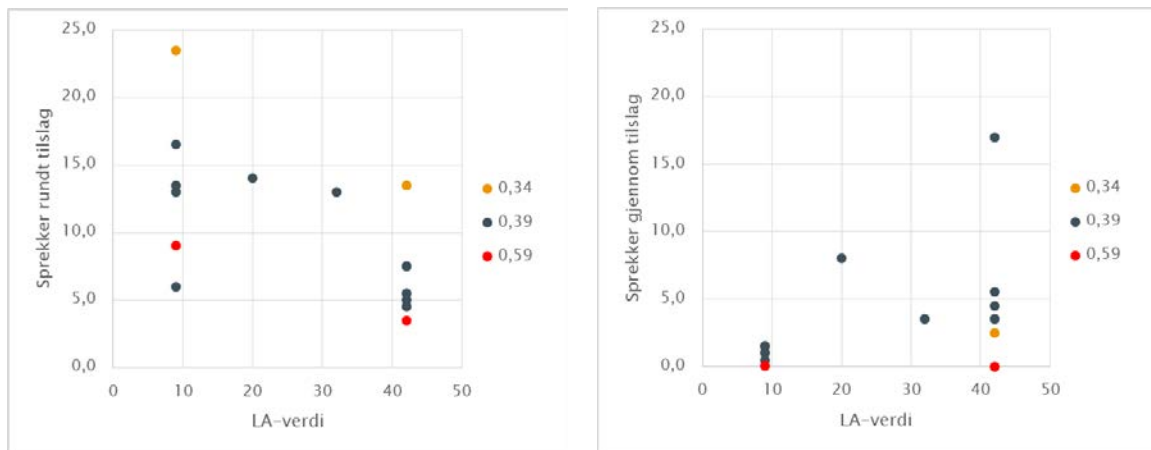
Bildet som viser seg er noe sammensatt, men noen tendenser kan leses ut av materialet:

- Betonger med det «sterkeste» steintilslaget Steinskogen ($LA = 9$) har et rissmønster som avviker vesentlig fra betongene med Sarpsborg stein (med $LA = 42$), ved at det er få sprekker som går gjennom tilslagskorn og relativt mange sprekker som går omkring tilslagskornene. Dette tyder på at det for betonger med Steinskogen er heftsonen mellom pasta og steintilslag som er det svake leddet, og at tilslagets mekaniske styrke ikke er begrensende faktor.
- Betonger med tilslagene Råde og Velde plasserer seg mellom disse ytterpunktene.
- Betongene med høyest masseforhold avviker fra de øvrige, ved at det ikke er registrert sprekker gjennom tilslag hverken for «svakt» eller «sterkt» tilslag. Dette er i tråd med forventningene, i og med at tilslagets styrke i liten grad blir utnyttet i slike betonger hvor sementpastaen har lav styrke. Imidlertid ser vi at begge betongene med lavt masseforhold har liten andel sprekker gjennom tilslag, og spesielt er den lave verdien for betong med lavt masseforhold og stein med høy LA-verdi (Sarpsborg) uventet.

Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper

Tabell 10 Kartlegging av sprekker og riss ved brudd. 2 motstående halvkjerner per betong. Utført av Per Hagelia.

	Masseforhold	A: sprekker gjennom tilslag	B: sprekker omkring tilslag	C: sprekker stopper mot tilslag	A/(A+B+C) %	Sylinderfasthet, MPa	LA, sand	LA, stein
1 Bjønndalen-Sarpsborg a	0,39	10	9	1	50 %	59,5	10	42
1 Bjønndalen-Sarpsborg b	0,39	24	6	2	75 %			
2 Velde-Sarpsborg a	0,39	3	6	1	30 %	60,8	20	42
2 Velde-Sarpsborg b	0,39	4	4	1	44 %			
3 Lier-Sarpsborg a	0,39	3	4	0	43 %	69,7	17	42
3 Lier-Sarpsborg b	0,39	8	7	0	53 %			
4 Ullsfjord-Sarpsborg a	0,39	4	5	0	44 %	67,5	34	42
4 Ullsfjord-Sarpsborg b	0,39	5	4	1	50 %			
5 Bjønndalen-Steinskogen a	0,39	2	13	0	13 %	69,0	10	9
5 Bjønndalen-Steinskogen b	0,39	1	13	2	6 %			
6 Velde-Steinskogen a	0,39	1	7	0	13 %	56,2	20	9
6 Velde-Steinskogen b	0,39	0	5	1	0 %			
7 Lier-Steinskogen a	0,39	2	13	0	13 %	65,3	17	9
7 Lier-Steinskogen b	0,39	1	14	0	7 %			
8 Ullsfjord-Steinskogen a	0,39	1	18	0	5 %	62,2	34	9
8 Ullsfjord-Steinskogen b	0,39	1	15	1	6 %			
9 Velde-Velde a	0,39	11	15	0	42 %	83,5	20	20
9 Velde-Velde b	0,39	5	13	1	26 %			
10 Velde-Råde a	0,39	3	14	0	18 %	75,2	20	32
10 Velde-Råde b	0,39	4	12	0	25 %			
11 Ullsfjord-Sarpsborg a	0,34	2	14	1	12 %	75,2	34	42
11 Ullsfjord-Sarpsborg b	0,34	3	13	1	18 %			
12 Lier-Steinskogen a	0,34	1	23	0	4 %	75,3	17	9
12 Lier-Steinskogen b	0,34	1	24	0	4 %			
13 Ullsfjord-Sarpsborg a	0,59	0	3	0	0 %	32,3	34	42
13 Ullsfjord-Sarpsborg b	0,59	0	4	0	0 %			
14 Lier-Steinskogen a	0,59	0	12	0	0 %	32,5	17	9
14 Lier-Steinskogen b	0,59	0	6	1	0 %			



Figur 30 Antall sprekker rundt tilslag (venstre) og antall sprekker gjennom tilslag (høyre) som funksjon av LA-verdi for grovt tilslag, sortert på masseforhold.

Tabell 11 Andel sprekker gjennom tilslag i % av totalt antall registrerte sprekker. Gjennomsnitt for hver type stein (8/16 mm) sortert på ulike masseforhold.

	0,34	0,39	0,59
Sarpsborg (LA 42)	15 %	50 %	0 %
Råde (LA 32)	-	21 %	-
Velde (LA 20)	-	36 %	-
Steinskogen (LA 9)	4 %	8 %	0 %

7 Konklusjoner og videre arbeid

7.1 Konklusjoner fra denne undersøkelsen

Trykkfasthet:

- Studien har vist at valg av tilslag har stor effekt på betongens trykkfasthet, ved at det var 38 % forskjell mellom laveste og høyeste trykkfasthet etter 28 og 91 døgn.
- Det grove tilslaget (8/16 mm) har isolert sett gitt betydelig større effekt på trykkfasthet enn det fine tilslaget (0/8 mm).
- Det ble ikke funnet samme tydelige sammenheng mellom LA-verdi og trykkfasthet som i tidligere studie (Pedersen & Kompen 2013). Spesielt har steintilslag fra Steinskogen, basalt med lav LA-verdi og kjent høy trykkfasthet og E-modul fra tidligere studier, gitt lav trykkfasthet. Det er påvist at steinen som ble benyttet i denne studien avviker mineralogisk fra hovedbergarten i bruddet, ved at den i stor grad inneholder epidot-holdig basalt. Dette har ikke i vesentlig grad gitt utslag på LA-verdi. En mulig forklaring på den lave trykkfastheten kan være at den epidot-holdige basalten har gitt en annen type kontaktsone mellom tilslag og sementpasta.

E-modul:

- Studien har vist at valg av tilslag har stor effekt på betongens E-modul, det er registrert opp til 40 % forskjell mellom laveste og høyeste verdi. Det ble registrert størst relativ forskjell ved det høyeste masseforholdet på 0,59.
- Det grove tilslag (8/16 mm) har betydelig større effekt på E-modul enn det fine tilslaget (0/8 mm).
- Det er funnet en relativt god korrelasjon mellom det grove tilslagens LA-verdi og betongens oppnådde E-modul, mens det fine tilslagens LA-verdi i mindre grad er korrelert mot oppnådd E-modul i betong. Korrelasjon mellom LA-verdi og kulemølleverdi er omtrent tilsvarende.
- Tidligere undersøkelse (Pedersen & Kompen 2013) viste omtrent tilsvarende korrelasjon mellom LA-verdi og E-modul, men de to datasettene avviker noe i forhold til hverandre. De oppnådde verdiene for E-modul er noe høyere for det granittiske grove tilslaget Sarpsborg og noe lavere for det basaltiske tilslaget Steinskogen sammenlignet med tidligere studie. (Se for øvrige kommentar om Steinskogen-basaltens avvikende mineralogi fra trykkfasthet).

Spaltestrekkfasthet:

- Studien har vist at valg av tilslag har stor effekt på oppnådd spaltestrekkfasthet, ved at det var 42 % forskjell mellom laveste og høyeste verdi ved masseforhold 0,39.
- Både det fine og det grove tilslaget har betydning for oppnådd spaltestrekkfasthet, men effekten var betydelig større for det grove tilslaget.
- Spaltestrekkfasthet er i betydelig grad korrelert mot betongens trykkfasthet og E-modul. Spaltestrekkfastheten var i gjennomsnitt 6 % av betongens trykkfasthet.
- Spaltestrekkfasthet er til en viss grad korrelert mot tilslagens LA-verdi, og i noe høyere grad korrelert mot kulemølleverdi og Micro-Deval.
- Mens forskjellene mellom tilslagene var tydelige ved de to laveste masseforholdene var det liten effekt av tilslaget ved masseforhold 0,59.

Studien har vist at det er noen svakheter ved å bruke LA- verdi som kriterium for å sortere bort tilslag som ikke er egnet til betong. Spesielt gjelder dette dersom hensikten er å avdekke tilslag som gir lav trykkfasthet i betong, mens LA- verdi synes å være noe bedre egnet til å forutsi tilslageneffekt på E-modul.

Denne studien har i stor grad fokusert på Los Angeles verdi, som er en av mange deklarete egenskaper ved tilslaget. Øvrige deklarete egenskaper ved tilslaget som absorbert vann, kornform, friknust glimmer, belegg på korn, svake og forvitrede korn er vist i Kapittel 4.2.1. Det er noen ganske små forskjeller i absorbert vann og kornform, og noen av tilslagene har løst belegg på korn. Det er ikke konstatert svake korn eller aurfelle i noen av tilslagene. Mengde friknust glimmer i sandfraksjonene er under 5 %. Det er ikke funnet noen spesielle sammenhenger mellom disse øvrige deklarete egenskapene ved tilslagene og oppnådde egenskaper i betong.

7.2 Videre arbeid

Det har blitt påvist at basalten fra Steinskogen, som har gitt uventet lav trykkfasthet, ikke var representativ for bruddet. Det vil derfor bli vurdert å få gjort nye uttak av de ulike variantene av basalt og undersøke hvilke egenskaper disse gir i betong.

I en eventuell videre studie vil det bli vurdert å inkludere følgende:

- Mer fundamental karakterisering av tilslagene:
 - E-modul, trykkfasthet, strekkfasthet for bergprøver
 - Detaljert karakterisering av overflateegenskaper, ruhet etc.
- Studie av overgangssonen mellom pasta og tilslag
- Karakterisering og kvantifisering av riss – forbedret versjon av metoden benyttet i denne studien

8 Referanser

Abdullahi, M. (2012): «Effect of aggregate type on compressive strength of concrete», *International Journal of Civil and Structural Engineering*, Vol. 2, pp 791-800.

Beshr, H., Almusallam, A.A., Maslehuddin, M. (2003): “Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete”, *Construction and Building Materials*, Vol 17, pp 97-103.

Danielsen, S.W., Rueslåtten, H.G. (1984): “Feldspar and mica, key minerals for fine aggregate quality”. *Bulletin IAEG No. 30*, pp 215-219.

Danielsen, S.W. og Rønning, T.F.: (1989): «Samvirket tilslag – pasta i herdet betong». *Materialutvikling høyfast betong*, rapport nr. 1.2. SINTEF-rapport nr. STF65 A90047.

De Larrard, F., Belloc, A. (1997): “The influence of aggregate on the compressive strength of normal- and high-strength concrete”, *ACI Materials Journal*, V. 94, No. 5, pp 417-425.

Grannes, K.R. (2018): Personlig kommunikasjon

Jacobsen, S. (1991): «Tilslagskvalitet og betongrør», *Norsk betongdag 1991*.

Jacobsen, S. (1997): «Byggdetaljblad 520.024, Tilslagets innvirkning på betongens egenskaper», *Byggforskserien*.

Jacobsen, S., Rønning, T.F., Sellevold, E.J., Danielsen, S.W., Gjørsv, O.E. (1990): «Mekaniske egenskaper hos mørtel med 8 ulike bergarter som tilslag», *Materialutvikling høyfast betong*, rapport nr. 1.2. SINTEF-rapport nr. STF65 A90047.

Järvenpää, H., (2001): “Quality characteristics of fine aggregates and controlling their effects on concrete”, *doctoral thesis, Helsinki University of Technology, Finland*.

Kılıç, A., C.D. Atiş, C.D., Teymen, A., Karahan, O., Özcan, F., Bilim, C., Özdemir, M. (2007): “The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete”, *Cement & Concrete Composites* 30, pp 290-296.

Norwegian Group for Rock Mechanics (NBG) (2000): “.Handbook No 2. Engineering geology and rock engineering”.

NS-EN 12620 (2013): *Tilslag for betong*. Standard Norge.

Pedersen, B., Kompen, R. (2011): «Trykkfasthet og E-modul for SV-40 betong. En studie av tilslagets betydning», *Statens vegvesens rapporter nr. 177*.

Smeplass, S. (1992): «Effekt av tilslagstypen på betongens trykkfasthet og E-modul», *Materialutvikling Høyfast betong rapport nr. 5,6*. SINTEF-rapport STF70 A92051.

Smeplass, S. (2015): “Betongens struktur og egenskaper”, delkapittel i «Betong. Regelverk, teknologi og utførelse», *Byggenæringens forlag*, 978-82-8021-126-2.

Stock, A.F., Hannant, D.J., Williams, R.I.T. (1979): "The effect of aggregate concentration upon the strength and modulus of elasticity of concrete", Magazine of Concrete Research, Vol 31, No. 109, pp 225-234.

Özturan, T., Çeçen, C. (1997): "Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths", Cement and Concrete Research, Vol. 27, pp 165-170.

Walker, S. Bloem, D.L. (1960): "Effect of aggregate size on properties of concrete", ACI Journal, Proceedings V. 57, No. 9, pp 283-298.

Wu, K.R., Chen, B., Yao, W., Zhang, D. (2001): "Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete", Cement and Concrete Research, Vol 31, pp 1421-1425.

Zhou, F.P., Lydon, F.D., Barr, B.I.G. (1995): "Effects of coarse aggregate on elastic modulus and compressive strength of high performance concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 25, pp 177-186.

Vedlegg

Vedlegg 1: Graderingskurver for alle betongblandinger

Vedlegg 2: Produktdatablader for sement, tilsetningsstoff og tilslag

Vedlegg 1: Graderinger for sammensatte tilslag (volumbasert)

	Gjennomgang, vol %													
Åpning (mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
22,4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
16	99,5	99,5	99,5	99,5	97,2	97,2	97,2	97,2	94,7	94,4	99,5	97,1	99,5	97,3
11,2	75,7	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	72,5	74,6	75,5	75,5	76,8	76,8
8	56,6	58,1	57,7	57,1	52,9	53,9	53,5	52,9	56,1	58,1	56,3	52,6	58,4	54,9
4	32,7	43,0	46,3	46,3	32,6	42,6	45,9	45,8	43,2	43,5	45,4	45,0	47,6	47,2
2	20,2	36,5	40,3	37,4	20,4	36,5	40,3	37,3	37,1	37,4	36,7	39,6	38,4	41,5
1	13,6	25,4	33,5	29,1	13,7	25,5	33,5	29,1	26,0	26,1	28,6	32,9	30,0	34,5
0,5	9,1	15,9	22,9	19,3	9,2	15,9	22,9	19,3	16,4	16,4	18,9	22,5	19,8	23,6
0,25	6,2	8,8	10,2	9,8	6,2	8,9	10,2	9,8	9,3	9,3	9,6	10,0	10,1	10,5
0,125	4,2	4,8	2,1	5,1	4,2	4,8	2,1	5,1	5,2	5,2	5,0	2,0	5,3	2,1
0,063	2,8	2,6	1,8	2,8	2,9	2,7	1,8	2,8	3,0	3,1	2,8	1,8	2,9	1,9



1111

13

YTELSESERKLÆRING NR. 1283.102.03 CPR 2016.01.23

- | | |
|---|---|
| 1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen | Grovt, knust tilslag til bruk i betong |
| 2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4 | Grovt tilslag 8/11 mm |
| 3. Produsentens tilsktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen | Tilslag for betong |
| 4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5 | Franzefoss Pukk AS, Avd. Steinskogen, Postboks 53, 1309 Rud |
| 5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant) | Ikke relevant |
| 6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V | System 2+ |
| 7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert Standard | NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009
Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på første-gangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen i fabrikk. |
| 8. Angitt ytelse | Se neste side |
| 9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8
Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4.
Undertegnet for og på vegne av produsenten av: | |

Oliver Queck, Kvalitetsleder

(navn og stilling)

Steinskogen, 23. januar 2016

Sted og utstedelsesdato

Underskrift

Harmonisert teknisk spesifikasjon: **NS-EN 12620:2002 +A1:2008+NA:2009**

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	8/11
Gradering	Gc 80/20
Kornform for grovt tilslag	Fl₂₀
Korndensitet -Vannmettet overflatetørr -Ovnstørr	2,85 (± 0,05) Mg/m³ 2,83 (± 0,05) Mg/m³
Vannabsorpsjon	0,7 %
Skjellinnhold i grovt tilslag	SC₁₀
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	Ikke bestemt
Finstoffinnhold	f_{1,5}
Kvalitet på finstoff	Ikke bestemt
Alkali – silika-reaktivitet	Sv 2,8 %
Klorider	0
Syreløselig sulfat	AS_{0,2}
Kalkstein innhold	0 %
Totalt innhold av svovel	0,04 %
Bestanddeler som påvirker størknings – og herdetiden for betong	Lysere enn standardfarge
Farlige stoffer	Ikke påvist
Forenklet petrografisk beskrivelse (type tilslag)	Forekomsten består av knust fjell av basalt. Hovedsakelig sammensatt av kubisk skarpkantede korn. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.
Motstand mot knusing	LA₁₅
Motstand mot polering/slitasje	Ikke bestemt
<ul style="list-style-type: none"> • Volumstabilitet 	Ikke bestemt
Sammensetning/innhold: <ul style="list-style-type: none"> • Bestanddeler i grovt resirkulert tilslag • Innhold av vannløselig sulfat i resirkulert tilslag • Innflytelse på begynnende størkning av sement (resirkulert tilslag) Karbonatinnhold i fint tilslag for overflatelag av betong	Ikke bestemt



1111

13

YTELSESERKLÆRING NR. 1286.102.16 CPR 2016.01.23

- | | |
|---|---|
| 1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen | Grovt, knust tilslag til bruk i betong |
| 2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4 | Grovt tilslag 11/16 mm |
| 3. Produsentens tilsktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen | Tilslag for betong |
| 4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5 | Franzefoss Pukk AS, Avd. Steinskogen, Postboks 53, 1309 Rud |
| 5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant) | Ikke relevant |
| 6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V | System 2+ |
| 7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert Standard | NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009
Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på første-gangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen i fabrikk. |
| 8. Angitt ytelse | Se neste side |
| 9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8
Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4.
Undertegnet for og på vegne av produsenten av: | |

Oliver Queck, Kvalitetsleder

(navn og stilling)

Steinskogen, 23. januar 2016

Sted og utstedelsesdato

Underskrift

Harmonisert teknisk spesifikasjon: **NS-EN 12620:2002 +A1:2008+NA:2009**

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	11/16
Gradering	Gc 80/20
Kornform for grovt tilslag	Fl₁₅
Korndensitet -Vannmettet overflatetørr -Ovnstørr	2,85 (± 0,05) Mg/m³ 2,83 (± 0,05) Mg/m³
Vannabsorpsjon	0,7 %
Skjellinnhold i grovt tilslag	SC₁₀
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	Ikke bestemt
Finstoffinnhold	f_{1,5}
Kvalitet på finstoff	Ikke bestemt
Alkali – silika-reaktivitet	Sv 2,8 %
Klorider	0
Syreløselig sulfat	AS_{0,2}
Kalkstein innhold	0 %
Totalt innhold av svovel	0,04 %
Bestanddelere som påvirker størknings – og herdetiden for betong	Lysere enn standardfarge
Farlige stoffer	Ikke påvist
Forenklet petrografisk beskrivelse (type tilslag)	Forekomsten består av knust fjell av basalt. Hovedsakelig sammensatt av kubisk skarpkantede korn. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.
Motstand mot knusing	LA₁₅
Motstand mot polering/slitasje	Ikke bestemt
<ul style="list-style-type: none"> • Volumstabilitet 	Ikke bestemt
Sammensetning/innhold: <ul style="list-style-type: none"> • Bestanddelere i grovt resirkulert tilslag • Innhold av vannløselig sulfat i resirkulert tilslag • Innflytelse på begynnende størkning av sement (resirkulert tilslag) Karbonatinnhold i fint tilslag for overflatelag av betong	Ikke bestemt

CE

1111

*Velde Pukk AS, Noredalsveien 294, 4308 Sandnes
05*

Nr. 117B CPR 2016.01.01

NS-EN 12620:2002 + A1:2008 + NA:2009

Grovt Tilslag 8/16 mm.

Tilslag for Betong.

Forenklet petrografisk sammedrag:

**Knust fjell forekomst av granitt hovedsakelig sammensatt av kubisk skarpkantede korn.
Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.**

Tilslagsstørrelse	8 / 16 mm
Gradering	Gc 80/20
Kornform (flisighetsindeks)	Fl ₁₅
Korndensitet	2,64 Mg/m ³
Vannabsorpsjon	0,33 %
Renhet	<i>Kategori f_{1,5} SC₁₀</i>
- Finstoffinnhold - Skjellinnhold	
Motstand for frysing/tining	Absorbent vann mindre enn 1%
Kjemisk sammensetning	ingen AS _{0,2} 0,01% (Krav<0,1%) ingen
- Klorider	
- Syreløselige sulfater	
- Total innhold av svovel - Bestandeler som endrer størknings- og herdetid	
Alkaliaktivitet (risikobergarter) – sammenligningsverdi	3,4% - Ikke alkalireaktivt
Farlige stoffer	Ingen kjente
Los Angeles verdi – knusingsverdi	LA ₂₅
Innhald av kalkstein i grovt tilslag	0% (Krav<15%)
Motstand mot slitasje (Micro-Deval Koeffisient)	M _{DE10}



YTELSESERKLÆRING NR. 117B CPR 2016.01.01

- | | |
|---|---|
| 1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen | Grovt, knust tilslag til bruk i betong |
| 2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4 | Grovt tilslag 8/16 mm |
| 3. Produsentens tilsiktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen | Tilslag for betong |
| 4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5 | Velde Pukk AS, Noredalsveien 294, 4308 Sandnes |
| 5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant) | Ikke relevant |
| 6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V | System 2+. |
| 7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert Standard | NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009
Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på første-gangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen. |
| 8. Angitt ytelse | Se neste side |
| 9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8
Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4.
Undertegnet for og på vegne av produsenten av: | |

Hernan Mujica, Laboratoriesjef

Sandnes, 01. Januar 2016

Harmonisert teknisk spesifikasjon: NS-EN 12620:2002 + A1:2008 + NA:2009

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	8/16
Gradering	G_C 80/20
Kornform for grovt tilslag	Fl₁₅
Korndensitet	2,64 Mg/m³
Vannabsorpsjon	0,33 %
Skjellinnhold i grovt tilslag	SC₁₀
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	Ikke bestemt
Finstoffinnhold	F_{1,5}
Kvalitet på finstoff	Ikke bestemt
Alkali – silika-reaktivitet	3,4% - Ikke alkalireaktivt
Klorider	Ingen
Syreløselig sulfat	AS_{0,2}
Totalt innhold av svovel	0,01% (Krav<0,1%)
Innhold av kalkstein i grovt tilslag	0% (Krav<15%)
Bestanddeler som påvirker størknings – og herdetiden for betong	Ingen
Farlige stoffer	Ikke påvist
Forenklet petrografisk beskrivelse (type tilslag)	Knust fjell forekomst av granitt hovedsakelig sammensatt av kubisk skarpkantede korn. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.
Motstand mot knusing	LA₂₅
Motstand mot polering/slitasje	M_{DE}10
Volumstabilitet	Ikke bestemt
Sammensetning/innhold: <ul style="list-style-type: none"> • Bestanddeler i grovt resirkulert tilslag • Innhold av vannløselig sulfat i resirkulert tilslag • Innflytelse på begynnende størkning av sement (resirkulert tilslag) • Karbonatinnhold i fint tilslag for overflatelag av betong 	Ikke bestemt



YTELSESERKLÆRING NR. 15.0822-B CPR 0116

1.	Entydig identifikasjonskode for produkttypen	Grovt, knust tilslag til bruk i betong
2.	Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4	Grovt tilslag 8/16 mm og 16/22 mm
3.	Produsentens tilsiktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen	Tilslag for betong
4.	Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5	Skolt Pukkverk AS, avd. Råde Pukkverk Vålerveien 381 1599 Moss
5.	Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant)	Ikke relevant
6.	Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V	System 2+
7.	Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert standard	NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2009 Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på førstegangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen.
8.	Angitt ytelse	Se neste side
9.	Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8	

Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4.

Undertegnet for og på vegne av produsenten av:

Mona Strand, KS-ansvarlig

(navn og stilling)

Moss, 07. januar 2016

Sted og utstedelsesdato



Underskrift



NR. 15.0822-B CPR 0116

Harmonisert teknisk spesifikasjon: NS-EN12620:2002+A1:2008+NA:2009

Vesentlige egenskaper	Ytelse	
Tilslagsstørrelse	8/16	16/22
Gradering: (Kategori)	G _C 80/20	G _C 80/35
Kornform for grovt tilslag (Kategori)	FI ₁₅	FI ₁₅
Korndensitet (vannmettet, overflatetørr) ρ _{ssd} Mg/m ³	2,62 ± 0,03	2,62 ± 0,03
Korndensitet (ovnstørr) ρ _{rd} Mg/m ³	2,61 ± 0,03	2,61 ± 0,03
Vannabsorpsjon	0,5 %	0,5 %
Skjellinnhold i grovt tilslag (Kategori)	SC ₁₀	SC ₁₀
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	F ₁ (Jfr. pkt. 3b i tabell NA.1, da vannabsorpsjon ≤ 1 %)	
Finstoffinnhold (Kategori)	f _{1,5}	f _{1,5}
Kvalitet på finstoff	Ikke bestemt da produktet ikke inneholder svelleleire (NA.A.3)	
Alkali-silika-reaktivitet	SV _{stein} 0,0	SV _{stein} 0,0
Klorider	0,0001 %	0,0001 %
Syreløselig sulfat (Kategori)	AS _{0,2}	AS _{0,2}
Totalt innhold av svovel	0,021 % S	0,021 % S
Bestanddelere som påvirker størknings- og herdetiden for betong	Lysere enn standard farge	
Farlige stoffer - Radon	Målte verdier ligger under Statens Strålevern sine anbefalinger for tiltak	
Motstand mot knusing	LA ₃₅	LA ₃₅
Forenklet petrografisk beskrivelse	Knust puss fra Råde Pukkverk. Fin- middelskornet lyse og noen rosa bergartsfragmenter. Hovedsakelig kubiske korn uten belegg på kornoverflatene. Friske kornoverflater. Svake forvitrede korn er ikke registrert. Aurhellekorn og skjell er ikke registrert. Materialet inneholder ikke kalkstein. Prøven avviker ikke fra tidligere prøver.	



YTELSESERKLÆRING NR. 13.0816-B CPR 0116

1.	Entydig identifikasjonskode for produkttypen	Grovt, knust tilslag til bruk i betong
2.	Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4	Grovt tilslag 8/16 mm
3.	Produsentens tilsiktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen	Tilslag for betong
4.	Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5	Skolt Pukkverk AS, avd. Sarpsborg Pukkverk Vålerveien 381 1599 Moss
5.	Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant)	Ikke relevant
6.	Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V	System 2+
7.	Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert standard	NS-EN 12620:2002+A1:2008+NA:2009 Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på førstegangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen.
8.	Angitt ytelse	Se neste side
9.	Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8	

Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4.

Undertegnet for og på vegne av produsenten av:

Mona Strand, KS-ansvarlig

(navn og stilling)

Moss, 07. januar 2016

Sted og utstedelsesdato



Underskrift



NR. 13.0816-B CPR 0116

Harmonisert teknisk spesifikasjon: NS-EN12620:2002+A1:2008+NA:2009

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	8/16
Gradering: (Kategori)	G _C 80/20
Kornform for grovt tilslag (Kategori)	FI ₁₅
Korndensitet (vannmettet, overflatetørr) ρ _{ssd} Korndensitet (ovnstørr) ρ _{rd}	2,62 (± 0,03) Mg/m ³ 2,60 (± 0,03) Mg/m ³
Vannabsorpsjon	0,5 %
Skjellinnhold i grovt tilslag (Kategori)	SC ₁₀
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	F ₁ (Jfr. pkt. 3b i tabell NA.1, da vannabsorpsjon ≤ 1 %)
Finstoffinnhold (Kategori)	f _{1,5}
Kvalitet på finstoff	Ikke bestemt da produktet ikke inneholder svelleleire (NA.A.3)
Alkali-silika-reaktivitet	SV _{stein} 0,0
Klorider	0,0001 %
Syreløselig sulfat (Kategori)	AS _{0,2}
Totalt innhold av svovel	0,028 % S
Bestanddelene som påvirker størknings- og herdetiden for betong	Lysere enn standard farge
Farlige stoffer - Radon	(²²⁶ Ra) > 100 Bq/kg. Målinger/tiltak bør gjøres ved bruk til bygningsmaterialer. Grensen for ²²⁶ Ra i fyllmasser er ikke overskredet
Motstand mot knusing	LA ₅₀
Forenklet petrografisk beskrivelse	Knust puss fra Sarpsborg Pukkverk. Fin- middelskornet lyse bergartsfragmenter. Kubiske korn uten belegg på kornoverflatene. Friske kornoverflater. Svake forvitrede korn, aurbellekorn og skjell er ikke registrert. Materialet inneholder ikke kalkstein. Prøven avviker ikke fra tidligere prøver.

YTELSESERKLÆRING NR. 200-002 12620 CPR 2016.02.01.

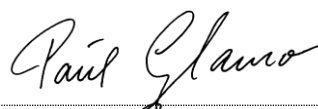
- | | |
|---|---|
| 1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen | Tilslag 0/4, 0/8, 2/4, 4/8, 8/11,11/16 og 11/22 mm til bruk i betong |
| 2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4 | Tilslag 0/4, 0/8, 2/4, 4/8, 8/11, 11/16 og 11/22 mm. |
| 3. Produsentens tilsktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen | Tilslag for betong |
| 4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5 | AS Bjønndalen Bruk, Postboks 394, 1471 Lørenskog. |
| 5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant) | Ikke relevant |
| 6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V | System 2+. |
| 7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert Standard | NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009
Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på første-gangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen. |
| 8. Angitt ytelse | Se neste side |
| 9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8
Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4.
Undertegnet for og på vegne av produsenten av: | |

Paul Glamo, KS-leder

(navn og stilling)

Lørenskog, 01. Februar 2016

Sted og utstedelsesdato



Underskrift

Harmonisert teknisk spesifikasjon: **NS-EN 12620:2002 +A1:2008+NA:2009**

Vesentlige egenskaper	Ytelse						
	0/4	0/8	2/4	4/8	8/11	11/16	11/22
Tilslagsstørrelse							
Gradering	G_A85 G_{TC}20*		G_C85/20				G_C85/20 G_{20/15}*
Kornform for tilslag	Ikke relevant		FI₂₅	FI₂₅	FI₁₅	FI₁₅	FI₁₅
Korndensitet	2,72 Mg/m³ (±0,05)						
Vannabsorpsjon	0,5 % WA₂₄		0,7 % WA₂₄				
Innhold av kalkstein i grov tilslag	≤ 15 %						
Skjellinnhold i grovt tilslag	SC₁₀						
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	Tilfredsstillende ihht. NS-EN 12620 punkt F 2.3						
Finstoffinnhold	f₁₀		f_{1,5}				
Kvalitet på finstoff	MB₁₀		Ikke relevant				
Alkali – silika-reaktivitet	Sv 1,3						
Klorider	0,0005 %						
Syreløselig sulfat	AS_{0,2}						
Totalt innhold av svovel	≤ 0,1 %						
Bestanddeler som påvirker størknings – og herdetiden for betong	Lysere enn standard farge						
Farlige stoffer	Ikke påvist						
Forenklet petrografisk beskrivelse (type tilslag)	Forekomsten består av knust fjell og dominerende bergart er rombeporfyr. Kornene er friske og overflatebelegg er uten betydning.						
Motstand mot knusing	LA₁₅						
Motstand mot polering/slitasje	A_N7						
Volumstabilitet	Ikke bestemt						
Sammensetning/innhold: <ul style="list-style-type: none"> Bestanddeler i grovt resirkulert tilslag Innhold av vannløselig sulfat i resirkulert tilslag Innflytelse på begynnende størkning av sement (resirkulert tilslag) Karbonatinnhold i fint tilslag for overflatelag av betong 	Ikke bestemt						

*Se Labsys for deklarererte verdier



YTELSESERKLÆRING NR. 1291.604.01 CPR 2016.09.01

- | | |
|---|---|
| 1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen | Naturlig gradert tilslag til bruk i betong |
| 2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4 | Naturlig gradert tilslag 0/8 mm |
| 3. Produsentens tilsktete bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen | Tilslag for betong |
| 4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5 | NCGS AS, Avd. Lier Grustak, Geveltveien 51, 3300 Hokksund |
| 5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant) | Ikke relevant |
| 6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V | System 2+ |
| 7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert standard | NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009
Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på første-gangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen i fabrikk. |
| 8. Angitt ytelse | Se neste side |
| 9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8
Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4.
Undertegnet for og på vegne av produsenten av: | |

Nils Chr. Gevelt, Daglig Leder

(navn og stilling)

Lier Grustak, 13.09.16

Sted og utstedelsesdato

Underskrift

Harmonisert teknisk spesifikasjon: **NS-EN 12620:2002 +A1:2008+NA:2009**

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	0/8
Gradering	G_{NG} 90
Kornform for grovt tilslag	Ikke bestemt
Motstand mot knusing	Ikke bestemt
Motstand mot piggdekkslitasje	Ikke bestemt
Korndensitet -Vannmettet overflatetørr -Ovnstørr	2,70 Mg/m ³ (+/- 0,05 Mg/m ³) 2,68 Mg/m ³ (+/- 0,05 Mg/m ³)
Vannabsorpsjon	0,9
Skjellinnhold i grovt tilslag	SC₁₀
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	F₁
Finstoffinnhold	f₁₀
Kvalitet på finstoff	MB_F10
Alkali – silika-reaktivitet	Sv 37,6%
Klorider	0
Syreløselig sulfat	AS_{0,2}
Totalt innhold av svovel	S=0,01%
Bestanddelene som påvirker størknings – og herdetiden for betong	Lysere enn standardfarge
Forenklet petrografisk beskrivelse (type tilslag)	Sand med knuste korn fra løsmasseforekomst sammensatt hovedsakelig av kubisk rundede/skarpkantede korn av sandstein, siltstein, hornfels, kalkstein, granitt, gneis, feltspatisk bergart, kvarts og mafisk bergart. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.
Farlige stoffer	Ikke påvist
Vedheft til bituminøse bindemidler	Ikke bestemt
Motstand mot polering/slitasje	Ikke bestemt
Bestandighet mot varmesjokk	Ikke bestemt
Volumstabilitet	Ikke bestemt
Motstand mot frysing/tining	Ikke bestemt
Motstand mot forvitring	Ikke bestemt

CE

1111

*Velde Pukk AS, Noredalsveien 294, 4308 Sandnes
05*

Nr. 118B CPR 2016.01.01

NS-EN 12620:2002 + A1:2008 + NA:2009

Fint Tilslag 0/8 mm.

Tilslag for Betong.

Forenklet petrografisk sammedrag:

Knust fjell forekomst av granitt hovedsakelig sammensatt av kubisk skarpkantede korn. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.

Tilslagsstørrelse	0 / 8 mm
Gradering	G _A 85
Korndensitet	2,64 Mg/m ³
Vannabsorpsjon	1,01 %
<u>Renhet</u>	
- Finstoffinnhold	<i>Kategori f₁₀</i> SC ₁₀
- Skjellinnhold	
Motstand for frysing/tining	Absorbert vann mindre enn 1%
<u>Kjemisk sammensetning</u>	
- Klorider	ingen
- Syreløselige sulfater	AS _{0,2}
- Total innhold av svovel	0,01% (Krav<0,1%)
- Bestandeler som endrer størknings- og herdetid	ingen
Alkaliaktivitet (risikobergarter) – sammenligningsverdi	3,4% - Ikke alkalireaktivt
Innhold av kalkstein i grovt tilslag	0% (Krav<15%)
Farlige stoffer	Ingen kjente



YTELSESERKLÆRING NR. 118B CPR 2016.01.01

- | | |
|---|---|
| 1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen | Fint, knust tilslag til bruk i betong |
| 2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4 | Fint tilslag 0/8 mm |
| 3. Produsentens tilsiktede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen | Tilslag for betong |
| 4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5 | Velde Pukk AS, Noredalsveien 294, 4308 Sandnes |
| 5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2 (om relevant) | Ikke relevant |
| 6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V | System 2+. |
| 7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert Standard | NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009
Sertifiseringsorganet Kontrollrådet (1111) har utstedt sertifikat for produksjonskontrollen i samsvar med system 2+ basert på første-gangsrevisjon av produksjonsanlegget og produksjonskontrollen. |
| 8. Angitt ytelse | Se neste side |
| 9. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 8
Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i punkt nr. 4.
Undertegnet for og på vegne av produsenten av: | |

Hernan Mujica, Laboratoriesjef

Sandnes, 01. Januar 2016

Harmonisert teknisk spesifikasjon: NS-EN 12620:2002 + A1:2008 + NA:2009

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	0/8
Gradering	G_A 85
Kornform for grovt tilslag	Ikke bestemt
Korndensitet	2,64 Mg/m³
Vannabsorpsjon	1,01 %
Skjellinnhold i grovt tilslag	Ikke bestemt
Motstand mot frysing/tining for grovt tilslag	Ikke bestemt
Finstoffinnhold	f₁₀
Kvalitet på finstoff	Ikke bestemt
Alkali – silika-reaktivitet	3,4% - Ikke alkalireaktivt
Klorider	Ingen
Syreløselig sulfat	AS_{0,2}
Totalt innhold av svovel	0,01% (Krav<0,1%)
Innhold av kalkstein i grovt tilslag	0% (Krav<15%)
Bestanddeler som påvirker størknings – og herdetiden for betong	Ingen
Farlige stoffer	Ikke påvist
Forenklet petrografisk beskrivelse (type tilslag)	Knust fjell forekomst av granitt hovedsakelig sammensatt av kubisk skarpkantede korn. Løst belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.
Motstand mot knusing	Ikke bestemt
Motstand mot polering/slitasje	Ikke bestemt
Volumstabilitet	Ikke bestemt
Sammensetning/innhold: <ul style="list-style-type: none"> • Bestanddeler i grovt resirkulert tilslag • Innhold av vannløselig sulfat i resirkulert tilslag • Innflytelse på begynnende størkning av sement (resirkulert tilslag) • Karbonatinnhold i fint tilslag for overflatelag av betong 	Ikke bestemt



1111

Berg Betong AS

Hjellnes, Ullsfjord

14

Nr. 00111 CPR 2016.08.30

NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009

Naturlig gradert tilslag 0 - 8 mm

Tilslag for betong

System 2+

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	0/8 mm
Gradering	GNG 90
Korndensitet	2,787 Mg/m ³
Vannabsorpsjon	WA ₂₄ 1 (målt verdi 0,31 %)
Motstand mot frysing/tining	F ₁
Finstoffinnhold	f ₁₀ (målt verdi 5,08 %)
Kvalitet på finstoff	MB _F 10
Alkali-silika-reaktivitet	Sv = 46,5
Klorider	< 0,005 %
Syreløslig sulfat	AS _{0,2} (målt verdi 0,04 %)
Totalt innhold av svovel	0,02 %
Bestandeler som påvirker størknings- og herdetiden for betong	Lysere enn standardfarge
Farlige stoffer	Ikke påvist

Materialet består av sand og grus fra en løsmasseforekomst. Grovandelen består av kvartsitt, kvartsittisk gneiss og glimmerskifer. Mafiske bergarter som gabbro og amfibolitt er også representert. Finandelen består av frikorn av kvarts, feltspat, glimmer, hornblende og pyroksen. Materialet består vesentlig av kubisk kantavrundete korn. Ca 10 % av kornene er flisige/stenglige. Materialet er gjennomgående friskt, men forvitrede korn kan iaktaes. Et lite finstoffbelegg som lett vaskes av.

5/10-16

dato

underskrift



1111

Berg Betong AS

Hjellnes, Ullsfjord

14

Nr. 00112 CPR 2016.08.30

NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009

Grovt tilslag 8/16 mm Natur

Tilslag for betong

System 2+

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	8/16 mm
Gradering	Gc 85/20
Kornform	F15 (målt verdi 5,3)
Korndensitet	2,792 Mg/m ³
Vannabsorpsjon	WA ₂₄₁ (målt verdi 0,25 %)
Motstand mot frysing/tining	F ₁
Finstoffinnhold	f _{1,5} (målt verdi 3,02 %)
Kvalitet på finstoff	MB _{F10}
Motstand mot knusing	LA 35 (målt verdi 32,9)
Motstand mot slitasje	MDE ₁₅ (målt verdi 13,6)
Alklali-silika-reaktivitet	Sv = 90,0
Klorider	< 0,005 %
Syreløslig sulfat	AS _{0,2} (målt verdi 0,03 %)
Totalt innhold av svovel	0,017 %
Skjellinnhold	SC ₁₀
Farlige stoffer	Ikke påvist

Uknust naturgrus fra en løsmasseforekomst. Hovedbergartene er kvartsitt, gneiss, gabbro, amfibolitt og glimmerskifer. Kornformen er kubisk kantavrundet. Friske kornoverflater, ingen forvitrede korn. Tynt finstoffbelegg som lett vaskes av.

5/10-16

dato

underskrift



1111

Berg Betong AS

Hjellnes, Ullsfjord

14

Nr. 00113 CPR 2016.08.30

NS-EN 12620:2002 + A1:2008+NA:2009

Grovt tilslag 8/22 mm knust,uknust

Tilslag for betong

System 2+

Vesentlige egenskaper	Ytelse
Tilslagsstørrelse	8/22 mm
Gradering	Gc 90/15
Kornform	FL15 (målt verdi 7,0)
Korndensitet	2,793 mg/m ³
Vannabsorpsjon	WA ₂₄₁ (målt verdi 0,29 %)
Motstand mot frysing/tining	F ₁
Finstoffinnhold	f ₄ (målt verdi 1,86 %)
Kvalitet på finstoff	MB _{F10}
Motstand mot knusing	LA 35 (målt verdi 32,9)
Motstand mot slitasje	MDE 15 (målt verdi 13,6)
Alkali-silika-reaktivitet	Sv = 90,0
Klorider	< 0,005 %
Syreløslig sulfat	AS _{0,2} (målt verdi 0,03 %)
Totalt innhold av svovel	0,017 %
Skjellinnhold	SC ₁₀
Farlige stoffer	Ikke påvist

Blanding av naturgrus og knust grovgrus fra en løsmasseforekomst. Hovedbergartene er kvartsitt, gneiss, gabbro, amfibolitt og glimmerskifer. Kornformen varierer fra kubisk kantavrundet til skarpkantet, en del flisige korn. Friske kornoverflater, ingen forvitrede korn. Tynt finstoffbelegg som lett vaskes av.

5/10-16

dato

underskrift

PRODUKTDATABLAD

ANLEGGSEMENT FA CEM II/A-V

SIST REVIDERT JULI 2018

Sementen tilfredsstiller kravene i NS-EN 197-1:2011 til Portland-flygeaskesement CEM II/A-V 42,5 N.

Egenskap		Deklarerte data	Krav ifølge NS-EN 197-1:2011
Finhet (Blaine m ² /kg)		390	
Spesifikk vekt (kg/dm ³)		3,02	
Volumbestandighet (mm)		1	≤ 10
Begynnende størkning (min)		165	≥ 60
Trykkfasthet (MPa)	1 døgn	12	
	2 døgn	21	≥ 10
	7 døgn	37	
	28 døgn	53	≥ 42,5 ≤ 62,5
Sulfat (% SO ₃)		≤ 3,5	≤ 3,5
Klorid (% Cl ⁻)		≤ 0,085	≤ 0,10
Vannløselig krom (ppm Cr ⁶⁺)		≤ 2	≤ 2 ¹
Alkalier (% Na ₂ O _{ekv}) ²		0,5	
Klinker (%)		81	80-94
Flygeaske (%)		15	6-20
Kalkmel (sekundær bestanddel %)		4	< 5

1. I henhold til EU forordning REACH Vedlegg XVII punkt 47 krom VI forbindelser.
2. Beregnet uten bidraget fra flygeasken ihh til NB21.
I betong beregnes alkalibidraget fra sementdelen slik: Sementmengde (kg) x 0,5%

NORCEM
HEIDELBERGCEMENT Group

Norcem AS, Postboks 142, Lilleaker, 0216 Oslo
Tlf. 22 87 84 00 firmapost@norcem.no www.norcem.no

YTELSESERKLÆRING: No. CPR-NO1/0308

1. Entydig identifikasjonskode for produkttypen: **DYNAMON SX-23**
2. Type-, parti- eller serienummer eller en annen form for angivelse som muliggjør identifisering av byggevaren i samsvar med artikkel 11 nr. 4:

HIGH RANGE WATER REDUCING/ SUPERPLASTCISING ADMIXTURES

3. Produsentens tilskittede bruksområder for byggevaren, i samsvar med den relevante harmoniserte tekniske spesifikasjonen:

Admixture for use in concrete according to EN 934-2:2009+A1:2012 (T.3.1 - 3.2)

4. Navn, registrert varemerke og kontaktadresse til produsenten i henhold til artikkel 11 nr. 5

MAPEI AS – Vallsetvegen 6, 2120 – Sagstua (Norge) www.mapei.no

5. Navn og kontaktadresse til godkjent representant hvis mandat omfatter oppgavene angitt i artikkel 12 nr. 2:

Not applicable

6. Det eller de systemer for vurdering og kontroll av byggevarens konstante ytelse, som fastsatt i vedlegg V:

System 2+

7. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som omfattes av en harmonisert standard:

The Notified body Vattenfall Services Nordic AB. No. 2719 performed the initial inspection of the manufacturing plant and of factory production control and the continuous surveillance, assessment and evaluation of factory production control under system 2+, and issued the certificate of conformity of the factory production control No. 2719-CPR-702.

8. Dersom ytelseserklæringen gjelder en byggevare som det er utstedt en europeisk teknisk vurdering for:

Not applicable

9. Angitt ytelse:

Vesentlige egenskaper	Ytelse	Harmonisert teknisk spesifikasjon
Total chlorine: Alkali content: Corrosion behaviour: Dangerous substances:	≤ 0,05 % by mass ≤ 2,0 % by mass Contains components only from EN 934-1:2008, Annex A.1 see SDS	EN 934-2:2009+A1:2012 (T 3.1 – 3.2)

10. Ytelsen for varen som angitt i nr. 1 og 2, er i samsvar med ytelsen angitt i nr. 9. Denne ytelseserklæringen er utstedt på eget ansvar av produsenten, som angitt i nr. 4.



Undertegnet for og på vegne av produsenten av: **Trond Hagerud – Administrerende direktør**

(navn og stilling)

.....
(signatur)

Sagstua, 28/05/2018
(sted og utstedelsesdato)

CE MARKING according to CPR 305/2011 and EN 934-2:2009+A1:2012

 2719	 Vallsetvegen 6 – 2120 Sagstua (Norway) www.mapei.no								
<p style="text-align: center;">04 CPR-NO1/0308 EN 934-2:2009+A1:2012 Dynamon SX-23</p> <p style="text-align: center;"><i>High range water reducing/ superplasticising admixtures</i> <i>EN 934-2, T 3.1 – 3.2</i></p> <table border="0"><tr><td>Total chlorine:</td><td>≤ 0,05 % by mass</td></tr><tr><td>Alkali content:</td><td>≤ 2,0 % by mass</td></tr><tr><td>Corrosion behaviour:</td><td>Contains components only from EN 934-1:2008, Annex A.1</td></tr><tr><td>Dangerous substances:</td><td>see SDS</td></tr></table>		Total chlorine:	≤ 0,05 % by mass	Alkali content:	≤ 2,0 % by mass	Corrosion behaviour:	Contains components only from EN 934-1:2008, Annex A.1	Dangerous substances:	see SDS
Total chlorine:	≤ 0,05 % by mass								
Alkali content:	≤ 2,0 % by mass								
Corrosion behaviour:	Contains components only from EN 934-1:2008, Annex A.1								
Dangerous substances:	see SDS								



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 6706 Etterstad 0609 OSLO
Tlf: (+47) 22073000
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen