

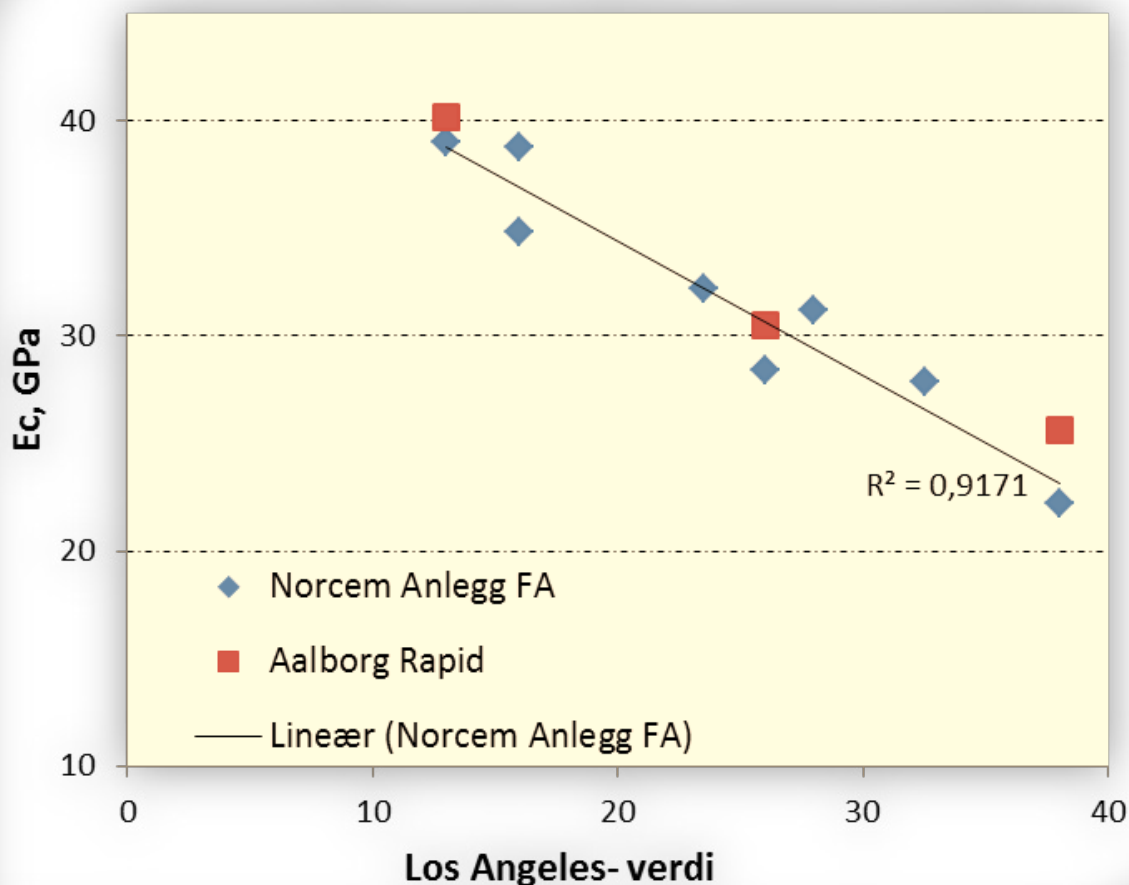
Trykkfasthet og E-modul for SV-40 betong

En studie av tilslagets betydning

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 177

Ec 90 døgn vs Los Angeles-verdi for tilslag



Tittel

Trykkfasthet og E-modul for SV-40 betong

Undertittel

En studie av tilslagets betydning

Forfatter

Bård Pedersen og Reidar Kompen

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer**Rapportnummer**

Nr. 177

Prosjektleder

Bård Pedersen

Godkjent av

Claus K. Larsen

Emneord

Betong, trykkfasthet, E-modul, tilslag, Los Angeles verdi, mekaniske egenskaper

Sammendrag

Hovedhensikten med studien har vært å kartlegge effekt av vanlige norske betongtilslag på betongens mekaniske egenskaper. Studien har vist at tilslag har stor effekt på betongens trykkfasthet, og i enda større grad på betongens E-modul. Videre er det funnet en god korrelasjon mellom tilslagets Los Angeles-verdi og betongens trykkfasthet, og i enda høyere grad korrelasjon mellom Los Angeles verdi og E-modul.

Title

Compressive strength and E-modulus of SV-40 concrete

Subtitle

A study on the impact of aggregates

Author

Bård Pedersen and Reidar Kompen

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Tunnel and concrete

Project number**Report number**

No. 177

Project manager

Bård Pedersen

Approved by

Claus K. Larsen

Key words

Concrete, compressive strength, E-modulus, aggregates, Los Angeles value, mechanical properties

Summary

A study on the impact of aggregates on the mechanical properties of concrete has been carried out. The results show that aggregate has a large impact on compressive strength, and to an even larger extent on the E-modulus of concrete. The compressive strength, and to an even higher extent the E-modulus of concrete, are correlated to the Los Angeles value of the aggregates.

Sammendrag

I etterkant av innføringen av Anlegg FA-sement ble det rapportert om problemer med undermålere og problemer med å oppnå karakteristisk fasthet for B45 betong for enkelte betongprodusenter. Data fra Norcem og fra samarbeidsprosjektet «Anlegg FA» tyder imidlertid ikke på at sementfastheten skulle være for lav i forhold til produksjon av B45 betong. Det har dermed vært naturlig å rette søkelyset mot tilslagene, og undersøke hvilken betydning de har for trykkfasthet og E-modul for betong.

Studien ble lagt opp for å kartlegge hvilken effekt tilslag fra et utvalg av norske tilslagsforekomster har på fasthet og E-modul for ordinær SV-40 betong. Det ble valgt totalt 8 tilslagskombinasjoner. Det ble i hovedsak valgt tilslag fra store kjente ressurser, men samtidig ble det søkt aktivt for å finne tilslag med en viss variasjon i forventede egenskaper. Norcem Anlegg FA sement ble benyttet som hovedsement i forsøkene, men for 3 av tilslagskombinasjonene ble det også benyttet Aalborg Rapid sement.

Studien har vist at valg av tilslag har betydelig større effekt på trykkfasthet enn forventet. Forskjell mellom laveste og høyeste oppnådde fasthet var 27 MPa etter 28 døgn, 35 MPa etter 90 døgn, 36 MPa etter 180 døgn og 44 MPa etter 365 døgn for betonger med Anlegg FA sement. Effekt av tilslag er til en viss grad avhengig av type sement. Forskjellen mellom beste og dårligste tilslag mht fasthet er noe mindre for Aalborg Rapid enn for Anlegg FA.

Forskjellen i oppnådd E-modul (E_C) var på 17 GPa etter 90 døgn. Studien har videre vist at E-modul er en egenskap som i stor grad kan relateres til tilslagets egenskaper, og i relativt stor grad er uavhengig av type sement og betongens modenhet.

Det er funnet en meget god korrelasjon mellom tilslagets mekaniske egenskaper uttrykt i Los Angeles-verdi og oppnådd E-modul i betong ($R^2 = 0,92$ for E-modul etter 90 døgn), dette var i tråd med forventningene.

Det er videre funnet en relativt god korrelasjon mellom oppnådd trykkfasthet og Los Angeles-verdi, høyest korrelasjon for trykkfasthet var etter 1 år med $R^2 = 0,85$. Det var uventet at det skulle være en såpas klar sammenheng mellom Los Angeles verdi og trykkfasthet.

Los Angeles-verdi er en sentral kvalitetsparameter for tilslag til veidekker og bærelagsmasser, men har i veldig liten grad blitt brukt som kvalitetsparameter for tilslag til konstruksjonsbetong, til tross for at Statens vegvesen har et krav om maksimal LA-verdi på 35. Studien har aktualisert dette kravet, og det bør vurderes nærmere om Los Angeles-verdi kan brukes som et kriterium for å differensiere tilslag til ulike formål.

Det er gjennomført en begrenset studie av betongene for å vurdere om det er forskjeller i bestandighetsmessige egenskaper. De rapporterte resultatene gir ikke grunnlag for å si at det er signifikante forskjeller i de undersøkte bestandighetsegenskapene for betonger med ulike tilslag. Det er imidlertid igangsatt et arbeid for å fastslå hvilken effekt tilslagene har på betongens fryse/tine motstand, dette vil bli rapportert separat.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	4
2	Bakgrunn og hensikt.....	4
2.1	Bakgrunn for studien	4
2.2	Basis betongteknologi	5
2.3	Betongtilslagets egenskaper	5
2.4	Sementens styrkeegenskaper	6
2.5	Hva vet vi så?	10
2.6	Studie av tilslagets betydning - hensikt og avgrensninger.....	10
3	Mekaniske egenskaper for tilslag og effekt på betong	11
3.1	Litt om mekaniske egenskaper for tilslag.....	11
3.1.1	Prøvmingsmetoder og krav.....	11
3.1.2	Effekt av geologiske parametere	12
3.2	Effekt av tilslag på mekaniske egenskaper i betong.....	13
3.2.1	Innledning.....	13
3.2.2	Noen resultater fra tidligere norske studier	14
3.2.3	Avsluttende kommentarer	17
4	Forsøksprogram, materialer og metoder.....	19
4.1	Forsøksmatrise og betongsammensetning.....	19
4.2	Materialer	21
4.2.1	Tilslag.....	21
4.2.2	Sementer.....	24
4.2.3	Tilsetningsstoffer.....	24
4.3	Prøvmingsmetoder.....	24
5	Resultater.....	25
5.1	Synkmål, luft og densitet.....	25
5.2	Trykkfasthet og E-modul for betong	25
6	Reproduserbarhet.....	27
7	Diskusjon.....	30
7.1	Tilslagets effekt på trykkfasthet	30
7.1.1	Trykkfasthet for betonger med Norcem Anlegg FA	30
7.1.2	Samlet effekt av tilslagstype og sement	32
7.1.3	Sammenheng mellom trykkfasthet og Los Angeles verdi	34
7.2	Tilslagets effekt på E-modul	36
7.2.1	E-modul for betonger med Anlegg FA.....	36
7.2.2	Effekt av tilslagstype og sement på E-modul	36
7.2.3	Sammenheng mellom E-modul og Los Angeles verdi	37
7.3	E-modul i henhold til beregningsstandard.....	38

7.4	Forholdet mellom trykkfasthet for sylinder og terning	40
8	Tilleggsundersøkelser.....	42
8.1	Innledning.....	42
8.2	Gjennomførte undersøkelser	42
8.3	Igangsatte undersøkelser	42
9	Bilder.....	43
10	Konklusjoner og videre arbeid	44
10.1	Konklusjoner	44
10.2	Videre arbeid	44
11	Referanser.....	45

1 Innledning

Det er kjent at tilslag har stor effekt på betongens egenskaper både i fersk og herdnet fase. Ved valg av tilslag vil en betongprodusent normalt vektlegge egenskaper knyttet til betongens støpelighet og reseptøkonomi i større grad enn egenskaper i herdnet fase. Norske betongtilslag regnes generelt for å være av god kvalitet, og bortsett fra problemstillingene rundt bruk av alkalireaktive tilslag samt magnetkis er det få problemer knyttet til bestandighet.

Når det gjelder mekaniske egenskaper er det kjent at tilslaget har betydning for både trykkfasthet og stivhet (E-modul), men det er relativt sjelden at tilslag velges ut fra slike kriterier. Majoriteten av betonger som blir produsert i Norge ligger i fasthetsklasse-intervallet B30 – B55, og bare unntaksvis etterspørres betonger av høyere fasthet. I disse fasthetsklassene har det vært vanlig å anta at tilslaget i liten grad vil være begrensende faktor for oppnådd fasthet.

For E-modul er forholdet annerledes, tilslagets stivhet er dominerende faktor for å oppnå høy E-modul i betong. Det er imidlertid sjelden at det stilles spesifikke krav til betongens oppnådde E-modul.

Rapporten gir innledningsvis bakgrunnen for at det ble initiert en studie av tilslagets betydning for trykkfasthet og E-modul i betong. Videre rapporteres den gjennomførte studien som inkluderer 8 kombinasjoner av norske betongtilslag, og hvilken effekt disse tilslagene har på oppnådd trykkfasthet og E-modul for SV-40 betong.

2 Bakgrunn og hensikt

2.1 Bakgrunn for studien

Etter at Norcem Anlegg FA¹ sement ble introdusert på markedet rundt 2008 rapporterte enkelte anleggsprosjekter om undermålere for trykkfasthet og problemer med overholdelse av kravet til karakteristisk fasthet for SV-40 betong av fasthetsklasse B45. Ut fra de forundersøkelser som var gjort før introduksjonen av denne sementen, både av Norcem og av Statens vegvesen, var dette uventet. Fasthetsklasse B45 (tilsvarende den gamle C55) var blitt etablert som «normal fasthetsklasse» mange år tidligere, fordi «man oppnådde denne fasthetsklassen med god margin uansett» når betongen var sammensatt etter SV-40-spesifikasjonen. Det var velkjent at flygeasken i Anlegg-FA sementen reagerte seinere enn Portlandsement-delen av sementen, og at fasthetstilveksten ved høy alder var større for FA-sementen enn for Norcem Anleggsement, som Norcem Anlegg FA erstattet. Første reaksjon var derfor at «vi vet at tilstrekkelig trykkfasthet kommer, men den kommer bare litt seinere». For visse prosjekter, hvor problemene ikke ble løst på andre måter, ble det akseptert å påvise oppfyllelse av krevd karakteristisk fasthet ved 56 døgn alder i stedet for ved 28 døgn.

Det var imidlertid slik at det kun var enkelte, og slett ikke alle, betongprodusenter som hadde problemer med å oppnå foreskrevet 28-døgn trykkfasthet. Årsakene til dette har vært flere eller sammensatte; avvik i reelt masseforhold, avvik i luftinnhold eller, ulike leverandører/kilder for silikastøv eller ulik silikadosering. I tillegg til disse faktorene kan også effekt av tilslag ha spilt en vesentlig rolle.

I Statens vegvesens Prosesskode-2 prosess 84.4 har kravene til betongtilslag vært stilt slik at lokale tilslag skulle kunne benyttes overalt i landet. Kvalitetsmessig har kravene vært stilt «midt på treet» i forhold til norske tilslagmaterialer, eller heller litt lavere. Elastisitetsmodul (E-modul) for betong kontrolleres ikke rutinemessig, bortsett fra ved bygging av fritt-frambygg bruer (FFB). I et spesifikt

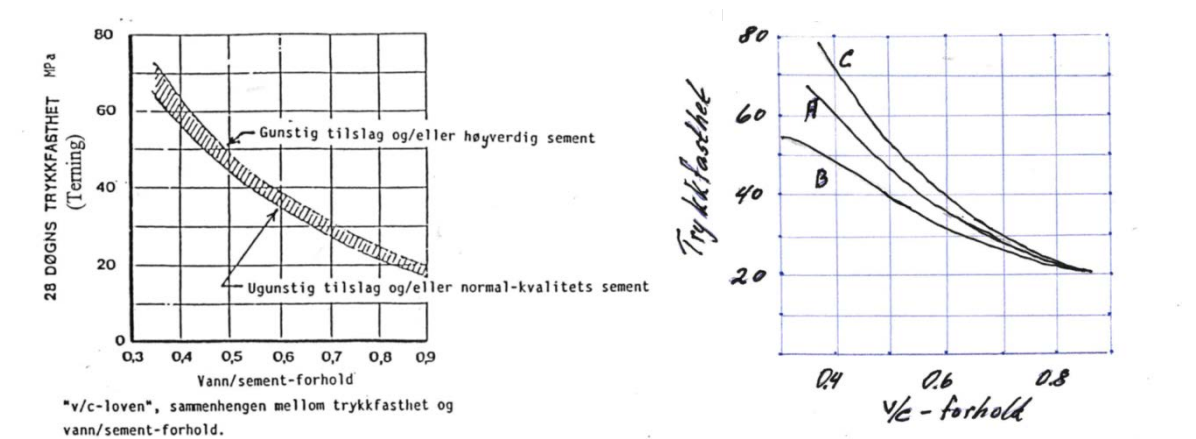
¹ «Anleggsement FA» er riktig navn iht. Norcems produktdatablad, men sementen omtales normalt som «Anlegg FA» i dagligtale. Anlegg FA (og Standard FA) brukes derfor videre i rapporten.

prosjekt hvor betongen viste undermålere for trykkfasthet ble E-modulen for betongen kontrollert i ettertid, og de lave verdiene som kontrollen viste styrket mistanken om at tilslagsegenskaper kunne være en viktig forklaringsfaktor for undermåls fasthet.

2.2 Basis betongteknologi

Trykkfasthet er betongens viktigste egenskap, og selve ABC'n innen betongteknologien er vist i Figur 1 nedenfor. Trykkfastheten for betong sammensatt av et visst sett av delmaterialer er primært en funksjon av vann/semest-forholdet (eller masseforholdet) som vist i figuren. Kurven som angir denne sammenhengen ligger høyere i diagrammet dersom det benyttes høystyrke-sement og/eller «gunstig» tilslag. Tilsvarende ligger kurven lavere dersom det benyttes sement av lavere styrkeklasse og/eller «ugunstig» tilslag.

Det er også en erfaring fra det praktiske liv at helningen for kurven i Figur 1 kan variere ganske mye, noe som er illustrert i Figur 2. Om det «normale» er kurve A, følger andre tilslag kurve B. Dvs. at reduksjon av v/c-forholdet ikke gir like stor økning av fastheten, og at høye fastheter kan bli umulig å oppnå. Noen tilslag (kurve C) kan gi uvanlige stor fasthetsgevinst ved reduksjon av v/c-forholdet.



Figur 1 «v/c-loven»

Figur 2 Erfaringsmessig effekt av tilslag

2.3 Betongtilslagets egenskaper

Hva er det som karakteriserer et «gunstig» og et «ugunstig» betongtilslag? Er det noe vi kan måle direkte på tilslaget, eller kan vi ikke avdekke det uten å benytte tilslaget i en betong og måle hvilken fasthet betongen får? I Norge er vi vant til å mene at vi bare har sterke og gode tilslag. Det stilles kun unntaksvis krav til tilslagets mekaniske egenskaper eller holdbarhetsegenskaper (bortsett fra alkalireaktivitet og kis-mineraler). Fra den forenklede petrografiske analysen får vi et kvalitativt utsagn om andelen svake og/eller forvitrede korn, men her kommer også kornstørrelsen inn: Små korn antas å ha mindre innflytelse på fastheten enn grove korn. Vi får også vite bergartssammensetningen for tilslaget. Denne burde også gi en pekepinn om fasthetsegenskapene, men hvor sikkert er det når alle våre steintilslag har høyere fasthet enn den betongen vi skal lage?

Relevante tilslagsparametere (med tanke på mekaniske egenskaper) som blir målt/anslått eller som det stilles krav til i Prosesskode-2 prosess 84.4 (2007 og 2012-utgaven) er:

1. Porøsitet/vannabsorpsjon. Relativt liberale krav; maksimalt 1,5 % for tilslag < 8 mm og maks. 1,2 % for tilslag > 8 mm.
2. Motstand mot knusing for grovt tilslag, Los Angeles verdi. «Midt på treet»-krav LA₃₅. Denne verdien blir det stilt krav til for asfalttilslag, bærelag og forsterkningslag for veier. Det har vært liten fokus på Los Angeles verdi for betong, og i Norge oppgis normalt ikke LA-verdien på deklarasjonsarket for betongtilslag etter NS-EN 12620.
3. Andel svake og/eller forvitrede korn fremkommer rutinemessig ved forenklet petrografisk undersøkelse. Det er imidlertid ikke et spesifikt krav om at dette skal angis på materialdeklarasjonen.

Tidligere ble også mengde fri glimmer analysert og deklart, men denne parameteren er ikke en del av det nye regimet under NS-EN 12620, og blir dermed ikke rutinemessig analysert.

Tilslagsdata for prosjekter hvor det har vært problemer med å oppnå tilfredsstillende 28-døgns karakteristisk fasthet indikerer ikke at vannabsorpsjon eller andel svake/forvitrede korn har vært den vesentlige forklaringsfaktoren for problemene.

2.4 Sementens styrkeegenskaper

Siden flygeaskesementen har blitt gitt «skylden» for problemene med å oppnå karakteristisk 28 døgns fasthet, er det av interesse å se spesielt på fasthetsegenskapene til Anlegg FA. Sementprodusentene oppgir følgende retningsgivende fasthetsdata (ved normert prøving i mørtel med v/c-0,5) for aktuelle sementer på sine datablader:

Tabell 1 Retningsgivende trykkfasthetsdata fra sementprodusentene

Sement/Alder	1 døgn MPa	2 døgn MPa	7 døgn MPa	28 døgn MPa	28 d/28 d Anlegg	28d/ 28d AnIFA
Norcem Anlegg	18	30	46	60	100 %	113 %
Norcem Anlegg FA	13	22	35	53	88 %	100 %
Norcem Standard FA	21	31	40	52	87 %	98 %
Aalborg Rapid	17-23 20	29-37 33	47-55 51	63-71 67	112 %	126 %
Cemex Miljøsement	18	28		58	97 %	109 %

Sementenes relative innbyrdes styrkeegenskaper som er beregnet her, inngår ikke i databladene.

Norcem Standard FA og Anlegg FA er deklartert i styrkeklasse 42,5, mens Aalborg Rapid og Cemex Miljøsement i styrkeklasse 52,5. Vi ser at Flygeaske-sementene Norcem Standard FA og Norcem Anlegg FA gir relativt like fastheter, mens alle de øvrige sementene gir høyere fasthet.

Det er «etablert sannhet» at flygeaske-sementene har en seinere fasthetsutvikling fram til den standardiserte prøvingsalderen 28 døgn, men at de til gjengjeld har en mer betydelig fasthetsutvikling etter 28 døgn.

I SV-40 og SV-30 betong er det obligatorisk å benytte silikastøv som en del av bindemiddelet, og dette kan endre fasthetsutviklingen noe.

Fra en artikkel i Cement Nå! nr. 1/2011 (Rønning 2011) siteres:

«Når vi bruker silika, framskynder vi tilsynelatende hele styrkeutviklingen: Resultater fra laboratoriet i Brevik ga for SV-40 med 3 % silika en tilvekst på 15-16 % fra 28 døgn. Dette er fortsatt det dobbelte av «samme kvalitet» i kombinasjon av Anleggsement (CEM I) og silika, men utgangspunktet ligger da naturligvis høyere.»

Resultatene fra laboratoriet i Brevik (data hentet fra samme artikkel) viser:

Tabell 2. Trykkfasthet (Fra Rønning 2011)

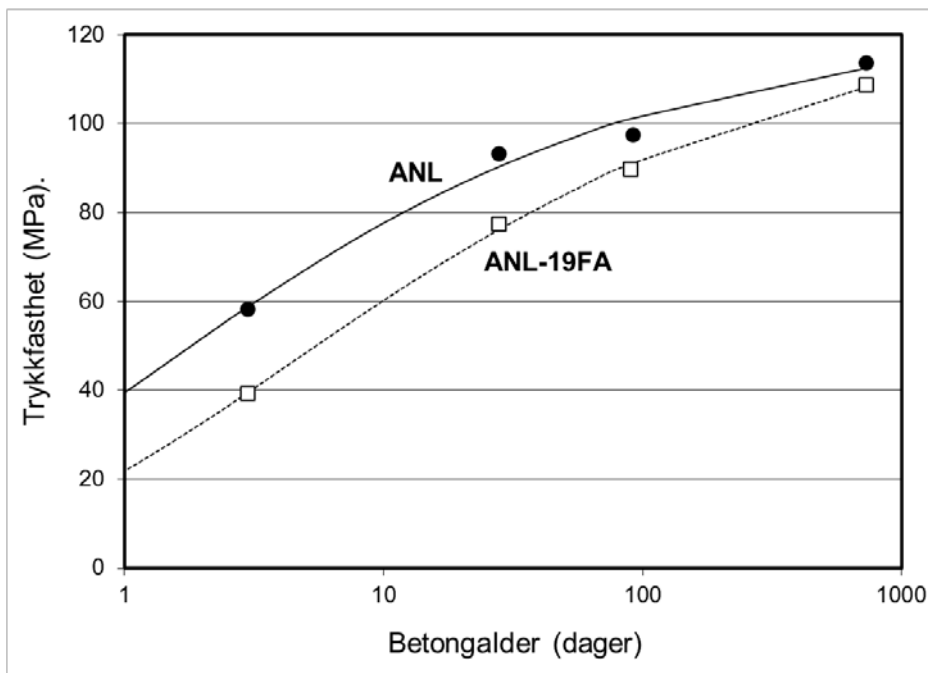
Sement	Betong	Trykkfasthet 28 døgn MPa	Trykkfasthet 91 døgn, MPa	Endring 28-91 døgn, %
Norcem Anlegg FA	M40	70	85	+ 21
Norcem Anlegg FA	SV-40	80	93	+ 16
Norcem Anlegg FA	SV-40 med 5 % luft	66	76	+ 15
Norcem Anlegg	SV-40 med 5 % luft	75	81	+ 8

Det fremgår av Tabell 2 at SV-40 med 5 % luft og Anlegg-FA sement gir 15 % fasthetsøkning fra 28 til 91 døgns alder, fra 66 til 76 MPa. Mens sammenligningsgrunnlaget SV-40 med 5 % luft og Anleggsement viser 8 % fasthetsøkning for samme aldersøkning, fra 75 til 81 MPa. Den prosentvise økningen er altså halvparten så stor, men Anlegg-FA sementen har likevel ikke tatt igjen Anleggsementen fasthetsmessig, da den fortsatt ligger 5 MPa lavere ved 91 døgns alder.

I Statens vegvesen sitt samarbeidsprosjekt med Norcem, «Anlegg FA», som ble startet opp en tid før denne sementen ble introdusert, er det utført fasthetsprøving for parallelle betongblandinger med hhv. 100 % Anleggsement og med 81 % Anleggsement pluss 19 % flygeaske ($k=1,0$ for flygeaske). Begge betongene var SV-40 betonger med 5 % luft, silikadosering på 4,8 % av C hhv. C+FA samt Årdal tilslag. Resultatene i Tabell 3 samt i Figur 3 nedenfor viser at 81%Anl+19%FA ligger under 100%Anl fasthetsmessig helt opp til 2 års betongalder. Det er altså ikke snakk om at Anlegg -FA-sementen tar igjen Anleggsement fasthetsmessig, selv ved herding langt utover 28 døgn.

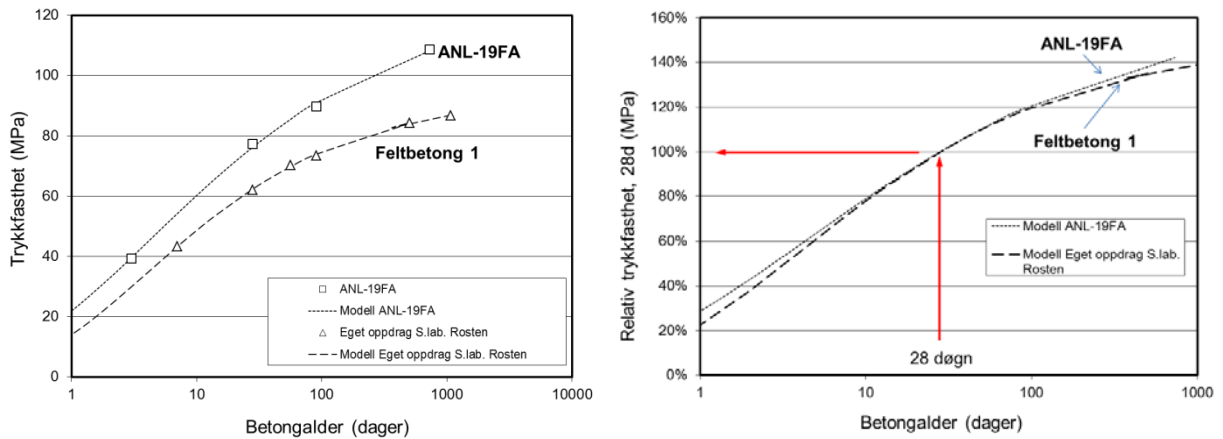
Tabell 3 Fasthetsutvikling, relativt forhold mellom betong med 81 % Anleggsement + 19 % flygeaske (ANL-19 %FA) og betong med 100 % Norcem Anleggsement (ANL). Masseforhold = 0,40 for begge betonger, k-faktor for flygeaske = 1,0. Data fra Bjøntegaard & Rodum (2013).

Tid (døgn)	3	28	90	730
Trykkfasthet: forhold ANL-19FA (%) / ANL	67	83	92	96



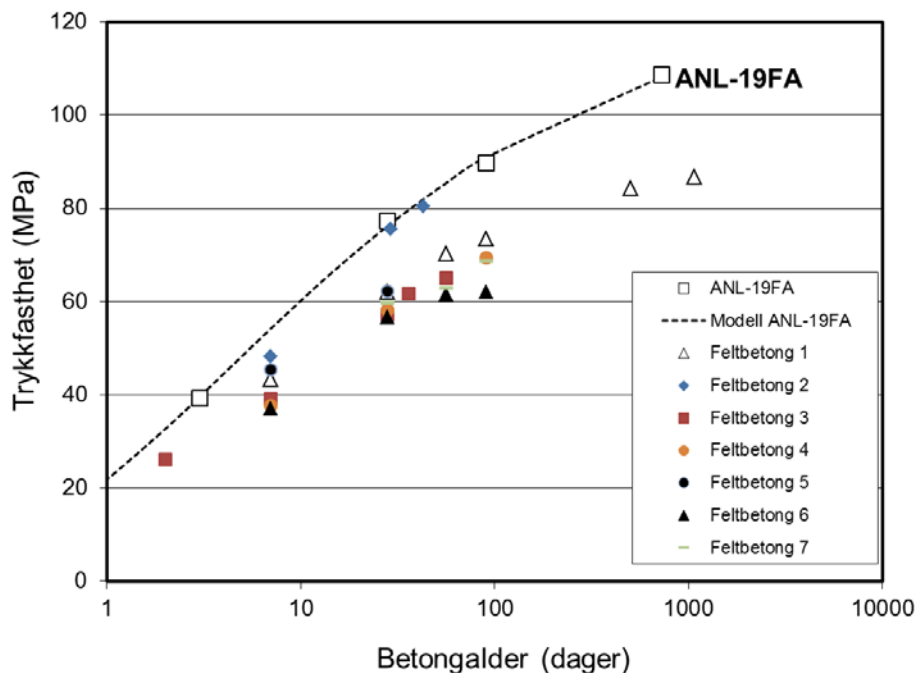
Figur 3 Fasthetsutvikling for betonger med 100 % Norcem Anleggsement (ANL) og med 81 % Anleggsement + 19 % flygeaske (ANL-19FA). Masseforhold = 0,40 for begge betonger, k-faktor for flygeaske = 1,0. (Fra Bjøntegaard & Rodum 2013).

De fasthetstallene som er referert, indikerer ikke at det skulle innebære problemer med 28-døgns karakteristisk fasthet for B45 SV-40. I samarbeidsprosjektet «Anlegg-FA» ble fasthetsutviklingen for en «feltbetong» av tilsvarende kvalitet som laboratoriebetonen, dvs. en betong produsert av et fabrikkbetonganlegg, levert og støpt i en betongkonstruksjon på vanlig måte, fulgt opp mht. fasthetsutvikling over 3 år. Som man ser av Figur 4 (venstre) ligger fastheten for feltbetongen hele tiden betydelig lavere enn for laboratoriebetonen, mens den relative fasthetsutviklingen for laboratoriebetonen og feltbetongen er ganske lik, se Figur 4 høyre. Det bemerkes her at det er benyttet luftinnføring i feltbetongene, men ikke i laboratoriebetonen.



Figur 4 Absolutt fasthetsutvikling for laboratoriestøpt betong med 19 % FA sammenlignet med tilsvarende feltbetong (venstre). Høyre bilde i figuren viser samme data, men omregnet til relative verdier med utgangspunkt i 28 døgns trykkfasthet. (Bjøntegaard & Rodum 2013).

I samarbeidsprosjektet ble fasthetsdata for flere feltbetonger, med ulike tilslag og sementleveranser samlet inn. Som forventet, og vist i Figur 5, viste feltbetongene stor spredning, - også med noen betonger som lå i «faresonen» mht. 28-døgns karakteristisk fasthet.



Figur 5 Fasthetsresultater for laboriebeteong med ANL-19FA og resultater for «tilsvarende» feltbetonger (dvs betonger med tilsvarende bindemiddel og masseforhold, men ulike tilslag). Fra Bjøntegaard & Rodum 2013.

2.5 Hva vet vi så?

Norcem Anlegg FA sement har ikke bare seinere fasthetsutvikling enn Norcem Anleggsement, som den erstattet, den har også lavere fasthetspotensiale ved alle praktisk mulige kontrollaldere. At betongprodusenter som greide å oppnå tilfredsstillende 28 døgns fastheter med lav/moderat margin med Norcem Anleggsement får problemer når de benytter Norcem Anlegg FA er derfor naturlig. Å gi en generell aksept for høyere kontrollalder enn 28 døgn, som er det normale, vil ikke være en løsning av problemet. Det ville kunne bety en generell aksept for lavere byggverksfasthet, dvs. en redusert sikkerhet.

De fasthetsdata vi har fra Norcem og Statens vegvesens samarbeidsprosjekt «Anlegg FA» tyder ikke på at sementfastheten skulle være for lav, heller tvert i mot. Det er dermed naturlig å rette søkelyset mot tilslagene, og hvilken betydning de har for faktisk oppnådd trykkfasthet og E-modul for betong proporsjonert etter reglene for SV-40 betong.

2.6 Studie av tilslagets betydning - hensikt og avgrensninger

Med bakgrunn i det som er beskrevet i det foregående, ble det besluttet å gjennomføre en studie av tilslagets betydning for trykkfasthet og E-modul i betong. Dette ble gjennomført for å kartlegge hvilken effekt tilslag fra et utvalg av norske tilslagsforekomster har på fasthet og E-modul for ordinær SV-40 «Vegvesen-betong». Studien er ikke lagt opp på «vitenskapelig vis» for å kunne fastslå effekt av ulike tilslagsparametere. Det har likevel vært et mål å forsøke å identifisere hvilke tilslagsparametere som har størst betydning for betongens mekaniske egenskaper basert på tilgjengelig informasjon.

Utvalget av tilslag ble gjort ut fra følgende kriterier:

- I størst mulig grad tilslag fra store, kjente ressurser
- En viss grad av geografisk spredning
- Størst mulig variasjon i forventede egenskaper
- Inkludere både naturtilslag og tilslag fra knust fjell i den grove fraksjonen (8/16 mm)

En arbeidshypotese har vært at mekanisk styrke uttrykt ved tilslagets Los Angeles vil ha en viss betydning for betongens trykkfasthet, men at Los Angeles verdien i større grad vil ha betydning for betongens E-modul. Variasjon i Los Angeles verdi var derfor en viktig faktor i arbeidet med å velge ut tilslagsforekomster. Vi forventet videre at det grove tilslaget (8/16 mm) har større effekt på betongens mekaniske egenskaper enn det fine tilslaget (0/8 mm).

3 Mekaniske egenskaper for tilslag og effekt på betong

3.1 Litt om mekaniske egenskaper for tilslag

3.1.1 Prøvningsmetoder og krav

Standarden NS-EN 12620 «Tilslag for betong» opererer med flere metoder for å klassifisere tilslagets mekaniske egenskaper. De mest kjente og vanligste metodene er:

- Los Angeles-metoden: Motstand mot knusing, LA
- Micro Deval-metoden: Motstand mot slitasje, M_{DE}
- Kule-mølle-metoden: Motstand mot piggdekkslitasje, A_N

Los Angeles metoden går ut på å tromle tilslag tørt med store stålkuler i 500 omdreininger. Standardfraksjonen for metoden er 10/14 mm. LA-verdien fremkommer ved å måle gjennomgang av materiale på 1,6 mm sikt etter tromling. Et lavere tall representerer dermed et sterkere materiale. Los Angeles verdien sier mest om 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. Det er kjent at metoden kan gi «for gode» resultater for bergarter med dårlige slitasjeegenskaper. Erfaringsmessig gjelder dette for sedimentære bergarter og bergarter med høyt glimmer eller kalkinnhold. /Håndbok 018, Erichsen 2013/.

De to andre nevnte metodene, Micro Deval og kule-mølle, er i større grad rene slitasjetester som forteller mer om abrasive egenskaper. Spesielt gjelder dette Micro Deval metoden, mens kule-mølle-metoden også har et ikke ubetydelig element av slagpåkjenning.

NS-EN 12620 sier at disse egenskapene skal deklarerer «der det kreves». For norske forhold er det uvanlig at det stilles krav om noen av disse egenskapene til betongtilslag, og det er derfor uvanlig at tilslagsprodusentene deklarerer disse verdiene for betongtilslag. Unntaket er Statens vegvesen, som altså stiller krav om maksimal LA-verdi på 35. Det er noe uklart i hvor stor grad dette kravet faktisk blir fulgt opp i praksis. Det er i alle fall ganske uvanlig å se verdien for LA deklart.

For tilslag til veiformål, dvs tilslag til bærelag, forsterkningslag og dekker (i praksis asfalt) stilles det imidlertid alltid krav, og kravene følges i stor grad opp i praksis. I Norge er krav til mekaniske egenskaper for tilslag til veiformål gitt av Statens vegvesens Håndbok 018, en samlet oversikt er gitt i håndbokas Vedlegg 3, «Steinmaterialer». Kravene er differensierte ut fra veiens årsgjenntrafikk (ÅDT). De strengeste kravene gjelder for dekker, mens det er betydelig lavere krav for materialer til bærelag og forsterkningslag. For dekker på veier med ÅDT > 15000 gjelder et krav om LA-verdi i klasse LA_{15} , dvs LA-verdien skal ikke overstige 15. Tilsvarende gjelder et krav om kule-mølleverdi i klasse A_{N7} . Til sammenligning stilles det krav om LA_{30} for bærelagsmasse i samme ÅDT-klasse. Kravene som er satt til betongtilslag er altså vesentlig lavere enn kravene som er satt til tilslag for veiformål.

Av de 3 aktuelle testmetodene for mekaniske egenskaper for betongtilslag til ordinær konstruksjonsbetong må vi anta at Los Angeles verdien er den mest relevante. For betong til veidekker hvor abrasive egenskaper er viktigst, vil kule-mølle og/eller Micro Deval- verdiene være mer relevante.

De omtalte prøvningsmetodene gjelder for grovt tilslag, dvs for fraksjoner > 4 mm. For fine fraksjoner (sand) < 4mm blir det ikke deklart mekaniske egenskaper. Det er likevel forventet at også fraksjonen < 4 mm vil ha betydelig effekt for betongens mekaniske egenskaper.

Det finnes noen publiserte resultater for mekaniske egenskaper i form av trykkfasthet og E-modul målt på rene bergartsprøver for ulike bergarter (se Kapittel 3.1.2). Det er imidlertid uvanlig å ha slike

prøvningsresultater tilgjengelige, og i standarden NS-EN 12620 Tilslag for betong stilles ingen krav om slik prøving.

3.1.2 Effekt av geologiske parametere

Sammenhengen mellom geologiske parametere og mekaniske egenskaper i betong er svært kompleks, og det ligger utenfor målsetningen med denne rapporten å gi en grundig analyse av slike forhold. Det går imidlertid an å gi noen generelle trekk. Brattli (1990) har rangert bergartenes middelkornstørrelse som den isolert sett viktigste egenskapen for deres mekaniske egenskaper. Finkornige dagbergarter som basalt og ryolitt har ofte (men ikke alltid) bedre mekaniske egenskaper enn de mer grovkornige dypbergartene med tilsvarende mineralogi (gabbro og granitt). I tillegg vil bergartenes tekstur ha stor betydning. Bergarter som har en definert mineralorientering og er båndet eller lagdelt (f.eks gneis og skifer) vil ha en eller flere svakhetsretninger som vil gi redusert mekaniske styrke. I tillegg til slike teksturelle forhold vil også bergartenes mineralogi og spesielt mineralenes hardhet ha stor betydning.

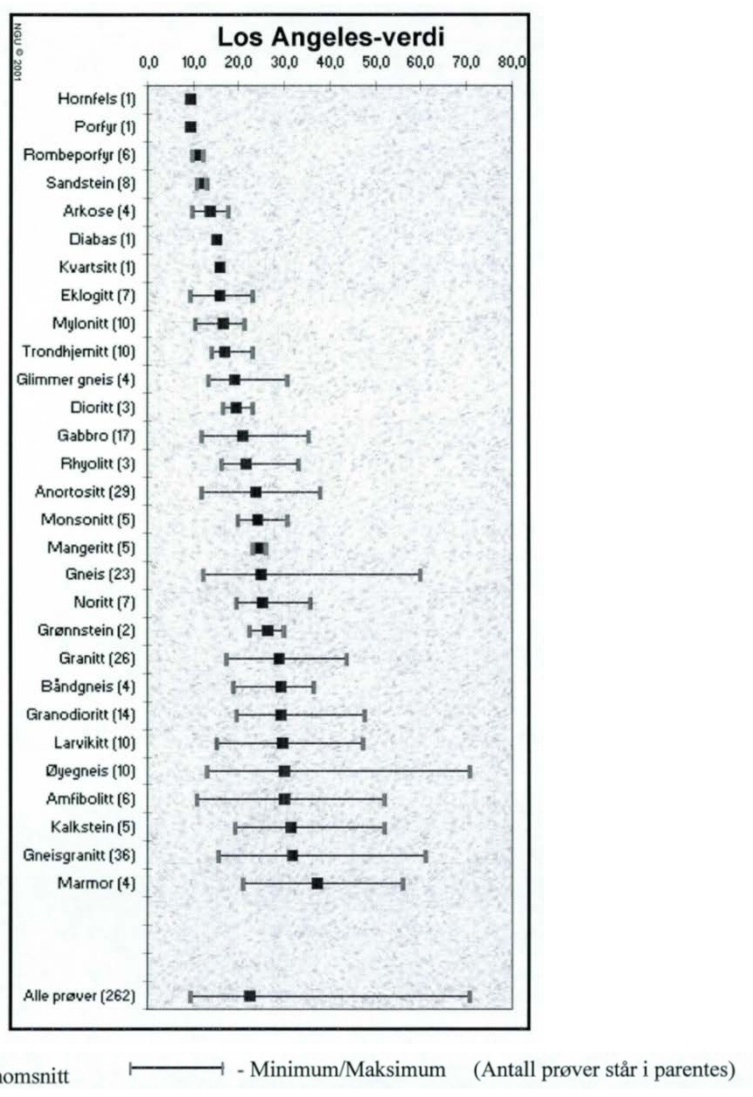
For å få et visst bilde av variasjonsspekteret i mekaniske egenskaper tar vi med et lite utdrag fra NGBs håndbok (2000). Denne viser en sammenstilling av en-aksiell trykkfasthet og E-modul for skandinaviske bergarter:

Tabell 4 En-aksiell trykkfasthet og E-modul for et utvalg av skandinaviske bergarter, her oppgitt som middelerverdier. Antall prøver i hver kategori er også vist. Basert på NBG håndbok (2000).

Bergart	Trykkfasthet, MPa	E-modul, GPa	Antall prøver
Kalkstein	74	71	25
Fyllitt	61	46	12
Sandstein	147	28	5
Kvartsitt	172	56	7
Gneis	130	50	107
Granitt	169	42	20
Basalt	207	82	3

Verdiene i Tabell 4 er middelerverdier. Det kan være svært stor variasjon i enkeltresultater innenfor hver type bergart. Eksempelvis kan enkelte granitter ha trykkfasthet på under 100 MPa, mens altså gjennomsnittsverdi for granitt i Norden ligger på 169 MPa.

Figur 6 viser en oversikt over målte Los Angeles- verdier for norske bergarter. Som vi ser er spredningen i LA-verdi svært stor for mange bergarter. Type bergart kan dermed kun i beste fall gi en antydning om hvilke mekaniske egenskaper vi kan forvente. Videre testing av den aktuelle forekomsten er derfor alltid nødvendig for å fastslå de mekaniske egenskapene.



Figur 6 Målte Los Angeles verdier for norske bergarter. Fra Erichsen (2001).

Mer informasjon om hvilken effekt geologiske forhold har på tilslagets kvalitet kan leses i Statens vegvesen Håndbok 223 (2000) og NB Publikasjon nr. 18 (1988).

3.2 Effekt av tilslag på mekaniske egenskaper i betong

3.2.1 Innledning

Tilslagets effekt på de mekaniske egenskapene i betong avhenger ikke bare av bergartenes mekaniske egenskaper. Eksempelvis vil kornform, overflatestruktur, mikroriss i tilslagskorn, mengde finstoff samt belegg på tilslagskorn kunne innvirke på mekaniske egenskaper i betong. Disse egenskapene ved tilslaget er en konsekvens både av rent geologiske forhold og av produksjonstekniske forhold.

I det etterfølgende presenteres resultater fra noen tidligere studier. Hensikten med dette kapitlet er å sette våre nye resultater i relasjon til utvalgte tidligere studier av norske bergarter.

3.2.2 Noen resultater fra tidligere norske studier

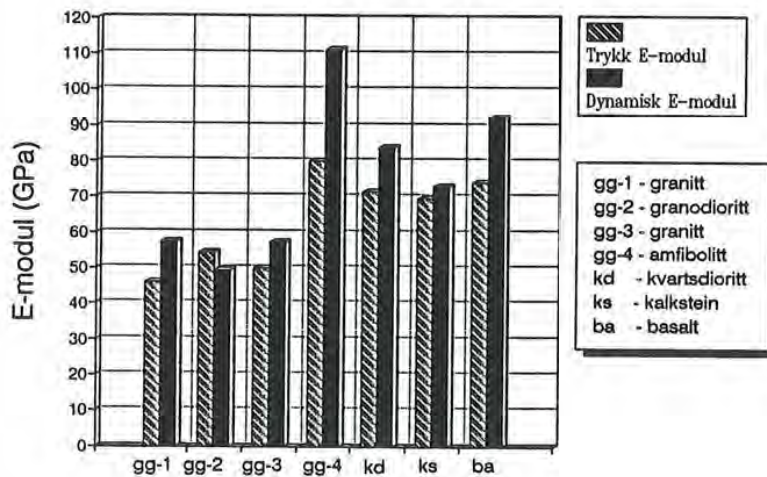
Smeplass (1992) har rapportert en studie som omhandlet effekt av 4 ulike typer tilslag på mekaniske egenskaper i høyfast betong.

De 4 ulike tilslagene var:

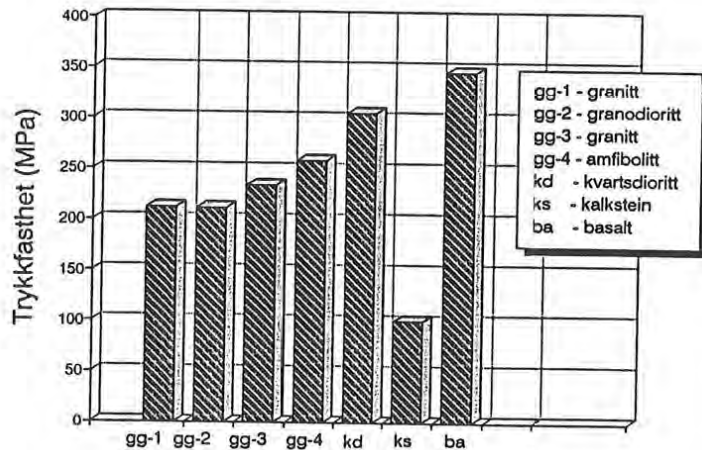
- gg – løsmasser fra Årdal i Ryfylke (hovedsakelig granittiske bergarter)
- kd – knust tilslag fra kvartsdioritt (mylonittisk) fra Tau i Ryfylke
- ks – knust kalkstein fra Hylla
- ba – knust basalt fra Steinskogen

Tilslag fra forekomstene Årdal og Steinskogen er av spesiell interesse fordi de også er med i vår rapporterte studie.

Mekaniske egenskaper målt direkte på bergartsprøver er vist i Figur 7 (E-modul) og i Figur 8 (trykkfasthet).



Figur 7 Oppnådde E-moduler for bergartsprøver (fra Smeplass 1992). (Bemerk at egenskaper for Årdal (gg) antas å ha egenskaper som er middelvei av bergartsprøvene gg-1, gg-2 og gg-3 som er tatt fra blokker i løsmasseforekomsten i Årdal).



Figur 8 Oppnådde trykkfastheter for bergartsprøver (fra Smeplass 1992). (Bemerk at egenskaper for Årdal (gg) antas å ha egenskaper som er middelvei av bergartsprøvene gg-1, gg-2 og gg-3 som er tatt fra blokker i løsmasseforekomsten i Årdal).

Oppnådde resultater for mørtel og betong vises i Figur 9 og Figur 10 for henholdsvis E-modul og trykkfasthet.

Notasjon i Figur 9 og 10 er som følger:

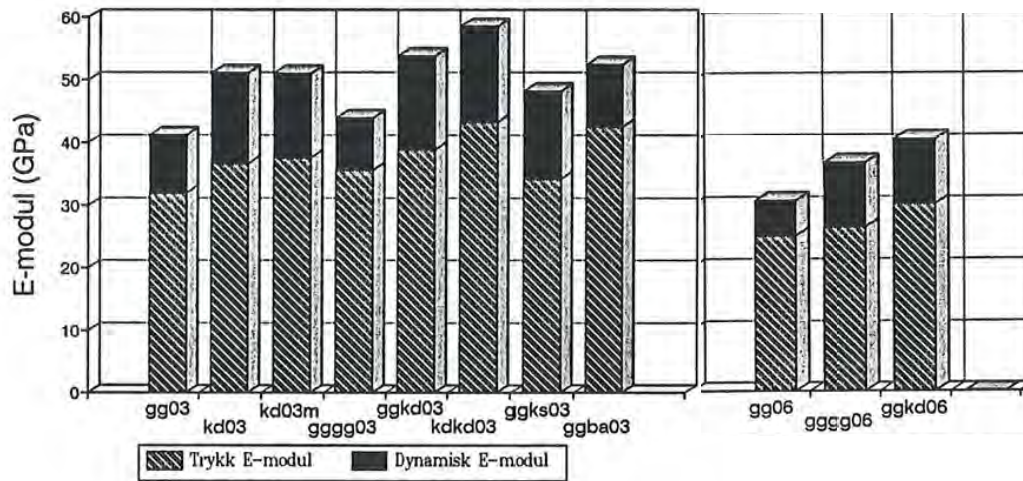
- de to første bokstavene viser til finfraksjonen (0/8)
- de to etterfølgende bokstavene viser til grovfraksjonen (8/16)
- sifrene 03 eller 06 viser til masseforhold (0,3 eller 0,6)
- kun to bokstaver etterfulgt av tall betyr at grovfraksjonen mangler, dvs det er snakk om mørtel

Bokstavbetegnelse står for:

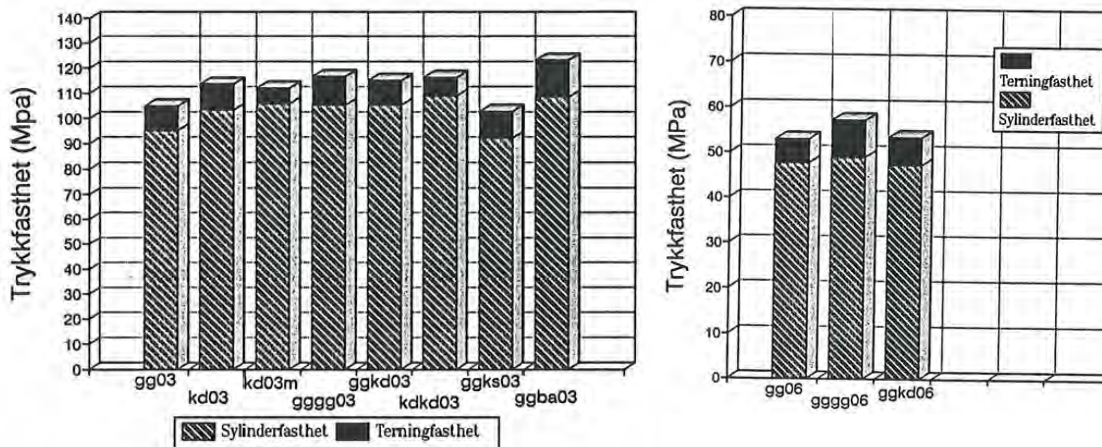
- gg - granitt (Årdal)
- kd - kvartsdioritt
- ks - kalkstein
- ba – basalt (Steinskogen)

Eksempelvis betyr da:

- ggkd06: betong med Årdal 0/8 sand og kvartsdioritt 8/16, masseforhold 0,6
- gg03: mørtel med Årdal sand og masseforhold 0,3



Figur 9 Oppnådde E-moduler i betong og mørtel. Masseforhold 0,3 til venstre, 0,6 til høyre. Fra Smeplass 1992.



Figur 10 Oppnådde fastheter i betong og mørtel med ulike tilslag. Masseforhold 0,3 til venstre, 0,6 til høyre. Fra Smeplass 1992.

Oppnådd E-modul i betong samsvarer relativt godt med E-modul målt på bergartsprøver. Et unntak her er kalkstein – som gir lav E-modul i betong på tross av høy E-modul for steinen i seg selv.

Videre er E-modul høyere for betong enn for mørtel, dette er som forventet ut fra høyere andel tilslag i betong enn i mørtel. For betonger med masseforhold 0,30 var oppnådde E-moduler (E_C) for kombinasjonen Årdal-basalt (Steinskogen) 42,5 GPa, og for kombinasjonen Årdal-Årdal 35,6 GPa. Til sammenligning var målte E-moduler på steinprøver 74 og 50 GPa for henholdsvis basalt (Steinskogen) og Årdal.

Endring i masseforholdet fra 0,3 til 0,6 ga en relativt stor effekt på E-modulen, selv om betongens E-modul åpenbart er dominert av tilslagets E-modul (se Figur 9). E-modul er også blitt målt for ren

sementpasta, som oppnådde E-moduler på 26,6 GPa og 12,6 GPa for masseforhold på henholdsvis 0,3 og 0,6.

For trykkfasthet er det som forventet masseforholdet som dominerer over type tilslag, se Figur 10. På tross av stor variasjon i tilslagsfasthet, fra ca 100 – 350 MPa, var variasjonsspekteret for fasthet i betong ved masseforhold 0,3 såpass lavt som 103 – 124 MPa. Basalt ga høyest fasthet, mens kalkstein ga lavest fasthet. Fasthetsdifferanse mellom kombinasjonene Årdal-basalt (Steinskogen) og Årdal-Årdal var på kun 8,5 MPa, dette på tross av forskjeller i fasthet for bergartsprøvene på ca 150 MPa.

Jacobsen (1991) har gjort en studie av tilslagets effekt på trykkfasthet i mørtel ved masseforhold 0,45, og konstant mengde sementpasta på 40 % for alle mørtlene. Resultatene som er vist i Tabell 5 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 Tabell 5 ser også mengde glimmer i fraksjonen 0,125 – 0,250 mm ut til å være en viktig parameter, ved at økende mengde glimmer gir lavere fasthet. Det er ikke oppgitt rene mekaniske egenskaper for noen av tilslagene.

Tabell 5 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

3.2.3 Avsluttende kommentarer

Smeplass (1992) har vist at betongens E-modul i stor grad er en funksjon av tilslagets E-modul. Han har videre vist at enkle komposittmodeller kan brukes til å estimere betongens E-modul ut fra delmaterialenes E-modul og volummessige fordeling.

Sammenhengen mellom tilslagets trykkfasthet og betongens trykkfasthet er langt mindre tydelig. Kapasiteten til bindemiddelet, og kanskje i enda større grad kapasiteten til overgangssonen mellom tilslag og bindemiddel, vil normalt være en begrensende faktor for betongens trykkfasthet. Økt stivhet på tilslaget vil avlaste bindemiddelet, og vil dermed isolert sett kunne ha større effekt på betongens fasthet enn økt tilslagsfasthet. Imidlertid vil økt tilslagsstivhet føre til større spenningskonsentrasjoner i overgangssonen, og dermed kunne redusere tilveksten av fasthet. Men her spiller også bindemiddelets masseforhold inn. Synkende masseforhold gir økt stivhet i bindemiddelet. Når stivhetsdifferansen mellom betong og tilslag minskes, fører dette igjen til lavere spenningskonsentrasjonene i overgangssonen. Dette innebærer at effekt av å bytte tilslag vil kunne variere avhengig av sementpastaens fasthet og stivhet.

Det er mye som tyder på at overgangssonen mellom tilslag og pasta har spesielt stor betydning. Danielsen og Rønning (1989) har i sitt litteraturstudium vist at overgangssonen har større porøsitet og

betydelig dårligere mekaniske egenskaper enn resterende sementpasta. Overgangssonens egenskaper avhenger av faktorer knyttet til betongsammensetning, som masseforhold og mengde silikastøv. I tillegg har tilslagsegenskaper som mineralogi, forvittringsgrad overflatetekstur, belegg på korn etc. stor betydning.

4 Forsøksprogram, materialer og metoder

4.1 Forsøksmatrise og betongsammensetning

Basert på utvalgskriteriene presentert under Kapittel 2 ble det valgt ut 8 tilslagskombinasjoner, se Tabell 6. Det ble benyttet 0/8 mm og 8/16 mm tilslagsfraksjoner. Notasjonen angir type sand og stein, eksempelvis «Svelvik-Brekke» betyr at det ble benyttet en kombinasjon av 0/8 mm Svelvik sand og 8/16 mm Brekke stein. Tekniske beskrivelser av alle tilslagsfraksjoner er gitt i Kapittel 4.2.1.

Tabell 6 Testede kombinasjoner av tilslag og sement.

Tilslagskombinasjon 0/8 mm - 8/16 mm	Norcem Anleggsement FA	Aalborg Rapid
1 Svelvik-Brekke*	X	
2 Vilberg-Vilberg	X	
3 Søberg-Stokke	X	
4 Sand-Sand	X	
5 Sand- Steinskogen	X	X
6 Vika-Vika	X	X
7 Årdal-Årdal	X	X
8 Vika-Tomma	X	

* Det ble kjørt 3 repetisjoner av denne kombinasjonen. Ingen repetisjoner av de øvrige blandinger.

Norcem Anlegg FA ble valgt som hovedsement for forsøkene. I tillegg ble det for tre av tilslagskombinasjonene (se utvalg i Tabell 6) benyttet Aalborg Rapid, som er en CEM I (ren Portlandsement). Dette ble gjort for å vurdere om det er interaksjonseffekter mellom sement og tilslag og spesielt i hvilken grad sementfastheten slår ut på trykkfasthet og E-modul i betong. Se Kapittel 4.2.2 for detaljer om sementene.

Det ble valgt en standard SV-40 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.

- Fritt vann: 175 kg/m³
- Masseforhold: 0,39
- Norcem Anlegg FA: 415,5 kg/m³
- Silikastøv: 16,6 kg/m³
- Fint tilslag 0/8: 53 volum %
- Grovt tilslag 8/16: 47 volum %
- Luftinnhold: proporsjonert med 4 % luft

Volumforholdet mellom tilslag og sementpasta var likt også for betongene med Aalborg Rapid (65,2:34,8). Dette innebærer at vannmengden ble økt til 178 kg/m³, sementmengden økt til 422,6 kg/m³ og silikamengden økt til 16,9 kg/m³ for betongene med Aalborg Rapid for å kompensere for densitetsforskjellen mellom Norcem Anlegg FA og Aalborg Rapid.

L-stoff og SP-stoff ble variert fra blanding til blanding for å oppnå luft i intervallet 4-5 % og synkmål på ca 150-200 mm. Det ble blandet satser a 50 liter.

Det ble benyttet regneark for proporsjonering og fuktkorrigerings av betong (Smeplass 2004). Eksempel på utskrevet blandeskjema hvor oppveide mengder er korrigert både for absorbert fukt i tilslag og for aktuell målt fukt i tilslaget er vist i Figur 11.

Prosj./id.: Tilslagsprøving - blanding 5					
Blandevolum:	50 liter				
Dato:	30.okt.12				
Tidspunkt for vanntilsetning					
Ansvarlig:	KK				
Utført av:	KK/BP				
Materialer	Resept kg/m ³	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Norcem Anlegg FA	415,5	20,774			20,774
Elkem Microsilica	16,6	0,831	0	0,000	0,831
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	175,0	8,750		-2,428	6,322
Absorbert vann	12,4	0,621			0,621
Sand 0/8	910,6	45,531	4,4	2,003	47,534
Sand 8/16 singel	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Steinskogen 11/16	869,7	43,484	0,5	0,217	43,702
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,3	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
P	0,0	0,000	60	0,000	0,000
Glenium 151	3,3	0,166	81	0,135	0,166
Microair 1:19	1,5	0,073	99,9	0,073	0,073
	0,0	0,000	100	0,000	0,000
Stålfiber	0,0	0,000			0,000
PP-fiber	0,0	0,000			0,000

*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

** NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Figur 11 Eksempel - Blandeskjema for blanding 5.(Smeplass 2004).

Det ble benyttet standard blandeprosedyre som beskrevet i Håndbok 014, prosess 14.621:

- Tørrblanding i 1 minutt
- 50 % av vannmengde samt L-stoff tilsettes i løpet av 30 sek. blandingsperiode
- Resterende vannmengde (og eventuelt P-stoff) 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. blandepriode
- Betongen blandes i ytterligere 90 sek.

Alle forsøk ble gjennomført ved Statens vegvesen Sentrallaboratoriet i Oslo. Betongene ble støpt ut i perioden 16. oktober – 6. desember 2012.

4.2 Materialer

4.2.1 Tilslag

Det har ikke vært gjennomført prøving av tilslagssegenskaper i egen regi. Alle data er derfor basert på CE-deklarasjoner og øvrig informasjon som er mottatt fra tilslagsprodusentene. I det etterfølgende gis det forenklete petrografiske beskrivelser for hver enkelt tilslagsforekomst, samt en oversikt over tekniske tilslagsparametere.

Anmerkninger om tilslagene:

- Alle valgte 0/8- fraksjonener er fra naturforekomster (med innblanding av knust natur for Årdal)
- 5 av 8/16- fraksjonene er fra naturforekomster, noen av disse har innblanding av knust natur. For kombinasjonene 1, 5 og 8 er grovfraksjonen produsert fra knust fjell av henholdsvis granitt, basalt og gabbro.
- Fraksjonen 8/16 mm Vika i kombinasjon 6 er ikke i bruk i betong. Mekanisk styrke uttrykt ved Los Angeles-verdi er 38 for dette tilslaget, dvs den er utenfor Statens vegvesens spesifikasjon som tillater Los Angeles-verdi på maksimalt 35. Denne tilslagskombinasjonen ble likevel tatt med i studien for å få med et forventet ytterpunkt for mekaniske egenskaper i betong. Fraksjonen 0/8 mm Vika brukes imidlertid av Nordland Betongindustri i kombinasjon med 8/16 Tomma, se kombinasjon 8.

Forenklete petrografiske beskrivelser:

1a) Svelvik 0/8 natur, Svelviksand AS avd. Verket. (Hurum, Buskerud)

Sand fra løsmasseforekomst. Inneholder granitt-, gneis-, silt-, sand- og leirstein samt mørke bergarter og frikorn av kvarts og feltspat. Kornformen er i hovedsak kubisk med rundet og kantrundet kornform. Kornene hadde et tynt støvbelegg som lar seg lett vaske av med vann. Kornoverflatene er friske og uforvitret, og det er ikke påvist svake korn.

1b) Brekke 8/16, BG Stone AS, Halden, Østfold:

Knust og siktet materiale av Iddefjord-granitt.

2a) Vilberg 0/8, Grefsrud AS, Ullensaker, Akershus:

Naturlig tilslag med dominans av gneis/granitt og sandstein. Kubiske korn er i flertall, og kornformen er kubiskrundet/kantrundet. Ikke overflatebelegg av betydning. Hovedsakelig friske kornoverflater, men lett overflateforvitring på enkelte korn. Enkelte meget svake korn, og aurheller forekommer.

2b) Vilberg 8/16:

Naturlig tilslag med dominans av gneis/granitt og sandstein. Kubiske korn er i flertall, og kornformen er kubiskrundet/kantrundet. Det er tynt og løst belegg av silt på kornoverflate. Hovedsakelig friske kornoverflater, men lett overflateforvitring på enkelte korn. Fant ingen meget svake korn, men aurligger kan forekomme.

3a) 0/8 Søberg, Ramlo AS, Melhus, Sør-Trøndelag:

Sand fra løssmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/kantrundede korn av sandstein, siltstein, leirstein, tette bergarter, granitt, gneis, feltspatisk bergart og mafisk bergart. Ingen belegg på kornoverflater, en del forvitrede korn og enkelte meget svake korn.

- 3 % glimmer målt i fraksjonsområdet 0,125-0,250 mm.

3b) 8/16 Stokke, Ramlo AS, Melhus, Sør-Trøndelag:

Singel med knuste korn fra løssmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/skarpkantede korn av granitt, gneis, feltspatisk bergart, sandstein, siltstein og mørke bergarter. Løst belegg på kornoverflater, enkelte forvitrede korn og enkelte meget svake korn.

4a) 0/8 Sand, Franzefoss Pukk AS, Lier, Buskerud:

Sand med knuste korn fra løssmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/skarpkantede korn av granitt, gneis, sedimentære bergarter, hornfjelllignende bergarter og mørke bergarter. Løst belegg på kornoverflater, enkelte forvitrede korn og enkelte meget svake korn.

4b) 8/16 Sand, Franzefoss Pukk AS, Lier, Buskerud:

Singel med knuste korn fra løssmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/skarpkantede korn av tette bergarter (hornfjell), granitt, gneis, feltspatisk bergart, sandstein, siltstein og mafisk bergart. Løst belegg på kornoverflater, enkelte forvitrede korn og ingen meget svake korn.

5a) – se 4 a)

5b) 11/16 Steinskogen, Franzefoss Pukk, Bærums verk, Akershus:

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.

6a) 0/8 Vika, Nordland Betongindustri, Bodø, Nordland:

Uknust sandtilslag fra løssmasseforekomst. Hovedbergarter: Gneis/granitt, fyllitt og kvartsitt. Dominans av kubiske/kantrundede korn. Ikke synlig belegg. Hovedsakelig friske kornoverflater. Meget svake korn er ikke registrert.

6b) 8/16 Vika, Nordland Betongindustri, Bodø, Nordland:

Singel fra løsmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/kantrundede korn av granitt, gneis, feltspatiske bergarter, fylitt, glimmerskifer, tette bergarter og mørke bergarter. Løst belegg på kornoverflater, enkelte forvitrede korn og enkelte meget svake korn.

7a) 0/8 Årdal, NorStone AS, Hjelmeland, Rogaland:

Delvis knust granitt/gneis fra løsmasseforekomst. Dominans av kubiske/rundede korn. Ikke synlig belegg. Ikke registrert meget svake korn.

7b) 8/16 Årdal, NorStone AS, Hjelmeland, Rogaland:

Identisk beskrivelse som for 0/8 Årdal

8a) - se 6 a

8b) 8/16 Tomma, Gabbro Nor AS, Nesna, Nordland:

Knust fjellforekomst av gabbro hovedsakelig sammensatt av kubisk skarpkantede korn. Ingen belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.

Tekniske egenskaper for alle brukte tilslagsfraksjoner er sammenstilt i Tabell 7.

Tabell 7 Tilslagsegenskaper.

Tilslag/ Egenskap	Gradering	Finstoffinnhold (klasse/typisk verdi)	Korndensitet kg/dm ³	Absorpsjon %	Alkalireaktivitet, Sv %	Los Angeles verdi	Flisighet (klasse/typisk verdi)
0/8 Svelvik	GNG90	f10 - 4,5	2690	0,2	28,3	15 (for 8/16)	-
8/16 Brekke	GC85/20	f1,5 - 0,5	2640	0,2	0	32	-
0/8 Vilberg	GNG90	f3 - 2,0	2650	1,1	38,4	-	-
8/16 Vilberg	GC85/20	f1,5 - 0,8	2680	0,4	75,8	16	FI 15
0/8 Sjøberg	GNG90	f10 - 4,5	2710	1,1	64,9	24 (for 8/16)	-
8/16 Stokke	GC90/15	f1,5 - 0,8	2720	0,7	75,6	28	FI15 - 14
0/8 Sand	GNG90	f4 - 3,4	2700	0,6	42,9	-	-
8/16 Sand	GC80/20	f4 - 2,2	2790	0,7	92,8	16	FI15 - 6
11/16 Steinskogen	GC80/20	f1,5 - 0,5	2910	0,6	0	10	FI15 - 5
0/8 Vika	GNG90	f10 - 3,7	2730	0,8	29,7	-	-
8/16 Vika	Ikke dekl.	f4 - 2,7	2670	0,9	65,2	38	FI15 - 10
0/8 Årdal	GNG90	f10 - 3,0	2680	0,3	0,5	-	-
8/16 Årdal	GC85/15	f1,5 - 0,4	2690	0,4	0,5	26	FI15 - 3
8/16 Tomma	GC80/20	f1,5 - 0,3	2920	0,5	1,6	27	FI15 - 7

Deklarasjoner for alle tilslag er vist i Vedlegg.

4.2.2 Sementer

Norcem Anlegg FA ble benyttet som hovedsement 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.

Uttak av Anlegg FA ble gjort fra Norcems silo på Sjursøya.

Aalborg Rapid ble benyttet i kombinasjon med tre av tilslagskombinasjonene. Denne sementen er en CEM I 52,5, og har retningsgivende trykkfasthet mellom 63 og 71 MPa ved 28 døgn.

Uttak av Aalborg Rapid ble gjort fra sementbil ved lossing hos Unicon på Sjursøya.

4.2.3 Tilsetningsstoffer

Det ble benyttet BASF Glenium 151 som superplastiserende tilsetningsstoff for alle blandingene.

Det ble benyttet BASF Micro Air blandet 1:19 med vann som luftinnførende stoff for alle blandingene.

4.3 Prøvningsmetoder

Konsistens, støpelighet:

Synkmål ble målt umiddelbart etter blanding iht prosedyre 14.622 i Statens vegvesens Håndbok 014.

Luftinnhold:

Luftinnhold ble målt umiddelbart etter blanding iht prosedyre 14.625 i Statens vegvesens Håndbok 014.

Densitet:

Densitet ble målt på herdnet betong ved alle prøvingstidspunkter for trykkfasthet i henhold til prosedyre 14.632 i Håndbok 014.

Trykkfasthet, terning

Trykkfasthet ble målt ved 3, 7, 28, 90, 180 og 365 døgn iht prosedyre 14.631 i Håndbok 014. Alle rapporterte resultater er gjennomsnittsverdi for to terninger.

E-modul

E-modul ble testet iht prosedyre 14.634 i Håndbok 014 ved prøvingsaldere på 28, 90 og 365 døgn. Hvert resultat er gjennomsnittsverdi fra 3 sylindere.

Trykkfasthet, sylinder:

Sylindere fra E-moduls-forsøkene ble trykket til brudd iht prosedyre 14.634. Rapporterte verdier er gjennomsnittsverdi for 3 sylindere.

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

5 Resultater

5.1 Synkmål, luft og densitet

Oppnådde resultater for konsistens og luft vises i Tabell 8. 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.

Den variable mengden SP-stoff gjenspeiler tilslagernes variable «vannbehov». Blanding 3 med tilslagskombinasjonen Søberg-Stokke hadde et markant høyere SP-behov enn de øvrige betongene for å bli «støpelig», mens kombinasjonene Svelvik-Brekke og Sand-Sand hadde relativt lave SP-behov i forhold til oppnådd synkmål. Kombinasjonen Årdal-Årdal hadde et markant lavere SP-behov i kombinasjon med Aalborg Rapid enn med Anlegg FA. Utover dette er det vanskelig å trekke noen klare konklusjoner. Det bemerkes ellers at SP-stoff ble etterdosert i opptil flere omganger (f.eks for blanding 3), noe som kan redusere SP-stoffets effekt.

Spredningen i oppnådd luftinnhold er noe større enn forventet. Effekt av luftinnhold blir diskutert i Kapittel 6.

Tabell 8 Oppnådde egenskaper i fersk betong samt målt densitet ved ulike aldre i herdet betong. Mengde tilsetningsstoff i g per blanding a 50 liter.

Blandingsdata			Data fersk betong			Tilsetn. stoff (g)		Densitet herdet betong					
Sement	Bl nr	Kombinasjon	Temp(°C)	Synk (mm)	Luft(%)	L	SP	3 D	7 D	28 D	90 D	180 D	365 D
ANL FA	1	1 Svelvik-Brekke	21,0	200	4,3	86	166	2400	2380	2390	2385	2390	2385
ANL FA	2	2 Vilberg-Vilberg	21,0	170	4,0	76	218	2425	2425	2430	2425	2435	2430
ANL FA	3	3 Søberg-Stokke	25,8	100	4,0	83	308	2420	2425	2425	2430	2435	2440
ANL FA	4	4 Sand-Sand	22,9	140	4,2	66	111	2415	2425	2430	2425	2430	2430
ANL FA	5	5 Sand-Steinskogen	22,8	170	4,0	74	166	2495	2500	2510	2505	2505	2510
ANL FA	6	6 Vika- Vika	21,9	170	4,0	102	196	2410	2405	2410	2410	2420	2420
ANL FA	7	7 Årdal-Årdal	23,5	170	4,7	166	202	2400	2395	2395	2405	2405	2419
ANL FA	11	8 Vika- Tomma	23,4	160	3,5	128	206	2460	2480	2475	2470	2480	2470
Aalb.	8	5 Aalb Sand-Steinsk.	21,0	130	3,1*	* 110	169	2485	2500	2485	2485	2505	2495
Aalb.	9	7 Aalb Årdal-Årdal	22,3	175	4,1	25	92	2400	2400	2400	2420	2405	2420
Aalb.	10	6 Aalb Vika- Vika	22,3	150	3,0	105	182	2425	2425	2430	2430	2430	2435
ANL FA	12	**Svelvik-Brekke	22,3	190	3,9	70	150			2395	2395		
ANL FA	13	**Svelvik-Brekke	21,0	180	3,1*	?	100			2385	2380		
ANL FA	14	**Svelvik-Brekke	18,9	170	4,0	52	103			2390	2395		

* Etter tilsetning av luftdemper

** Repetisjoner av blanding 1

5.2 Trykkfasthet og E-modul for betong

Samlede resultater for trykkfasthet (terning) vises i Tabell 9, mens resultater for E-modul og trykkfasthet for sylindere vises i Tabell 10. Resultatene blir diskutert i Kapittel 7.

Tabell 9 Oppnådde trykkfastheter (terning) ved ulike prøvingsaldere for alle blandinger. I tillegg vises fastheter ved henholdsvis 90 og 365 døgn relativt til 28 døgns fasthet.

Blandingsdata		Trykkfasthet - Terning (MPa)						90D/28D	365D/28D
Bl nr	Kombinasjon	3 Døgn	7 Døgn	28 Døgn	90 Døgn	180 Døgn	365 Døgn	%	%
1	1 Svelvik-Brekke	49,3	58,5	82,3	95,8	96,3	100,8	116	122
2	2 Vilberg-Vilberg	49,5	61,8	84,3	97,3	99,8	108,3	115	128
3	3 Sjøberg-Stokke	43,3	55,5	72,8	87,3	83,8	93,3	120	128
4	4 Sand-Sand	42,0	55,0	77,8	85,3	93,8	101,0	110	130
5	5 Sand-Steinskogen	50,8	64,3	87,8	102,8	111,3	116,0	117	132
6	6 Vika- Vika	38,0	45,3	60,5	68,3	75,5	72,5	113	120
7	7 Årdal-Årdal	47,8	58,0	80,5	89,0	94,3	99,3	111	123
11	8 Vika- Tomma	43,0	52,8	69,5	81,5	86,5	92,8	117	134
8	5 Aalb. Sand-Steinskogen	57,5	75,8	95,0	100,8	104,3	106,8	106	112
9	7 Aalb. Årdal-Årdal	56,5	68,8	87,3	93,3	92,8	100,5	107	115
10	6 Aalb. Vika-Vika	50,8	61,3	75,3	78,8	79,8	81,0	105	108
12	**Svelvik-Brekke			85,8	93,8			109	
13	**Svelvik-Brekke			78,5	89,0			113	
14	**Svelvik-Brekke			84,5	95,5			113	

** Repetisjoner av blanding 1

Tabell 10 Oppnådde sylindetrykkfastheter og E-moduler for alle blandinger.

Blandingsdata		Trykkfasthet sylinder (Mpa)			E ₀ (GPa)			E _c (GPa)		
Bl nr	Kombinasjon	28 D	90 D	365 D	28 D	90 D	365 D	28 D	90 D	365 D
1	1 Svelvik-Brekke	68,8	86,7	93,0	29,7	32,2	35,0	29,2	32,2	34,7
2	2 Vilberg-Vilberg	70,0	81,7	90,8	30,7	34,0	36,2	30,4	34,8	36,2
3	3 Sjøberg-Stokke	60,5	68,2	79,2	27,1	30,4	33,2	28,1	31,2	33,7
4	4 Sand-Sand	60,7	72,2	88,5	34,8	38,1	41,5	34,8	38,8	41,6
5	5 Sand-Steinskogen	77,3	90,0	99,0	35,5	38,0	40,5	36,0	39,0	41,0
6	6 Vika- Vika	50,7	59,0	66,5	20,0	21,8	25,4	20,7	22,2	25,7
7	7 Årdal-Årdal	59,2	68,3	72,3	27,5	29,4	30,2	27,4	28,4	30,4
11	8 Vika- Tomma	62,2	71,5	82,5	25,4	27,4	30,6	26,2	27,9	30,9
8	5 Aalb. Sand-Steinskogen	72,3	80,3	80,8	36,4	39,5	41,3	37,3	40,2	41,8
9	7 Aalb. Årdal-Årdal	68,5	73,2	78,5	29,4	30,9	31,0	29,5	30,5	31,2
10	6 Aalb. Vika-Vika	64,3	63,0	72,5	24,3	25,5	27,2	24,7	25,6	27,8
12	**Svelvik-Brekke		84,5			31,1			31,1	
13	**Svelvik-Brekke		70,0			30,2			29,4	
14	**Svelvik-Brekke		83,2			30,8			30,7	

** Repetisjoner av blanding 1

6 Reproduserbarhet

For å få et bilde av reproduserbarheten ble det gjennomført tre repetisjoner av blanding 1 (Svelvik-Brekke med Norcem Anlegg FA). Det ble ikke gjennomført repetisjoner for de øvrige blandingene.

I Tabell 11 vises oppnådde ferske egenskaper, i tillegg til densitet for herdet betong. Fersk densitet ble ikke målt. Målsetningen var å oppnå synkmål i intervallet 150-200 mm, og luftinnhold i intervallet 4-5 %. Vi ser at blanding 13 har et noe lavere luftinnhold enn de andre 3 blandingene. Dette gjenspeiles ikke i oppnådd densitet i herdet betong. Blanding nr. 13 hadde i utgangspunktet et for høyt luftinnhold, og 3,1 % luft er oppnådd resultat etter at det ble tilsatt luftdemper.

Tabell 11 Resultater fersk betong og densitet herdet betong for repeterte betonger. Standardavvik og variasjonskoeffisient beregnet basert på middelveidier for hver betongblanding.

Fersk betong				Densitet 28 døgn kg/m ³			Densitet 90 døgn kg/m ³		
Nr	Temp(°C)	Synk (mm)	Luft(%)	Resultater		Middel	Resultater		Middel
1	21,0	200	4,3	2390	2390	2390	2380	2390	2385
12	22,3	190	3,9	2390	2400	2395	2390	2400	2395
13	21,0	180	3,1	2380	2390	2385	2380	2380	2380
14	18,9	170	4,0	2390	2390	2390	2400	2390	2395
Gjennomsnitt:						2390			2389
Standardavvik						3,5			6,5
Variasjonskoeffisient, %						0,1			0,3

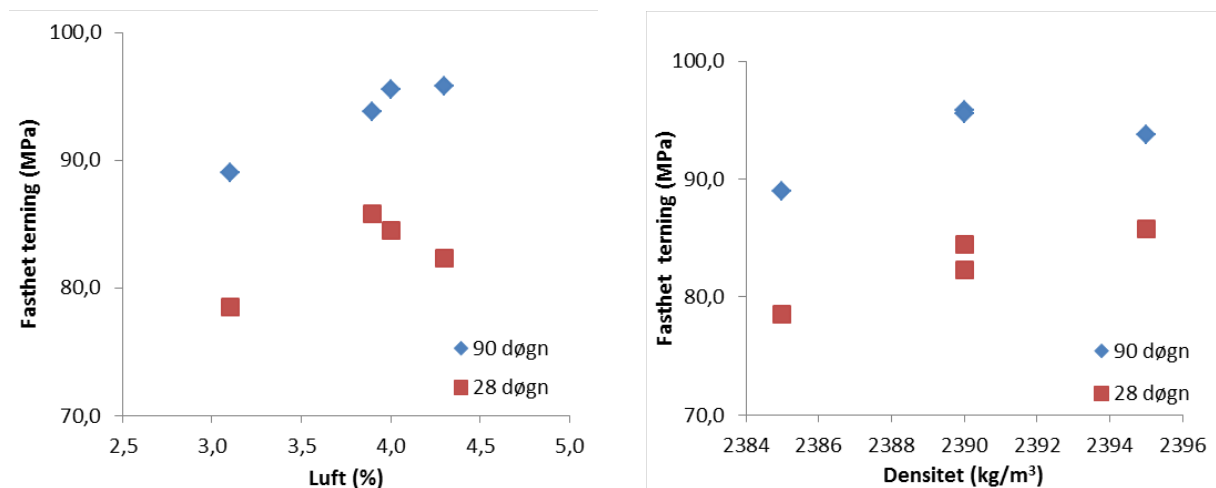
Trykkfasthet for terning og sylinder vises i Tabell 12. Resultatene viser at standardavviket for terningfasthet ligger i underkant av 3 MPa, dette er omtrent det man kan forvente ved denne type prøving. Merk at standardavvik og variasjonskoeffisient er beregnet ut fra middelveidier for hver prøve a 2 terninger. Beregninger basert på enkeltresultater vil gi høyere standardavvik og variasjonskoeffisient. Forskjell mellom laveste og høyeste resultat (for middelveidier) er på ca 7 MPa både for 28 og 90 døgn terningfasthet.

Tabell 12 Oppnådd trykkfasthet for terning (28 og 90 døgn) og sylinder (90 døgn) for repeterte betonger. Alle verdier i MPa. Standardavvik og variasjonskoeffisient er beregnet basert på middelveidier for hver betongblanding.

Bl	Fasthet 28 døgn			Fasthet 90 døgn			Fasthet sylinder 90 døgn			Syl./tern.	
Nr	Resultater		Middel	Resultater		Middel	Resultater		Middel	%	
1	82,0	82,5	82,3	93,5	98,0	95,8	86,0	88,5	85,5	86,7	91
12	84,5	87,0	85,8	97,0	90,5	93,8	84,5	84,5		84,5	90
13	77,0	80,0	78,5	88,0	90,0	89,0	68,0	72,0	70,0	70,0	79
14	85,0	84,0	84,5	98,5	92,2	95,5	80,5	85,0	84,0	83,2	87
Gjennomsnitt			82,8			93,5			81,1		
Standardavvik			2,8			2,7			6,5		
Variasjonskoeffisient, %			3,3			2,9			8,1		

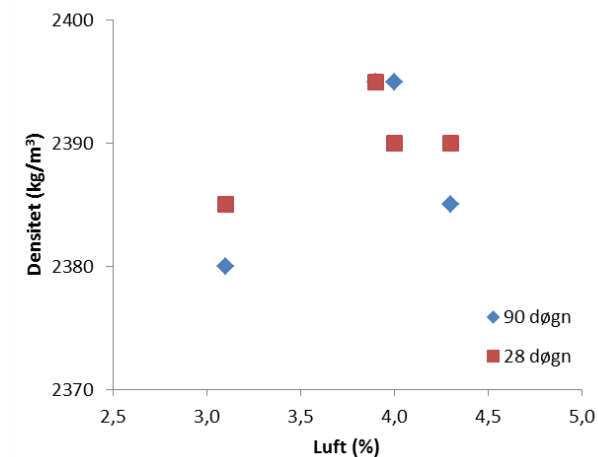
Trykkfasthet for sylinder viser at blanding 13 har vesentlig lavere fasthet enn de 3 øvrige blandingene. Fasthetresultatene for terning viser også noe lavere fasthet for blanding 13, men reduksjonen er ikke i samme størrelsesorden som for sylinderfasthet. Det er ikke klarlagt noen spesiell årsak til det lave resultatet for sylinderfasthet for blanding 13.

Luftinnholdet vil normalt ha relativt stor betydning for oppnådd fasthet, ved at økende luftinnhold gir redusert fasthet. Plottet vist i Figur 12 (venstre) viser snarere en økt fasthet ved økt luftinnhold, altså en motsatt effekt av det forventede. Det er en sammenheng mellom densitet (målt i herdet betong) og fasthet, ved at økende densitet gir økende fasthet, se Figur 12 (høyre). Dette er i tråd med det man forventer.



Figur 12 Sammenheng mellom luftinnhold i fersk betong og oppnådd fasthet (venstre) og sammenheng mellom densitet i herdet betong (målt ved 28 døgner) og oppnådd fasthet (høyre).

Resultatene illustrerer også at den forventede sammenhengen mellom luftinnhold og densitet ikke er til stede, se Figur 13. Teoretisk skal en økning i 1 % luft gi en redusert densitet på 24 kg/m^3 . En forutsetning for en slik sammenheng er at det er samsvar mellom luft i fersk betong og luft i herdet betong. Luftinnholdet kan imidlertid være noe lavere i herdet betong fordi komprimering av betongprøvene kan drive ut noe av den grove og mest ustabile luften.



Figur 13 Sammenheng mellom densitet i herdet betong og luftinnhold i fersk betong.

Oppnådd E-modul vises i Tabell 13, både E_0 (første pålastning) og E_C (siste avlastning). Standardavviket er 1,0 GPa for E_C . Avvik mellom minste og største verdi (middel) er 2,8 GPa.

Tabell 13 Oppnådd E-modul (90 døgn) for repeterte betonger (GPa). Standardavvik og variasjonskoeffisient beregnet basert på middelveidier for hver betongblanding.

Bl	E-modul 90 døgn							
	E ₀ 90 døgn resultater			Middel	E _C 90 døgn			Middel
1	32,0	32,7	31,8	32,2	31,7	32,7	32,1	32,2
12	31,0	31,1		31,1	31,0	31,1		31,1
13	30,1	28,7	30,6	30,2	29,0	28,7	30,6	29,4
14	31,0	31,1	30,4	30,8	30,9	30,8	30,5	30,7
Gjennomsnitt				31,1				30,9
Standardavvik				0,7				1,0
Variasjonskoeffisient, %				2,3				3,2

Resultatene fra repetert prøving viser tilfredsstillende resultater. Det er ikke påvist at de små variasjonene i luftinnhold har vesentlig betydning for oppnådd trykkfasthet og E-modul.

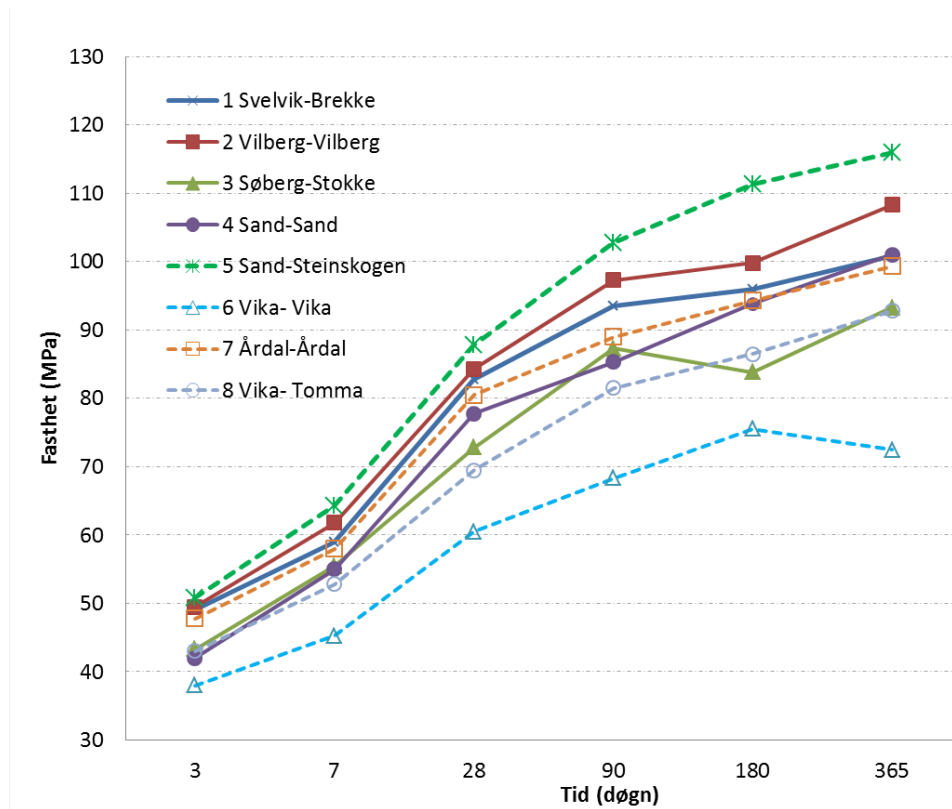
7 Diskusjon

7.1 Tilslagets effekt på trykkfasthet

7.1.1 Trykkfasthet for betonger med Norcem Anlegg FA

Fasthetsutvikling for alle tilslagskombinasjoner med Norcem Anlegg FA er vist i Figur 14. For detaljerte verdier vises det til Tabell 9. Vi ser at forskjellen mellom laveste (Vika-Vika) og høyeste (Sand-Steinskogen) er 27 MPa ved 28 døgn, 35 MPa etter 90 døgn, 36 MPa etter 180 døgn og 44 MPa etter 365 døgn. Spredningen mellom laveste og høyeste fasthet ved lik alder er betydelig større enn forventet. To av betongene (kombinasjon 3 og 6) viser reduksjon av fasthet ved økende alder. Dette antas å være et utslag av målingenes usikkerhet, da en virkelig reduksjon i fasthet ved økt modenhet ikke er sannsynlig.

I Tabell 9 er relativ fasthetstilvekst fra 28 til 90 døgn samt fra 28 til 365 døgn beregnet. Gjennomsnittlig fasthetstilvekst fra 28 til 365 døgn er 27 %, med en variasjon fra 20 til 34 %.



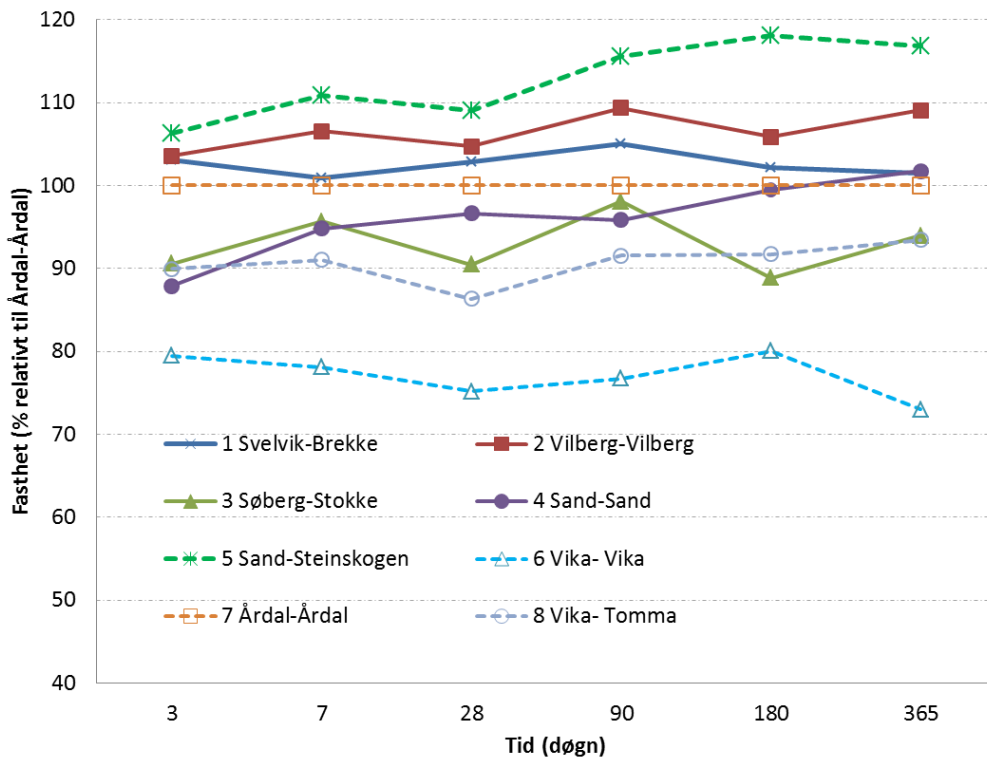
Figur 14 Trykkfasthet (terning) for alle tilslagskombinasjoner med Norcem Anlegg FA opp til 365 døgn.

I Tabell 14 og Figur 15 vises samme data som i Figur 14, men omregnet til relative verdier basert på Årdal-Årdal. Dvs. at figuren viser oppnådd fasthet i % av fasthet for Årdal-Årdal for hver enkelt alder. Figuren illustrerer at de relative forløpene er ganske like for de fleste variantene, med noen unntak. Spesielt fastheten for betongen med Sand-Steinskogen tilslag har en noe større økning enn de øvrige betongene.

Tabell 14 Trykkfasthetsverdier fra Tabell 6 omregnet til relative verdier, hvor Årdal-Ådal er referanse for alle aldre.

Blandingsdata		Trykkfasthet - Terving, relativt Årdal-Ådal, %					
Bl nr	Kombinasjon	3 Døgn	7 Døgn	28 Døgn	90 Døgn	180 Døgn	365 døgn
1	1 Svelvik-Brekke*	103	101	103	105	102	102
2	2 Vilberg-Vilberg	104	107	105	109	106	109
3	3 Søberg-Stokke	91	96	90	98	89	94
4	4 Sand-Sand	88	95	97	96	99	102
5	5 Sand-Steinskogen	106	111	109	116	118	117
6	6 Vika- Vika	79	78	75	77	80	73
7	7 Årdal-Årdal	100	100	100	100	100	100
11	8 Vika- Tomma	90	91	86	92	92	93

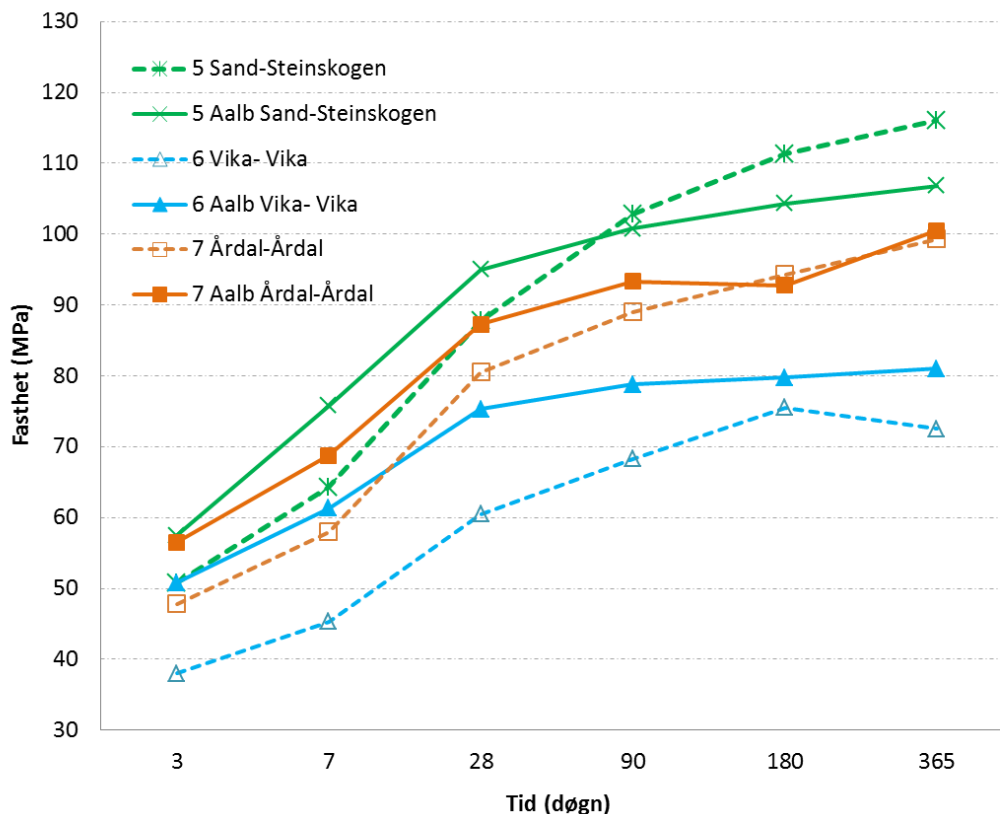
*Gjennomsnittsverdier for alle 4 forsøk ved 28 og 90 døgn.



Figur 15 Fasthet relativt fasthet for Årdal-Årdal opp til 365 døgn for alle tilslagskombinasjoner med Norcem Anlegg FA.

7.1.2 Samlet effekt av tilslagstype og sement

I Figur 16 er betonger med de 3 tilslagskombinasjonene hvor det er kjørt parallelle forsøk med Norcem Anlegg FA og Aalborg Rapid vist. Aalborg Rapid er en høystyrke-sement (52,5 MPa), mens Anlegg FA er en 42,5 MPa sement. Se for øvrig Tabell 1, som viser deklarererte fasthetsverdier for begge sementene. Som det fremgår av Tabell 1, og også av våre resultater vist i Figur 16, har Aalborg Rapid høyere fasthetspotensiale ved alle aldre opp til 28 døgn. Men, mens det er en tydelig tendens til at betongene med Aalborg Rapid flater ut etter 28 døgn, viser betongene med Anlegg FA et stort potensial for fasthetsøkning utover 28 døgn. Dette er en naturlig konsekvens av at flygeaskens kjemiske reaksjon starter sent og pågår over veldig lang tid.

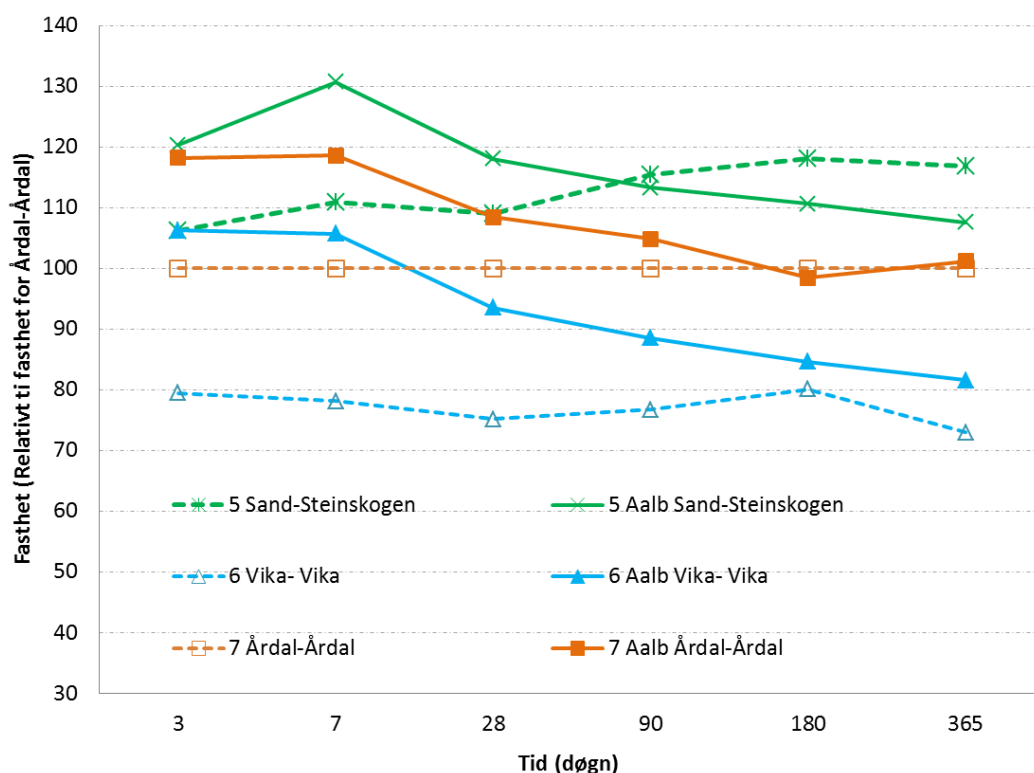


Figur 16 Effekt av type tilslag og type sement på fasthet opp til 365 døgn.

Data fra Figur 16 er vist i omregnet form i Tabell 15 og Figur 17, som viser fasthet relativt til kombinasjonen Årdal-Årdal med Anlegg FA sement.

Tabell 15 Fasthet relativt til fasthet for kombinasjonen Årdal-Årdal (med Anlegg FA) for kombinasjoner av sement og tilslag opp til 365 døgn.

Blandingsdata		Trykkfasthet terning, relativt Årdal-Årdal, %					
Bl nr	Kombinasjon	3 Døgn	7 Døgn	28 Døgn	90 Døgn	180 Døgn	365 døgn
5	5 Sand-Steinskogen	106	111	109	116	118	117
6	6 Vika- Vika	79	78	75	77	80	73
7	7 Årdal-Årdal	100	100	100	100	100	100
8	5 Aalb. Sand-Steinsk.	120	131	118	113	111	108
10	6 Aalb. Vika-Vika	106	106	94	89	85	82
9	7 Aalb. Årdal-Årdal	118	119	108	105	98	101



Figur 17 Fasthet relativt til fasthet for kombinasjonen Årdal-Årdal (med Anlegg FA) for kombinasjoner av sement og tilslag opp til 365 døgn.

Effekten av sementtype vises altså først og fremst ved at det relative forløpet er annerledes for Aalborg Rapid enn for Anlegg FA. Betongene med Aalborg Rapid har tatt ut det meste av fasthetspotensialet allerede etter 28 døgn uavhengig av type tilslag, mens fastheten for betongene med Anlegg FA i større grad øker fra 28 døgn og utover. De interne forskjellene innen hver sement-serie er imidlertid relativt konstante. Det er imidlertid også en tendens til at Aalborg Rapid reduserer noe av forskjellen mellom beste og dårligste tilslag, dvs at de relative forskjellene er mindre enn for Anlegg FA. Spesielt er det verdt å merke seg i hvor stor grad Aalborg Rapid bidrar til å heve trykkfastheten for Vika-Vika ved aldre opp til 90 døgn sammenlignet med bruk av dette tilslaget i kombinasjon med Anlegg FA.

7.1.3 Sammenheng mellom trykkfasthet og Los Angeles verdi

En arbeidshypotese har vært at mekaniske styrke uttrykt ved Los Angeles verdi har betydelig effekt på mekaniske egenskaper, dog i mindre grad på fasthet enn på E-modul. I det følgende blir sammenhengen mellom fasthet og Los Angeles verdi analysert og diskutert.

Effekt av fint kontra grov tilslag:

Når det gjelder mekaniske egenskaper i betong, antar vi i utgangspunktet at 8/16 mm fraksjonen har større effekt på fasthet og E-modul enn sandfraksjonen. Sandfraksjonen (0/8) vil imidlertid også ha en betydelig effekt. I det følgende vil vi derfor også forsøke å vurdere den relative innvirkningen av fint kontra grovt tilslag.

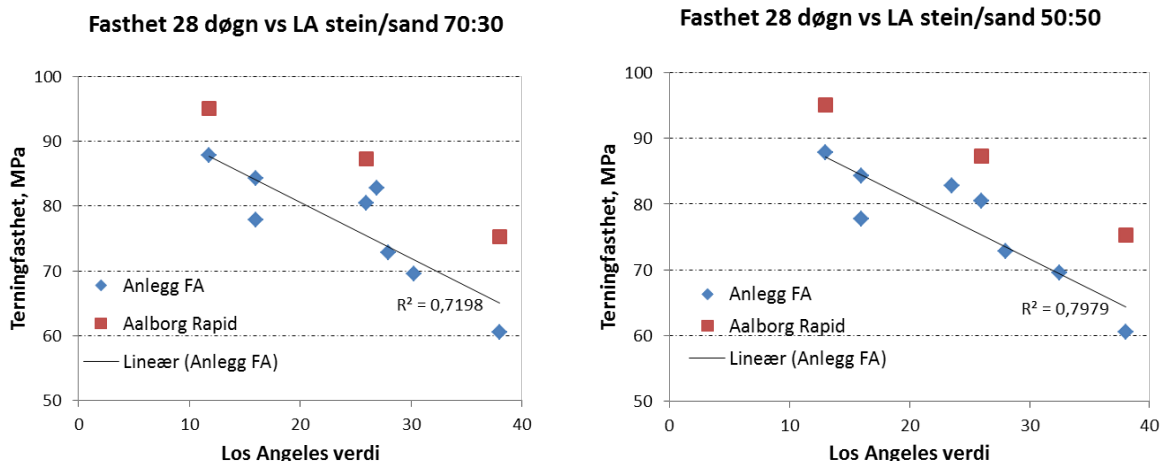
Merk at Los Angeles-metoden gjelder for grovt tilslag, dvs for kornstørrelser > 4 mm, og at standard testfraksjon for Los Angeles verdi er 10-14 mm. Vi har gjort en antagelse om at mekaniske styrke uttrykt ved Los Angeles verdi er omtrent den samme for finfraksjonen fra samme forekomst som fra grovfraksjonen. Denne antagelsen er neppe riktig på generelt grunnlag, men det er det beste utgangspunktet vi har. Vi har derfor brukt samme Los Angeles verdi for grov og fin fraksjon av tilslag fra samme forekomst i de videre beregninger.

I Figur 18 er fasthet ved 28 døgns alder plottet mot Los Angeles verdi. Det er laget plott for følgende 2 varianter:

- Fasthet i forhold til LA stein/sand 70:30 – vektet LA-verdi hvor stein/sand teller henholdsvis 70 og 30 %
- Fasthet i forhold til LA stein/sand 50:50 – vektet LA-verdi hvor stein/sand teller 50:50

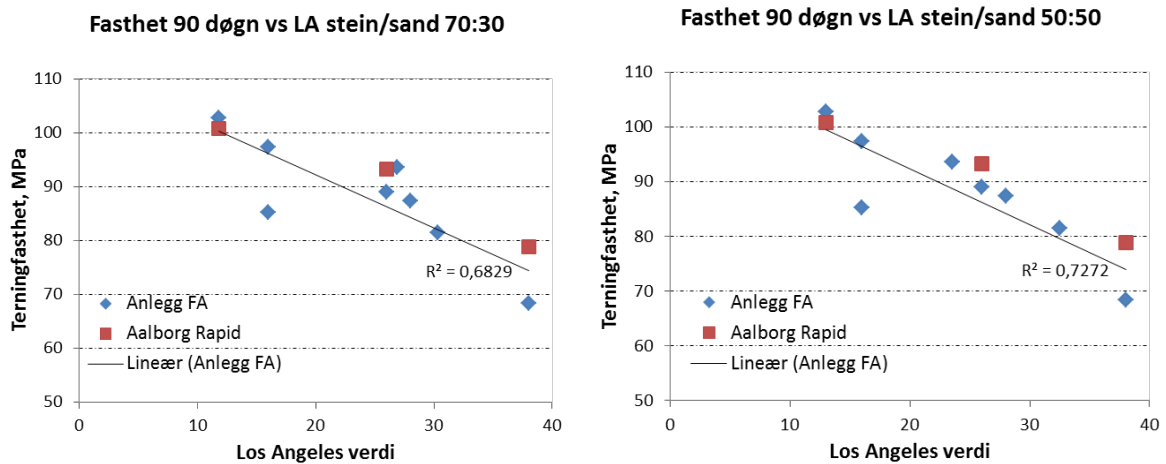
(Det bemerkes at sand/steinforholdet for alle betongene er 53:47 på volumbasis)

De inntegnede regresjonslinjene gjelder for serien med Anlegg FA. Vi ser at vi oppnår «beste korrelasjon» for 50:50 varianten, dvs når sand og stein er vektet likt i beregnet Los Angeles verdi.



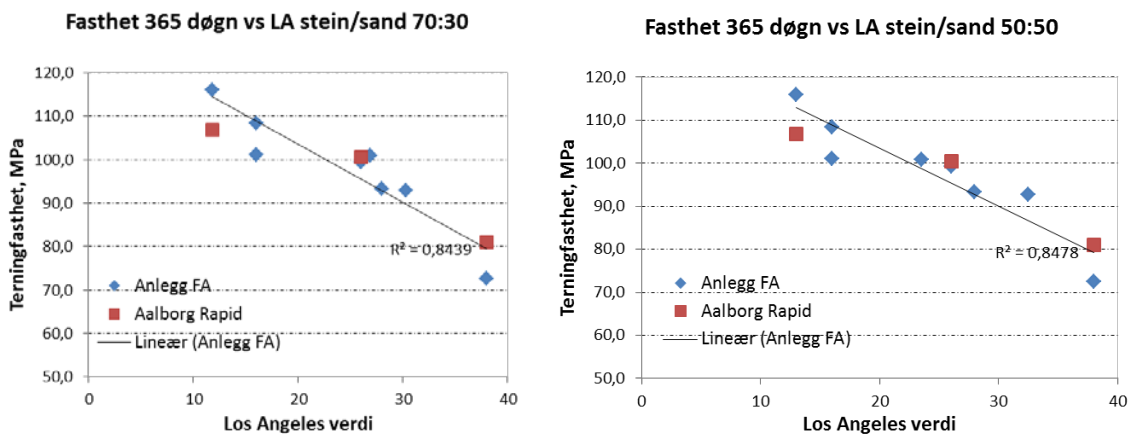
Figur 18 Sammenheng mellom terningfasthet ved 28 døgn og Los Angeles verdi. For variantene 70:30 og 50:50 er det beregnet vektet Los Angeles verdi for sand og stein. Inntegnede og beregnede lineære regresjonslinjer gjelder for serien med Anlegg FA (blå punkter).

Ved seinere aldere enn 28 døgn er det relativt liten forskjell på 50:50 og 70:30 variantene mht. oppnådd R^2 , som vist i Figur 19 for 90 døgn. Vi ser ellers at beregnet korrelasjon er noe lavere ved 90 døgn sammenlignet ved 28 døgn.



Figur 19 Sammenheng mellom fasthet ved 90 døgn og Los Angeles verdi. Inntegnede og beregnede lineære regresjonslinjer gjelder kun for serien med Anlegg FA (blå punkter).

Tilsvarende sammenhenger for 365 døgn er vist i Figur 20. Vi ser at beregnet korrelasjon er høyere enn ved 28 og 90 døgn. Vi ser ellers at det er marginale forskjeller mellom 70:30 og 50:50 variantene. Hvis vi beregner korrelasjonskoeffisient for sammenhengen mellom trykkfasthet og Los Angeles verdi kun for stein får vi 0,75. På tilsvarende vis er korrelasjonskoeffisient for trykkfasthet etter 365 døgn og LA-verdi kun for sand beregnet til 0,66. Det er ikke vist plott for disse variantene.



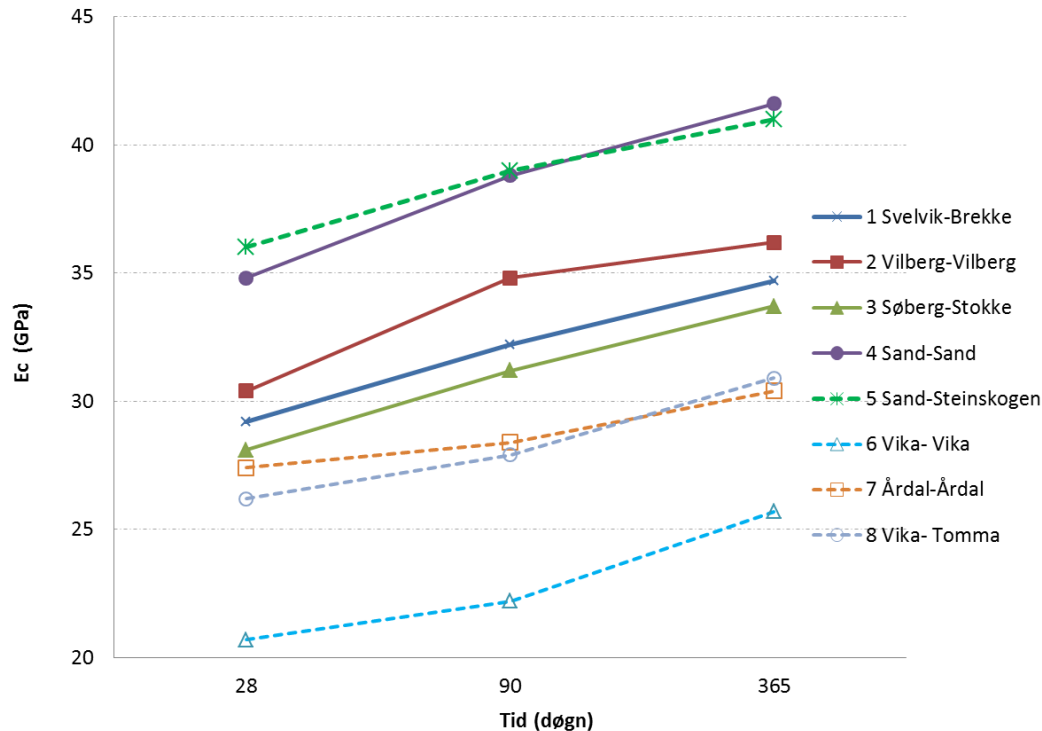
Figur 20 Sammenheng mellom trykkfasthet ved 180 døgn og Los Angeles verdi. Inntegnede og beregnede regresjonslinjer gjelder kun for serien med Anlegg FA (blå punkter).

Ved økende alder er det en tendens til at fastheten i økende grad er korrelert mot tilslaget Los Angeles verdi, uavhengig av type sement. Dette er en naturlig konsekvens av at sementenes bidrag til fasthet er relativt like ved høyere aldre, noe som vises tydelig i Figur 16 og 17. Ved 365 døgn er forskjellene mellom de to seriene med ulike sementer «visket ut», noe som vises i Figur 20. Beregnet R^2 ved 365 døgn fasthet og LA 70:30 er 0,85 hvis vi regner Anlegg FA og Aalborg Rapid som en serie.

7.2 Tilslagets effekt på E-modul

7.2.1 E-modul for betonger med Anlegg FA

E-modul for alle tilslagskombinasjoner med Anlegg FA er vist i Figur 21. For detaljerte verdier vises det til Tabell 10.



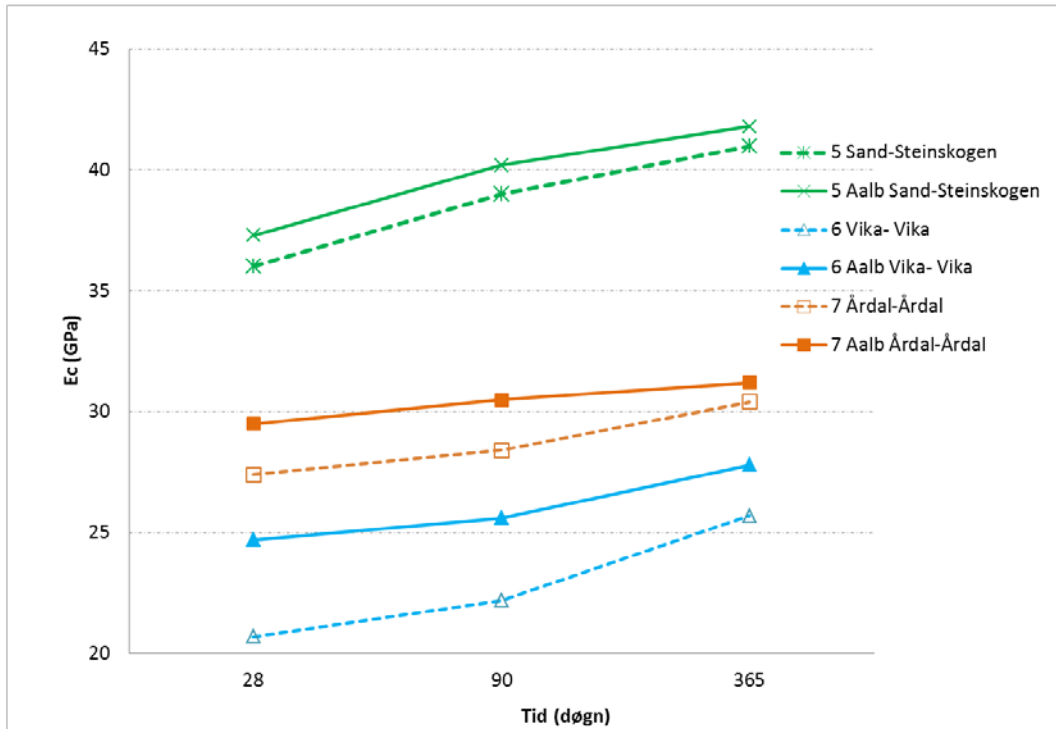
Figur 21 Tilslagets effekt på E_c ved 28, 90 og 365 døgn.

Laveste E-modul ble oppnådd med Vika-Vika på 20,7 GPa og 25,5 GPa etter henholdsvis 28 og 365 døgn. Sand-Sand og Sand-Steinskogen har omtrent likeverdige E-moduler ved alle aldre, henholdsvis 34,8 og 36,0 GPa etter 28 døgn, og 41,6 og 41,0 GPa etter 365 døgn.

7.2.2 Effekt av tilslagstype og sement på E-modul

I Figur 22 er E_c for de 3 tilslagskombinasjonene som er brukt både med Anlegg FA og Aalborg Rapid vist. Vi ser at Aalborg Rapid gjennomgående gir noe høyere E-modul enn tilsvarende betong med Anlegg FA. Effekten av høystyrke-sementen Aalborg Rapid er størst for det svakeste tilslaget Vika-Vika.

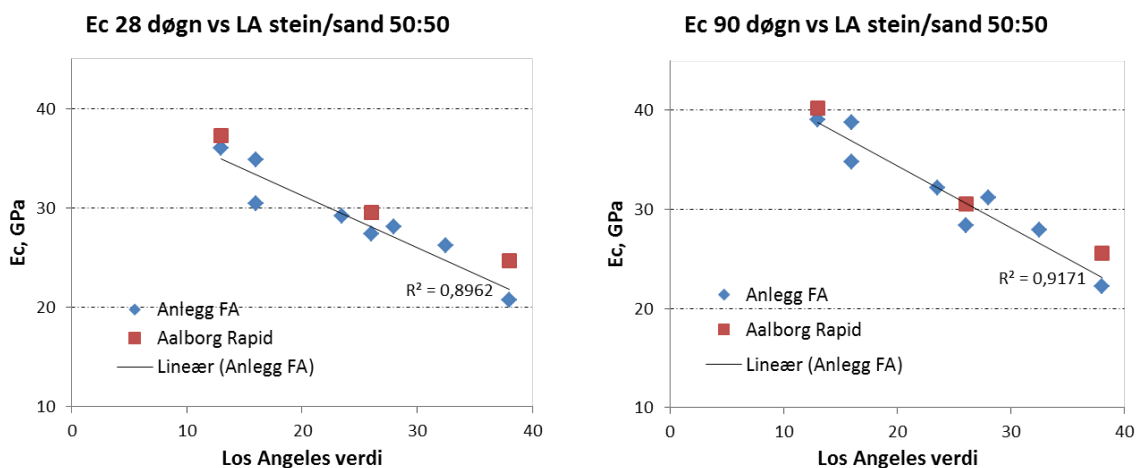
E-modul er som forventet dominert av tilslagstypen, men vi ser også at sementpastaens stivhet har en signifikant effekt ved at E-modul gjennomgående øker ved økende alder, selv om den relative økningen er liten sammenlignet med økning i trykfasthet. Vi ser videre at også type sement ser ut til å ha en viss betydning, hvor høystyrke-sementen gir noe høyere E-modul. Effekten er tydeligst ved 28 døgn, hvor det er større forskjell i sementenes fasthets enn ved seinere aldre.



Figur 22 Effekt av tilslag og type sement på E_c for 28, 90 og 365 døgn.

7.2.3 Sammenheng mellom E-modul og Los Angeles verdi

I Figur 23 er sammenhengene mellom E_c og Los Angeles-verdi plottet for Los Angeles-verdier beregnet for vektet 50:50 stein vist for henholdsvis 28 døgn (venstre) og 90 døgn (høyre). Korrelasjonen er omtrent likeverdig for variantene vektet 70:30 (det er ikke vist plott av disse variantene). Tilsvarende beregninger ved bruk av Los Angeles-verdier kun for stein gir en betydelig dårligere korrelasjon med beregnet R^2 på 0,81 etter 28 døgn og 0,79 etter 90 døgn.



Figur 23 Sammenheng mellom E_c etter 28 og 90 døgn og Los Angeles verdi. Inntegnede og beregnede lineære regresjonslinjer gjelder kun for serien med Anlegg FA (blå punkter).

Ved 365 døgns alder går korrelasjonen mellom E-modul og Los Angeles verdien ned til 0,86 for 50:50 varianten.

Beregningene har vist at oppnådd E-modul i betong i relativt stor grad er korrelert mot tilslaget Los Angeles verdi. Betongens E-modul er i betydelig mindre grad enn trykkfasthet relatert til sementpastaens egenskaper, og er i relativt stor grad uavhengig av både betongens modenhet og type sement. Dette er i tråd med forventningene.

7.3 E-modul i henhold til beregningsstandard

NS-EN 1992-1-1 «Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner – Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger» viser en tabell for E_c for ulike fasthetsklasser, og angir et beregnet forhold mellom fasthet og E-modul etter formelen:

$$E_{cm} = 22 (f_{cm}/10)^{0,3}$$

Hvor f_{cm} er f_{ck} (sylinder) + 8 MPa

E_{cm} er betongens elastisitetsmodul (sekantmodul)

f_{cm} = betongens middelfasthet (av sylinder)

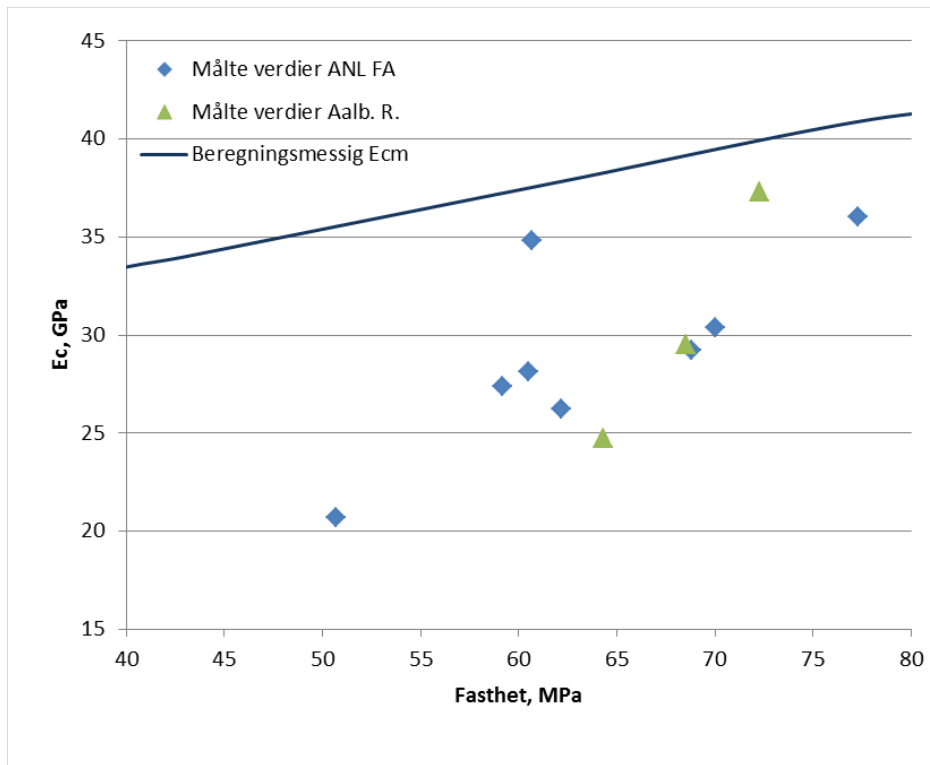
f_{ck} = betongens karakteristiske fasthet (sylinder)

Verdiene gjelder ved bruk av tilslag med kvartsitt. For tilslag av kalkstein og sandstein angir standarden at verdien bør reduseres med henholdsvis 10 og 20 %, og at for basalt bør den økes med 20 %. Det er ikke gjort noen slike korrigeringer i beregningene som blir presentert i det etterfølgende.

I Tabell 16 er beregnede verdier vist sammen med målte verdier. En grafisk fremstilling av dataene er vist i Figur 24. Vi ser at de beregnede verdiene ligger gjennomgående og til dels betydelig høyere enn de målte verdiene. Standarden overestimerer altså gjennomgående E-modul basert på betongens fasthet.

Tabell 16 Målt E_c og beregnet E_{cm} iht NS-EN 1992-1-1 for 28 døgn. (Fasthetsdata for sylinder)

Blanding	Kombinasjon	Målt fasthet 28 Døgn	Målt E_c 28 døgn	Beregnet E_{cm} 28 døgn	Målt E_c - beregnet E_{cm}	Målt E_c i % av beregnet
1	1 Svelvik-Brekke	68,8	29,2	39,2	-10,0	74
2	2 Vilberg-Vilberg	70,0	30,4	39,4	-9,0	77
3	3 Sjøberg-Stokke	60,5	28,1	37,8	-9,7	74
4	4 Sand-Sand	60,7	34,8	37,8	-3,0	92
5	5 Sand-Steinskogen	77,3	36,0	40,6	-4,6	89
6	6 Vika- Vika	50,7	20,7	35,8	-15,1	58
7	7 Årdal-Årdal	59,2	27,4	37,5	-10,1	73
8	8 Vika Tomma	62,2	26,2	38,1	-11,9	69
9	5 Aalb. Sand-Steinskogen	72,3	37,3	39,8	-2,5	94
10	7 Aalb. Årdal-Årdal	68,5	29,5	39,2	-9,7	75
11	6 Aalb. Vika- Vika	64,3	24,7	38,4	-13,7	64
Gjennomsnitt		65,0	29,5	38,5	-9,0	76,3



Figur 24 Målte verdier for E-modul samt beregnede verdier basert på oppnådd trykkfasthet.

For å beregne E_{cm} ved andre prøvingsaldere enn 28 døgn angir standarden følgende formel:

$$E_{cm}(t) = (f_{cm}(t)/f_{cm})^{0.3} E_{cm}$$

Hvor E_{cm} og f_{cm} er verdier ved 28 døgn, og $E_{cm}(t)$ og $f_{cm}(t)$ er verdier ved aktuell alder.

Verdier for 90 døgn er vist i Tabell 17, både målte verdier og beregnede verdier iht. standarden. Standarden gir en beregnet tilvekst i E-modul fra 28 til 90 døgn som omtrent tilsvarer den målte tilveksten. Dvs at avviket mellom beregnet og målt E-modul er omtrent likt for 28 og 90 døgn alder.

Standardens overestimering av E-modul i forhold til virkelig oppnådd E-modul kan ha noen viktige beregningsmessige konsekvenser. Spesielt må her nevnes nedbøynings- og deformasjonsberegninger samt rissvidde-beregninger.

Tabell 17 Målt Ec og beregnet Ecm iht retningslinjer i NS-EN 1992-1-1 for 90 døgn. (Fasthetsdata for sylinder)

Blanding	Kombinasjon	Fasthet 90 Døgn	Målt Ec 90 døgn	Beregnet Ecm 90 døgn	Målt Ec - beregnet Ecm,	Målt Ec i % av beregnet
1	1 Svelvik-Brekke	84,8	31,1	41,8	-10,7	74
2	2 Vilberg-Vilberg	81,7	34,0	41,3	-7,3	82
3	3 Sjøberg-Stokke	68,2	30,4	39,1	-8,7	78
4	4 Sand-Sand	72,2	38,1	39,8	-1,7	96
5	5 Sand-Steinskogen	90,0	38,0	42,5	-4,5	89
6	6 Vika- Vika	59,0	21,8	37,5	-15,7	58
7	7 Årdal-Årdal	68,3	29,4	39,2	-9,8	75
8	8 Vika- Tomma	71,5	27,4	39,7	-12,3	69
9	5 Aalb. Sand-Steinskogen	80,3	39,5	41,1	-1,6	96
10	7 Aalb. Årdal-Årdal	73,2	30,9	40,0	-9,1	77
11	6 Aalb. Vika-Vika	63,0	25,5	38,2	-12,7	67
Gjennomsnitt		73,8	31,5	40,0	-8,6	78,4

7.4 Forholdet mellom trykkfasthet for sylinder og terning

Beregnet forhold mellom sylindrefasthet og terningfasthet er vist i Tabell 18. Vi ser at det er en spredning i resultatene fra 72 til 93 %, noe som indikerer at tilslagstype kan ha en viss effekt på forholdet. Vi ser videre at gjennomsnittsverdiene ligger i overkant av 80 %. Forskjellene i trykkfasthet mellom terning og sylinder skyldes friksjons/fastholdningseffekten og de ulike spenningstilstandene som opptrer i terning og sylinder på grunn av ulike geometri. Sylindrefasthet representerer i langt større grad en «sann» trykkfasthet, fordi høyde/diameter-forholdet på 2 fører til at midtpartiet av sylindrene får en enaksial spenningstilstand. For terninger, med det lavere høyde/bredde-forholdet, vil fastholdningseffekten fra kontaktflatene påvirke hele prøvestykket, som dermed vil få en triaksial spenningstilstand og dermed en «tilsynelatende» høyere trykkfasthet enn sylindere.

Tabell 18 Oppnådde forhold mellom sylindrefasthet og terningfasthet.

Blandingsdata		Forhold sylinder/terning		
Bl nr	Kombinasjon	28 døg, %	90 døg, %	365 døg, %
1	1 Svelvik-Brekke	84	91	92
2	2 Vilberg-Vilberg	83	84	84
3	3 Sjøberg-Stokke	83	78	85
4	4 Sand-Sand	78	85	88
5	5 Sand-Steinskogen	88	88	85
6	6 Vika- Vika	84	86	92
7	7 Årdal-Årdal	74	77	73
11	8 Vika- Tomma	89	88	89
8	5 Aalb. Sand-Steinskogen	76	80	76
9	7 Aalb. Årdal-Årdal	78	78	78
10	6 Aalb. Vika-Vika	85	80	90
12	**Svelvik-Brekke	-	90	-
13	**Svelvik-Brekke	-	79	-
14	**Svelvik-Brekke	-	87	-
Gjennomsnitt		82	83	85

** Repetisjoner av blanding 1

I Tabell 19 er forholdet mellom sylindrefasthet og terningfasthet beregnet for et utvalg av fasthetsklasser. Vi ser at gjennomsnittlig oppnådd middelvei (se Tabell 18) samsvarer bra med verdien betongstandarden opererer med.

Tabell 19 Krav til sylindrefasthet og terningfasthet samt beregnet sylindrefasthet/terningforhold for utvalgte fasthetsklasser, etter NS-EN 206.

Fasthetsklasse CEN- betegnelse	Norsk betegnelse	Minste karakteristiske sylindrefasthet, MPa	Minste karakteristiske terningfasthet, MPa	Trykkfasthet Sylinder/terning, %
C30/37	B30	30	37	81
C35/45	B35	35	45	78
C45/55	B45	45	55	82
C55/67	B55	55	67	82
C65/80	B65	65	80	81
C75/90	B75	75	90	83

8 Tilleggsundersøkelser

8.1 Innledning

Undersøkelsen har vist at valg av tilslag har stor effekt både på trykkfasthet og E-modul. Et spørsmål man da kan stille seg er hvorvidt valg av tilslag også har effekt på bestandighetsmessige egenskaper, og i så fall hvor stor effekten er. Selv om tilslaget volummessig utgjør 2/3 for de testede betongene, er det den betydelig mer porøse sementpastaen som forventes å være styrende for bestandighetsmessige forhold. Det kan imidlertid tenkes at det er forskjeller i oppnådd tetthet i overgangssoner mellom tilslag og sementpasta som vil kunne ha bestandighetsmessig effekt. Det skal også påpekes at det er ikke ubetydelige forskjeller i tilslagenes porøsitet, se vannabsorpsjon i Tabell 7.

8.2 Gjennomførte undersøkelser

For å undersøke hvorvidt det er forskjeller av betydning mellom betonger støpt med ulike tilslag, ble det gjennomført en begrenset undersøkelse av bestandighetsmessige egenskaper for 3 av betongene. Betongene med henholdsvis høyest og lavest fasthet ble valgt, dvs betongene med Sand-Steinskogen samt Vika-Vika tilslag. I tillegg ble Årdal-Årdal valgt som referanse.

Følgende tilleggsundersøkelser ble gjennomført:

- Bestemmelse av kloriddiffusivitet $D_{(RCM)}$ iht NT BUILD 492.
- Bestemmelse av porøsitet ved begrenset PF-metode iht Statens vegvesen håndbok 014.
- Spesifikk elektrisk motstand (resistivitet) ved prosedyre iht Statens vegvesen håndbok 014.

Alder på betongene ved prøvingstidspunkt var ca 200 døgn (etter standard herding i vannbad). Målte verdier vises i Tabell 19. Det er en viss spredning i resultatene, men resultatene gir ikke grunnlag for å si at det er signifikante forskjeller i de målte bestandighetsegenskaper.

Tabell 20 Resultater for tilleggsundersøkelser for blanding 5, 6 og 7, alle med Norcem Anlegg FA.

Betong	$D_{(RCM)},$ $\times 10^{-12}$	Resistivitet, Ohm m	Sugporøs. %	Makropor. %	Total porøs. %	Fersk luft %
5 Sand-Steinskogen	2,0	365	13,7	2,7	16,4	4,0
6 Vika-Vika	1,8	351	14,9	3,0	17,8	4,0
7 Årdal Årdal	1,3	417	14,0	2,7	16,7	4,7

8.3 Igangsatte undersøkelser

I tillegg til gjennomførte undersøkelser beskrevet i Kapittel 8.2 er det for betongene med Norcem Standard FA med alle 8 tilslagskombinasjonene satt i gang følgende undersøkelser:

- Bestemmelse av porøsitet ved begrenset PF-metode iht Statens vegvesen håndbok 014.
- Fryse/tine forsøk med 3,0 % NaCl løsning som frysemedium, iht SS 13 72 44.

Disse undersøkelsene vil gjennomføres som et eksternt oppdrag, og resultatene vil rapporteres separat.

9 Bilder

Det ble tatt bilder etter trykkprøving av terninger og sylindere etter 90 døgn. Et utvalg av bildene er vist i Figur 25.

Bildene viser en normal fordeling mellom brudd i kontaktflater til grovt tilslag, brudd i mørtel og brudd gjennom tilslagskorn. Fordeling av bruddflater og bruddformer er i tråd med det man kan forvente.



Figur 25 Bilder etter trykkprøving 90 døgn for betonger med Norcem Anleggsement FA. Øverst til venstre: Resept 1, Svelvik-Brekke. Øverst til høyre: Resept 2, Vilberg-Vilberg. Nederst til venstre: Resept 5, Sand-Steinskogen. Nederst til høyre: Resept 6 Vika-Vika.

10 Konklusjoner og videre arbeid

10.1 Konklusjoner

- Studien har vist at valg av tilslag har stor effekt på betongens trykkfasthet. I SV-40 betong var differansen i trykkfasthet mellom det sterkeste og det svakeste tilslaget på 27 MPa etter 28 døgn, 35 MPa etter 90 døgn, 36 MPa etter 180 døgn og 44 MPa etter 365 døgn for betonger med Anlegg FA sement.
- Som forventet har tilslaget svært stor effekt på betongens E-modul. Differansen i oppnådd E-modul (E_C) etter 90 døgn var 17 GPa og etter 365 døgn 16 GPa for betonger med Anlegg FA sement.
- Det er funnet en høy grad av korrelasjon mellom tilslagets samlede Los Angeles verdi og oppnådd E-modul i betong, ved at økende Los Angeles- verdi gir synkende E-modul.
- Det er funnet en relativt god korrelasjon mellom tilslagets samlede Los Angeles verdi og oppnådd trykkfasthet, ved at økende Los Angeles- verdi gir synkende fasthet.
- Tilslagets betydning avhenger av type sement. Forskjellene i trykkfasthet og E-modul er noe mindre ved bruk av høystyrkesementen Aalborg Rapid enn ved bruk av Norcem Anlegg FA.
- Det er gjennomført en begrenset studie av bestandighetsmessige parametere (resistivitet, kloriddiffusivitet og porøsitet). Resultatene gir ikke grunnlag for å konkludere med at det er signifikante forskjeller i bestandighetsegenskaper.
- 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.

10.2 Videre arbeid

Det igangsatte arbeidet beskrevet i Kapittel 8.3 vi gi noen avklaringer i forhold til fryse/tine motstand. Andre forhold det kan være aktuelt å gå videre med er:

- Tilslag har ulike vannbehov, og vil derfor normalt sett proporsjoneres med ulike pastamengder. Effekten av varierende pastamengde på fasthet og bestandighet bør avklares nærmere
- Effekten av spesielt svake og/eller porøse tilslag bør undersøkes nærmere i forhold til bestandighetsmessige egenskaper
- Mer detaljerte undersøkelser av restmaterialer fra prøvingen som er beskrevet i denne rapporten, eksempelvis ved tynnslip og petrografiske undersøkelser.
- Analyse av betydning av overgangssonen mellom tilslag og sementpasta.

11 Referanser

- Bjøntegaard Ø. og Rodum E. (2013): «Effekt av flygeaskeinnhold på betongegenskaper i tidlig og moden alder: Laboratorieforsøk». Statens vegvesens rapport nr. 257.
- Brattli, B.: (1990): «Geologiske parametres betydning for steinmaterialers styrkeegenskaper», Dr.ing avhandling ved Norges Tekniske Høgskole.
- 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.
- Erichsen, E.: (2001): «Revisjon av Statens vegvesens håndbok 018 – Vegbygging. Bidrag fra NGUs Pukkdatabase med statistikk over bergarters mekaniske og fysiske egenskaper». NGU rapport nr 2001.072.
- Erichsen, E.: (2013): «Vurdering av testmetoder for tilslagsmaterialer», Statens vegvesens rapporter nr 121.
- Jacobsen, S. (1991): «Tilslagskvalitet og betongrør», Norsk betongdag 1991.
- Jacobsen, S. (1997): «Byggdetaljblad 520.024, Tilslagets innvirkning på betongens egenskaper», Byggforskserien.
- Norsk betongforenings Publikasjon nr. 18 (1988): «Tilslagsmaterialer for betongformål».
- Norwegian Group for Rock Mechanics (NBG) (2000): “.Handbook No 2. Engineering geology and rock engineering”.
- NS-EN 12620 (2013): Tilslag for betong. Standard Norge.
- Rønning, T. (2011): «Økt fasthet med sement tilsatt flygeaske», Artikkel fra Cement Nå! Norcem AS, www.norcem.no
- Smeplass, S. (1992): «Effekt av tilslagstypen på betongens trykkfasthet og E-modul», Materialutvikling Høyfast betong rapport nr. 5,6. SINTEF-rapport STF70 A92051.
- Statens vegvesens Håndbok 014 (2005): «Laboratorieundersøkelser».
- Statens vegvesens Håndbok 018 (2011): «Vegbygging».
- Statens vegvesens Håndbok 026 (2012): «Prosesskode 2. Standard beskrivelsestekster for bruer og kaier. Hovedprosess 8».
- Statens vegvesens Håndbok 223 (2000): «Steinmaterialer til veier, flyplasser og jernbaner. Veiledning».

Vedlegg



1111

Svelviksand AS Avdeling Verket

Fjordveien 21b,3490 Klokkarstua

12

1111-CPD-0028

Tilslag for betong iht. NS-EN 12620

Generellt

Sand fra løsmasseforekomst. Inneholder granitt-, gneis-, silt-, sand- og leirstein samt mørke bergarter og frikorn av kvarts og feltspat. Kornformen er hovedsak kubisk med rundet og kantrundet kornform. Kornene hadde et tynt støvbelegg som lar seg lett vaske av med vann. Kornoverflatene er friske og uforvittret, og det er ikke påvist svake korn

Tilslagsstørrelse	0/8
Gradering	GNG90
Deklarerte typisk gradering (sikterest)	0,063 mm: 97-100% 0,125 mm: 94-98% 0,250 mm: 85-95% 1 mm: 45-57% 2 mm: 24-36% 8 mm: 0-6%

Flisighet

Korndensitet 2690 kg/dm³

Vannabsorpsjon 0,48 %

Renhet

Finstoffinnhold f10 (normalverdi: 4,5%)

Finstoffkvalitet

Skjellinnhold

Motstand mot frysing / tining

Bestendig pga. 0,48% vannabsorpsjon

Kjemisk sammensetning

Klorider 0,0001%

Syreløslig sulfater AS0,2

Totalt innhold av svovel 0,064%

Bestanddel som endrer størkning- og herdingstid for betong Lysere enn standardfarge

Alkalireaktivitet SV=28,3%

Farlige stoffer ingen kjente

Vi erklærer med dette at varen samsvarer med NS-EN 12620 tillegg ZA

Cecilie Hagby
Daglig leder
Drammen, 07.02.2013

6120011-1, -2, -3, Resept 1

Sveviksand



Fjordveien 21b
3490 Klokkearstua

Verket

1111-CPD-0028

32792300
hurum@svelviksand.no

Sikteanalyse: 1868 Dato: 19.06.2012 08:43

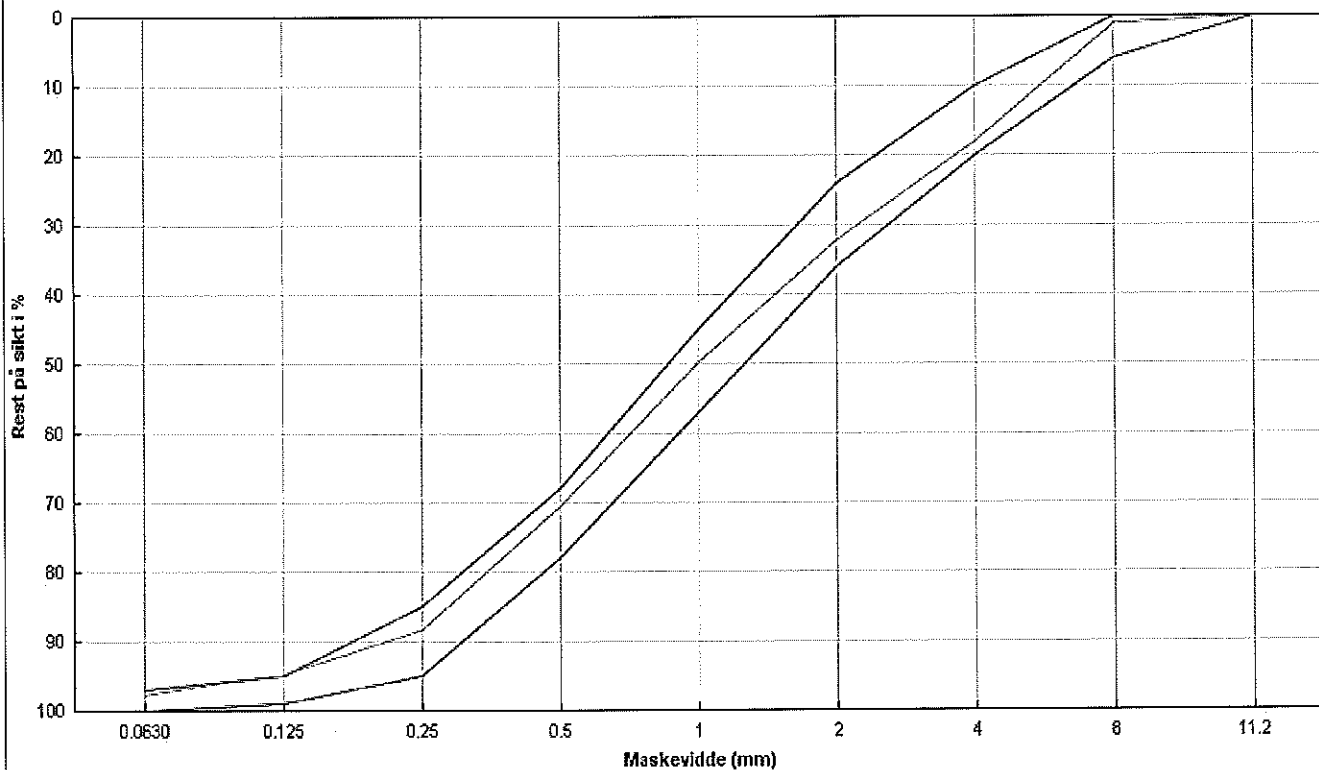
Laborant: Morten Lersbryggen

Produkt: Støpesand 0/8 mm
Uttakssted: Produksjon
Kontakt: Unicon Oslo

Notat:

Vekt, fuktig: 1059 gr. FM: 3.07
Vekt, tørr: 1039 gr.
Fuktighet: 1.92 %

Maskevidde (mm)	0.0630	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	11.2
Rest på sikt (gr.)	1015	985	918	734	517	335	187	11	0
Rest på sikt (%)	97.69	94.8	88.35	70.64	49.76	32.24	18	1.06	0





Deklaration iht. DS/EN 12620*



Fabrikvej 12
DK-8800 Viborg
CVR-nr. 29010331
www.bgstone.dk

Produktionssted: **Brekke Stenbrudd, 1745 Halden, Norge**

Gyldig fra: **27. november 2012**

Producent: **BG Stone A/S, Fabrikvej 12, 8800 Viborg**

Erstatter: **21. april 2011**

Produktbetegnelse: **8/16 mm granitskærver kl. E**

Vare/deklarationsnr.: **10162**

Beskrivelse: **Knust og tørsorteret Iddefjord-granit**

Certifikatnr.: **1073-CPD-G061**

Egenskaber iht. EN 12620

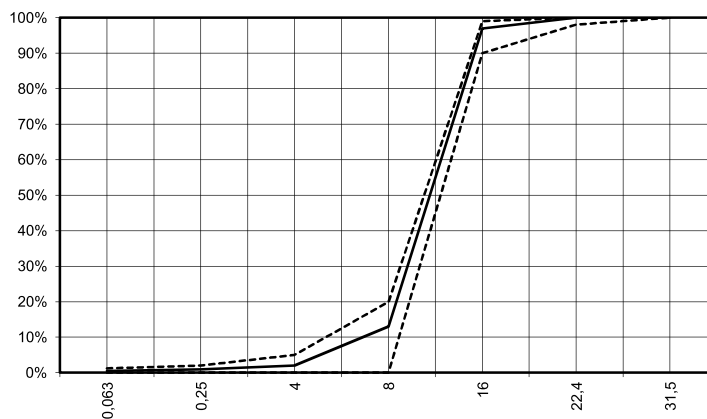
Prøvningsmetode	Min.	Max.	Middel	Kornstørrelse	8/16
EN 1744-1 Syreopløselig sulfat		0,20%	0,01%	Sortering	G c85/20
EN 1744-1 Total svovl		1,00%	<0,05%	Indhold af finstof	f 1,5
EN 1367-4 Udtørringssvind		0,075%	0,044%	Korndensitet	2,64
EN 1097-6 Korndensitet VOT, Mg/m ³	2,62	2,66	2,64	Modstandsdygtighed over for knusning	LA 35
EN 1097-6 Vandabsorption	0,1%	0,4%	0,2%	Sammensætning / indhold	
EN 1097-2 Los Angeles-koefficient		35	32	Chlorider	0,001% Cl
EN 1367-1 Frost/Tø		1	0,5	Syreopløselige sulfater	AS 0,2
EN 1367-2 Magnesiumsulfat		18	5,9	Total svovl	<0,05%
Quantab Cloridindhold		0,001%	0,000%	Volumenstabilitet	
				Udtørringssvind	0,044% WS
				Modstandsdygtighed over for frost/tø	F 1
				Magnesiumsulfatindex	MS 18
				Modstandsdygtighed over for alkalisel-reaktivitet	0,02%
				Vandabsorption	WA ₂₄ 0,2

Egenskaber iht. DS/EN 12620 annek NB og DS 2426

Prøvningsmetode	Min.	Max.	Middel		
DS 405.4 Indhold af lette korn <2500kg/m ³		1,0%	0,0%		
ASTM C1260 Acc. Mørtelprismeeks.		0,10%	0,05%		
Beregning Ækv. alkaliindhold		0,001%	0,000%		

EN 933-1 Kornstørrelsesfordeling

Sigte	Min.	Middel	Max.
31,5	100%	100%	100%
22,4	98%	100%	100%
16	90%	97%	99%
8	0%	13%	20%
4	0%	2%	5%
0,25	0,0%	0,9%	2,0%
0,063	0,0%	0,5%	1,2%



* Overensstemmelseserklæring:

Betontilslag produceres iht. FPC-håndbog iht. EN 12620 annek ZA, der certificeres og overvåges af Dancert reg.nr 1073, under atterteringsystem 2+. Betontilslag overholder endvidere supplerende krav i DS 2426 og DS/EN 12620 annek NB, hvilket ligeledes overvåges af Dancert



Frank B. Poulsen, kvalitetschef
Tlf.: 4015 0280
Email: frank.poulsen@bgstone.dk

612 0012 - 1,2,3

Resept 2

CE - SAMSVARSERKLÆRING

CE

1111

**GREFSRUD A-S**

Avd. Vilberg

Pb 394, 1471 Lørenskog

12

1111-CPD-0073

NS-EN 12620

Tilslag for betong

Vasket støpesand 0/8

Naturlig tilslag med dominans av gneis/granitt og sandstein. Kubiske korn er i flertall, og kornformen er kubiskrundet/kanrundet. Ikke overflatebelegg av betydning. Hovedsakelig friske kornoverflater, men lett overflateforvitring på enkelte korn. Enkelte meget svake korn, og aurheller forekommer.

Kornstørrelse	Betegnelse	0/8
Gradering	Kategori	G _{NG} 90
- 16,0 mm.	Deklarert verdi	100 %
- 11,2 mm.	Deklarert verdi	100 %
- 8,0 mm.	Deklarert verdi (+/- 5 %)	95 %
- 5,6 mm.	Deklarert verdi (+/- 7,5 %)	92,5 %
- 4,0 mm.	Deklarert verdi (+/- 10 %)	89 %
- 2,0 mm.	Deklarert verdi (+/- 10 %)	77 %
- 1,0 mm.	Deklarert verdi (+/- 10 %)	63 %
- 0,5 mm.	Deklarert verdi (+/- 10 %)	38 %
- 0,25 mm.	Deklarert verdi (+/- 10 %)	12 %
- 0,125 mm.	Deklarert verdi (+/- 3 %)	3 %
- 0,063 mm.	Deklarert verdi (+/- 2 %)	2 %
Finstoffinnhold	Kategori	f ₃
Korndensitet		
- Vannmettet overflatetørr	Deklarert verdi ($\pm 0,05$ %)	2,65 Mg/m ³ ✓
- Ovnstørr	Deklarert verdi ($\pm 0,05$ %)	2,70 Mg/m ³
Vannabsorpsjon	Deklarert verdi ($\pm 0,2$ %)	1,1 % WA ₂₄
Sammensetning/Innhold		
- Klorider	Deklarert verdi	0,000 %
- Syreløslige sulfater	Kategori	AS _{0,2}
- Totalt innhold av svovel	Deklarert verdi	0,02 %
- Bestanddeler som endrer størknings- og herdetiden av betong (humusinnhold)	Kistype	Svovelskis Lysere enn standardoppløsning
Motstand mot Alkali-silika-reaktivitet	Deklarert verdi	Sv 38,4 %
Farlige stoffer		Ingen kjente
KS/IT Leder	Paul Glamo	Dato: 210512 Sign: Paul Glamo

Korngradering tilslag

Oppdragnr. **2012-1**
Prosjektnummer
Ansvarsområde

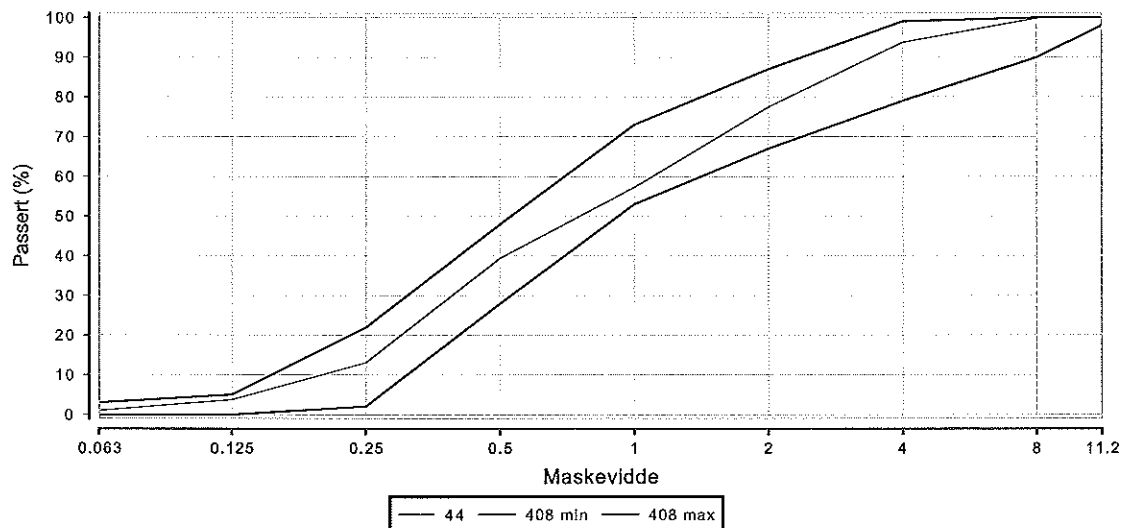
Oppdragsnavn **Produksjonskontroll 2012**
Prosjektnavn
Ansvarlig

Prøvedata

Prøvenr	44				
Uttatt dato	18.09.2012				
Uttatt kl.					
Uttakssted	Produksjonsted				
Analysetype	Våtsikt				
Massetaknavn					
Består av					
Grenseverdir.	408				
Vanninnhold (%)	2.2				
Humus (NaOH)					
Humus (Glødetap)					
Fraksjon (mm)	0.0 - 8.0				
Overstørrelse	0.1				
Understørrelse	0.0				
% <63µm av <delsikt	1.0 (22,4 mm)				
% <20µm av <delsikt					
Finstoffinnhold f	1.0				
Godkjent siktekurve	Ja				

Siktedata - Passert (%)

Pr.nr.	µm				mm				
	63	125	250	500	1	2	4	8	11.2
44	1.0	3.8	13.1	39.4	57.3	77.5	93.7	99.9	100.0



Sted: _____

Dato: _____

Signatur: _____

6/20012-1,2,3 Recept 2

CE - SAMSVARSERKLÆRING

CE

1111



GREFSRUD A-S
avd/Vilberg

12

1111-CPD-0073

NS-EN 12620

Tilslag for betong

Naturlig knust 8/16 mm.

Naturlig tilslag med dominans av gneis/granitt og sandstein. Kubiske korn er i flertall, og kornformen er kubiskrundet/kantrundet. Det er et tynt og løst belegg av silt på kornoverflatene. Hovedsakelig friske kornoverflater, men lett overflateforvitring på enkelte korn. Fant ingen meget svake korn, men auheller kan forekomme.

Kornstørrelse	Betegnelse	8/16
Gradering.	Kategori	G _C 85/20
Kornform	Deklarert verdi	FI ₁₅
Skjellinnhold i grovt tilslag	Deklarert verdi	SC ₁₀
Finstoffinnhold	Kategori	f _{1,5}
Korndensitet		
- Vannmettet overflatetørr	Deklarert verdi (± 0,05 %)	2,68 Mg/m ³
- Ovnstørr	Deklarert verdi (± 0,05 %)	2,67 Mg/m ³
Vannabsorpsjon	Deklarert verdi (± 0,2 %)	0,4 % WA ₂₄
Motstand mot frysing og tining	Vannabsorpsjon ≤ 1% Ref. NS-EN 12620, tabell NA.1, pkt. 5.7.1	Frostsikkert
Motstand mot Alkali – silika – reaktivitet	Deklarert verdi	Sv 75,8 %
Sammensetning/Innhold		
- Klorider	Deklarert verdi	< 0,0001 %
- Syreløslige sulfater	Kategori	AS _{0,2}
- Totalt innhold av svovel	Deklarert verdi	0,09 %
- Bestanddeler som endrer størknings- og herdetiden av betong (humusinnhold)	Kistype	Svovlekis Lysere enn standardoppløsning
KS/IT Leder	Paul Glamo	Dato: 20120505 <i>Paul Glamo</i>

Korngradering tilslag

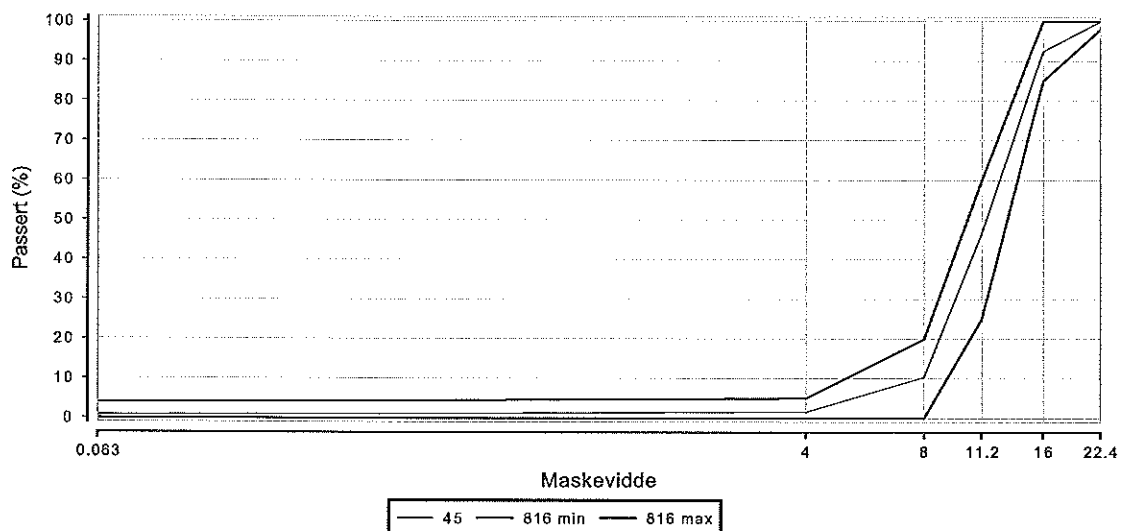
Oppdragnr. **2012-1** Oppdragsnavn **Produksjonskontroll 2012**
 Prosjektnummer Prosjektnavn
 Ansvarsområde Ansvarlig

Prøvedata

Prøvenr	45				
Uttatt dato	18.09.2012				
Uttatt kl.					
Uttakssted	Produksjonsted				
Analysetype	Våtsikt				
Massetaknavn					
Består av					
Grenseverdinr.	816				
Vanninnhold (%)	1.6				
Humus (NaOH)					
Humus (Glødetap)					
Fraksjon (mm)	8.0 - 16.0				
Overstørrelse	7.5				
Understørrelse	10.3				
% <63µm av <delsikt	0.8 (22.4 mm)				
% <20µm av <delsikt					
Finstoffinnhold f	0.8				
Godkjent siktekurve	Ja				

Siktedata - Passert (%)

Pr.nr.	µm	mm				
	63	4	8	11.2	16	22.4
45	0.8	1.5	10.3	46.6	92.5	100.0



Sted: _____

Dato: _____

Signatur: _____



1111

Ramlo Sandtak AS, Industriveien 63, 7080 Heimdal

12

1111-CPD-xxxx

NS-EN 12620

Tilslag til betongformål

Produktinformasjon

Sand 0–8 mm natur fra Søberg Grustak

Beskrivelse av tilslagsforekomst

Sand fra løssmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/kantrundede korn av sandstein, siltstein, leirstein, tette bergarter, granitt, gneis, feltspatisk bergart og mafisk bergart. Ingen belegg på kornoverflater, en del forvitrede korn og enkelte meget svake korn.

Tilslagsstørrelse, mm	0/8
Gradering	G_{NG90}
Korndensitet vannmettet overflatetørr	2,71 Mg/m ³
Vannabsorpsjon	1,1 %
Renhet	
• Finstoffinnhold	F_{10}
• Finstoffkvalitet	
Kjemisk sammensetning	
• Innhold av syreløselig sulfat	$AS_{0,2}$
• Totalt innhold av svovel	0,01
• Klorider	0,000%
• Bestanddeler som endrer størknings- og herdetiden for betong	Lysere enn std.farge
Alkalireaktivitet. Sammenligningsverdi (Sv)	64,9%
Farlige stoffer	Ingen kjente

Typisk gradering med toleranser ihht. tabell 5:

Sikter	Typisk gradering	Toleranser
8	1,5	0-6,5
2	32,0	22-42
1	52,0	42-62
0,250	87,5	77,5-97,5
0,125	93,5	90,5-96,5
0,063	96,0	94-98

Ramlo Sandtak AS erklærer at produktet er produsert i samsvar med Anneks ZA og nasjonalt tillegg NA – Tabell NA.1 i NS-EN 12620.

Heimdal, februar 2012**Per Håvard Ramlo**

Daglig leder



1111

Ramlo Sandtak AS, Industriveien 63, 7080 Heimdal

12

1111-CPD-0021

NS-EN 12620

Tilslag til betongformål

Produktinformasjon

Singel 8–16 mm knust/natur fra Stokke Grustak

Beskrivelse av tilslagsforekomst

Singel med knuste korn fra løsmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/skarpkantede korn av granitt, gneis, feltspatisk bergart, sandstein, siltstein og mørke bergarter. Løst belegg på kornoverflater, enkelte forvitrede korn og enkelte meget svake korn.

Tilslagsstørrelse, mm	8/16
Gradering	Gc90/15
Kornform, flisighetsindeks	Fl ₁₅
Prosent knuste korn på grovt tilslag	
Korndensitet vannmettet overflatetørr	2,71 Mg/m ³
Vannabsorpsjon	0,7 %
Renhet	
• Finstoffinnhold	F _{1,5}
• Finstoffkvalitet	
• Skjellinnhold	SC ₁₀
Motstand mot frysing og tining	F ₁
Kjemisk sammensetning	
• Innhold av syreløselig sulfat	AS _{0,2}
• Totalt innhold av svovel	0,03
• Klorider	0,000
• Magnetkis	
• Bestanddeler som endrer størknings- og herdetiden for betong	Fargeløs
Alkalireaktivitet	
• Sammenligningsverdi (Sv)	75,6%
• Vurdering av alkalireaktivitet iht. NB 21	Alkalireaktivt
Farlige stoffer	Ingen kjente

Ramlo Sandtak AS, erklærer at produktet er produsert i samsvar med Anneks ZA og nasjonalt tillegg NA – Tabell NA.1 i NS-EN 12620.

Heimdal, nov 2012

Per H. D. Ramlo

Daglig leder

CE - SAMSVARSERKLÆRING



1111



Pukk

Franzefoss Pukk AS, PB 53 – 1309 Rud
avd. Sand, 3408 Tranby

13

1111-CPD-0118

NS-EN 12620

Angitte produkt er produsert og levert i samsvar med bestemmelsene angitt i standardens tillegg ZA PKT 2.2 og ZA 3.

Tilslag for betong

Naturlig gradert 0/8

Produktbeskrivelse:

Sand med knuste korn fra løsmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/skarpkantede korn av granitt, gneis, sedimentære bergarter, hornfjellignende bergarter og mørke bergarter. Løst belegg på kornoverflater, enkelte forvitrede korn og enkelte meget svake korn.

Kornstørrelse	Betegnelse	0/8
Gradering	Kategori	G _{NG90}
Finstoffinnhold	Kategori	F ₁₀ (4)
Korndensitet, vannmettet overflatetørr	Deklarert verdi	2,72 Mg/m ³
Vannabsorpsjon	Deklarert verdi	0,7 %
Alkali-silika-reaktivitet	Beregnet verdi	Sv 42,9 %
Klorider	Deklarert verdi	cr < 0,000 %
Syreløslig sulfat	Kategori	AS _{0,2}
Totalt innhold av svovel	Deklarert verdi	S = 0,01 %
Bestanddelere som endrer størknings- og Herdningstiden for betong	Deklarert	Fargeløs
Farlige stoffer	Dokumentert Dokumentert	Under SFT's normverdier Under Statens stråleverns anbefalinger
Kvalitetssjef	Knut Li	Dato: 23.04.13
		Sign <i>Knut Li</i>

CE - SAMSVARSERKLÆRING



Pukk

Franzefoss Pukk AS, PB 53 – 1309 Rud
avd. **Sand**, 3400 Tranby

11

1111-CPD-0118

NS-EN 12620


Angitte produkt er produsert og levert i samsvar med bestemmelsene angitt i standardens tillegg ZA PKT 2.2 og ZA 3.

Tilslag for betong

Grovt tilslag 8/16 Knust

Produktbeskrivelse:

Singel med knuste korn fra løsmasseforekomst. Hovedsakelig sammensatt av kubisk rundede/skarpkantede korn av tette bergarter (hornfels), granitt, gneis, feltspatisk bergart, sandstein, siltstein og mafisk bergart. Løst belegg på kornoverflater, enkelte forvitrede korn og ingen meget svake korn.

Kornstørrelse	Betegnelse	8/16	
Gradering	Kategori	G _c 80/20	
Kornform	Kategori	FI ₁₅	
Finstoffinnhold	Kategori	F ₄	
Korndensitet, vannmettet overflatetørr	Deklarert verdi	2,79 Mg/m ³	
Vannabsorpsjon	Deklarert verdi	0,7 %	
Alkali-silika-reaktivitet	Beregnet verdi	Sv 92,8 %	
Klorider	Deklarert verdi	cr < 0,000 %	
Syreløslig sulfat	Kategori	AS _{0,2}	
Totalt innhold av svovel	Deklarert verdi	S = 0,05 %	
Farlige stoffer	Dokumentert Dokumentert	Under SFT's normverdier Under Statens strålevernans anbefalinger	
Kvalitetssjef	Knut Li	Dato: 07.03.12	Sign 

CE - SAMSVARSERKLÆRING



1111



FRANZEFOSS PUKK AS

Franzefoss Pukk AS, avd. Steinskogen
Gml. Ringeriksvei 219, 1353 Bærumsverk

05

1111-CPD-0116

NS-EN 12620

Angitte produkt er produsert og levert i samsvar med bestemmelsene angitt i standardens tillegg ZA PKT 2.2 og ZA 3.

Tilslag for betong

Grovt tilslag 11/16

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.

Kornstørrelse	Betegnelse	11/16
Gradering	Kategori	G _C 80/20
Kornform	Kategori	FI ₁₅
Skjellinnhold i grovt tilslag	Kategori	SC 0,0
Finstoffinnhold	Kategori	f _{1,5}
Korndensitet		
• Vannmettet og overflatetørr	Deklarert verdi	2,91 Mg/m ³
• Ovnstørr	Deklarert verdi	2,88 Mg/m ³
Vannabsorpsjon	Deklarert verdi	0,8 %
Motstand mot frysing og tining	Deklarert verdi	Vannabsorpsjon < 1%
Alkali-silika-reaktivitet	Beregnet verdi	Sv 0,2 %
Kloridinnhold	Deklarert verdi	0,0 %
Syreløselig sulfater	Deklarert verdi	AS _{0,2}
Total innhold av svovel	Deklarert verdi	0,04 %
Bestanddel som endrer størknings- og herdningstiden for betong	Deklarert verdi	
• Humusinnhold		Fargeløs
Forurensning	Deklarert verdi	Nei
Innhold av hele korn av kalkstein	Dokumentert	Nei
Farlige stoffer	Dokumentert	Ingen kjente
Produktingeniør	Harald Røine	Dato: 20.10.09
		Sign

Resept 6, 10, 11



1111

NB NORDLAND
BETONG

Nordland Betong AS
8041 BODØ

08

1111 - CPD - 0041

NB NORDLAND
BETONG

NS-EN 12620

Tilslag til betong

Kornstørrelse, d/D 0/8

Gradering G NG 90

Forenklet petrografi: Uknust sandtilslag fra løsmasseforekomst. Hovedbergarter: Gneis/granitt, fylitt og kvartsitt. Dominans av kubiske rundede/kantrundede korn. Ikke synlig belegg. Hovedsakelig friske kornoverflater. Meget svake korn er ikke registrert.

Korndensitet 2,73 Mg/m³

Vannabsorpsjon 0,80 %

Renhet

Finstoffinnhold 3,7% f 10

Finstoffkvalitet Ikke skadelig (Tillegg Dd)

Skjellinnhold IK

Motstand mot frysing og tining Frostsikker (absorpsjon < 1,0 %)

Sammensetninger/innhold

Klorider < 0,001 %

Syreløselig sulfat AS 0,2

Totalt innhold av svovel < 0,02 %

Bestanddelene som endrer styrknings- og herdetiden for betong

Lysere enn standardfarge

Alkaliaktivitet - petrografi 10

28 %

Alkaliaktivitet - sammenligningsverdi (NB21), Sv sand = Vg + Sm

29,70 %

Farlige stoffer

Ingen kjente

Grensekurver for gradering (tørresikting):

Sikt (mm)	Sikterest i %	
8	7,8	0,0
2	40,6	20,6
1	58,1	38,1
0,25	96,8	76,8
0,125	98,2	92,2
0,063	99,9	95,9

André Johnsen

Bodø: 15.06.2012

6120022 - Resept 11 ~~XXXX~~

KORNFORDELINGS - ANALYSE

Prøvenr. Ref dato 12.09.2012
Dato Som angitt
Uttatt :

Kunde : NB
Uttatt av : A Berg
Utført av : A.Berg

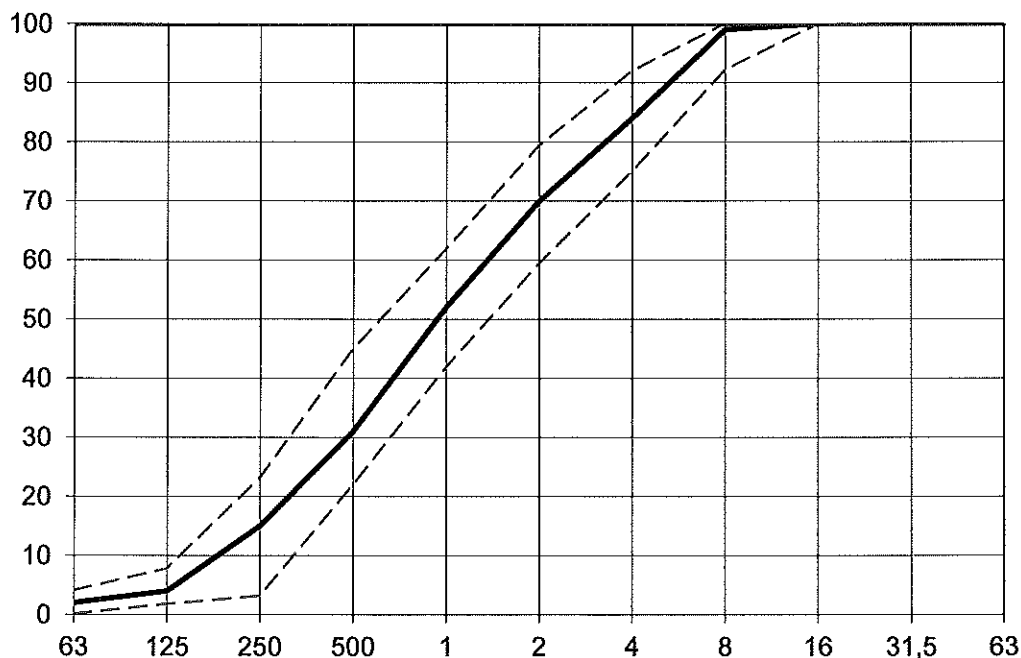
Lokalitet Vika
Varetype Sand
Fraksjon 0/8 mm

Humus : 0
Slam :
Fillersand : %

11.2 mm : 0 %

	ISO-sikt	63	125	250	500	1	2	4	8	16	31,5	63	FM
12.08.2012	Sikte-rest	98	96	85	69	48	30	16	1				2,97
	Sikte-rest												0,00
	Sikte-rest												0,00
Øvre grens	Sikte-rest	95,9	92,2	76,8	55	38,1	20,6	8	0	0			2,45
Nedre gren	Sikte-rest	99,9	98,2	96,8	78	58,1	40,6	25	7,8	0			3,55

Siktekurve



Merknader

Deklarerte grenseverdier Vika 0/8 i hht deklarasjonsblad 1111 - CPD - 0041. Øvre og nedre verdi avtegnet.

KORNFORDDELINGS - ANALYSE

Singel natur 8-16 mm

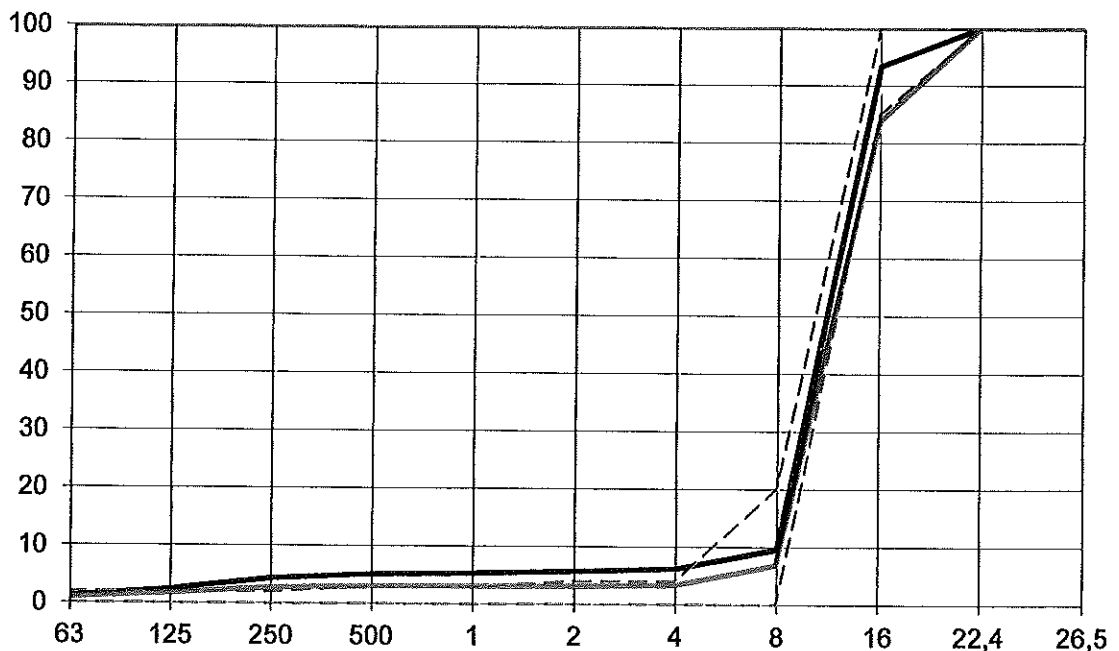
Prøvenr. : Kunde : Internprøve
 Dato : ##### Utfatt av : A Berg
 Uttatt : Lager Vika Utført av : A Berg

Lokalitet : Vika Humus :
 Varetype : Singel natur Slam :
 Fraksjon : 8-16 mm Fillersand : 2,4 %

11.2 mm : %
 19 mm : %

Dato	ISO-sikt	63	125	250	500	1	2	4	8	16	22.4	26.5	FM
31.05.2012	Sikte-rest	98,8	97,6	95,7	94,9	94,7	94,3	93,8	90,4	6,7	0	0	6,19
01.06.2012	Sikte-rest	99,1	98,3	97,3	97	96,9	96,9	96,7	93,2	16,2	0		6,43
	Sikte-rest												0,00
Øvre grenskurve	Sikte-rest	100	100	100	100	100	100	100	100	15		0	6,65
Nedre grensekur	Sikte-rest	98	98	98	97	97	96	96	80	0		0	6,13

Siktekurve



Merknader



1111

 Gabbro Nor AS
 8723 Husby

Samsvarserklæring

Produksjonskontrollsertifikat

-07

1111 - CPD - 0356

erklærer at følgende tilslag til betong iht. NS-EN 12620, er produsert i samsvar med Anneks ZA og nasjonalt tillegg NA-Tabell NA1 til nevnte standard

Sammendrag forenklet petrografisk analyse fra Tomma steintak:

Knust fjellforekomst av gabbro hovedsakelig sammensatt av kubisk skarpkantede korn. Ingen belegg på kornoverflater, ingen forvitrede korn og ingen meget svake korn.

Betegnelse	Verdier
Tilslagsstørrelse	8/16 K
Gradering	G _c 80/20
Formen på grovt tilslag <ul style="list-style-type: none"> • Flisighetsindeks 	Fl ₁₅
Korndensitet	2,92 Mg/m ³
Vannabsorbasjon	0,5%
Renhet <ul style="list-style-type: none"> • Finstoffinnhold • Finstoffkvalitet • Skjellinnhold 	F _{1,5} - SC ₁₀
Motstand for frysing/tining	F ₁
Motstand mot knusing	LA30
Motstand mot slitasje (kulemølle)	AN19
Kjemisk sammensetting <ul style="list-style-type: none"> • Klorider • Syreløselige sulfater • Totalt innhold av svovel <ul style="list-style-type: none"> > Magnetkis • Bestanddeler som endrer størknings- og herdingstiden for betong 	- AS _{0,2} 0,09% indikasjon Lysere enn standard
Alkalireaktivitet (Sv = Vg + Sm, iflg. Pb.21)	1,6%
Farlige stoffer	Ingen kjente

Husby 29 / 8 2011


 Stian Fuglstad
 Daglig leder



1111

NorStone Årdal, 4137 Årdal, Norge

12

111-CPD-0007

NORSTONE
HEIDELBERGCEMENT Group

NS-EN 12620

Tilslag for betong

Varenummer / Identifikasjon
101718-115 / 0/8mm (B)

<u>Standarder</u>		<u>Verdier</u>	<u>Kategorier</u>
NS-EN 933-1	Kornstørrelse Gradering		0/8 G _{NG90}
NS-EN 933-3	Flisighetsindeks		F _{INR}
NS-EN 1097-6	Korndensitet	2,68 Mg/m ³	2,66 - 2,70 Mg/m ³
NS-EN 1097-6	Vannabsorpsjon	0,3%	WA ₂₄₁
NS-EN 12620 F.2.3	Mostand mot frysning el tining	0,1%	F _{IK}
	Renhet		
NS-EN 933-1	Finstoffinnhold	3%	f ₁₀
NS-EN 933-9	Finstoffkvalitet	-	MB _{IK}
	Innhold/sammensetning		
NS-EN 1744-1 pkt 7	Klorider	<0,001%	Cl _{0,02}
NS-EN 1744-1 pkt 12	Syreløselige sulfater	0,04%	AS _{0,2}
NS-EN 1744-1 pkt 11	Totalt innhold av svovel	0,03%	S ₁
NS-EN 1744-1 pkt 15	Bestanddelene som endrer størknings- og herdingstiden av betong		Lysere
NB 21	Alkalireaktivitet (sammenligningsverdi)	0,5%	
NS-EN 932-3	Forenklet petrografi	Delvis knust granitt/gneis fra løsmasseforekomst. Dominans av kubiske/rundede korn. Ikke synlig belegg. Ikke registrert meget svake korn	

Deklarete verdier gradering**Forventet (%)****Toleranser (%)**

Gjennomgang 31,5mm		
Gjennomgang 22,4mm		
Gjennomgang 16mm		
Gjennomgang 11,2mm	100	100
Gjennomgang 8mm	99	97-100
Gjennomgang 5,6mm	90	
Gjennomgang 4mm	80	
Gjennomgang 2mm	64	59-69
Gjennomgang 1mm	46	41-51
Gjennomgang 0,5mm	28	
Gjennomgang 0,25mm	15	13-17
Gjennomgang 0,125mm	7	5-8
Gjennomgang 0,063mm	3	2-4

Dateret: 15.02.2012

Torstein Riske



1111

NorStone Årdal, 4137 Årdal, Norge

12

111-CPD-0007

NORSTONE
HEIDELBERGCEMENT Group

NS-EN 12620

Tilslag for betong

Varenummer / Identifikasjon
101711-160 / 8/16mm (B)

<u>Standarder</u>		<u>Verdier</u>	<u>Kategorier</u>
NS-EN 933-1	Kornstørrelse Gradering		8/16 G _{C85/15}
NS-EN 933-3	Flisighetsindeks	3	Fl ₁₅
NS-EN 1097-6	Korndensitet	2,69 Mg/m ³	2,67 - 2,71 Mg/m ³
NS-EN 1097-6	Vannabsorpsjon	0,4%	WA ₂₄ 1
NS-EN 12620 F.2.3	Mostand mot frysning el tining	0,1%	F ₁
	Renhet		
NS-EN 933-1	Finstoffinnhold	0,4%	f _{1,5}
NS-EN 933-9	Finstoffkvalitet	-	MB _{IK}
	Innhold/sammensetning		
NS-EN 1744-1 pkt 7	Klorider	<0,001%	Cl _{0,02}
NS-EN 1744-1 pkt 12	Syreløselige sulfater	0,04%	AS _{0,2}
NS-EN 1744-1 pkt 11	Totalt innhold av svovel	0,03%	S ₁
NS-EN 1744-1 pkt 15	Bestanddelene som endrer størknings- og herdingstiden av betong		Lysere
NB 21	Alkalireaktivitet (sammenligningsverdi)	0,5%	
NS-EN 932-3	Forenklet petrografi	Delvis knust granitt/gneis fra løsmasseforekomst. Dominans av kubiske/rundede korn. Ikke synlig belegg. Ikke registrert meget svake korn	

Deklarerte verdier gradering	Forventet (%)	Toleranser (%)
Gjennomgang 31,5mm		100
Gjennomgang 22,4mm	100	98-100
Gjennomgang 16mm	91	85-99
Gjennomgang 11,2mm	47	
Gjennomgang 8mm	9	0-15
Gjennomgang 5,6mm	3	
Gjennomgang 4mm	2	0-5
Gjennomgang 2mm	2	
Gjennomgang 1mm	2	
Gjennomgang 0,5mm	1	
Gjennomgang 0,25mm	1	
Gjennomgang 0,125mm	1	
Gjennomgang 0,063mm	0,4	0-1,5

Dateret: 15.02.2012

Torstein Riskeid

YDEEVNEDEKLARATION

Nr. 02 / Juli 2013

1. Byggevaretype:

Portlandcement EN 197-1

2. Byggevaridentifikation:

RAPID[®] cement / RAPID[®] AALBORG CEMENT[®]
Portlandcement CEM I 52,5 N (LA)

3. Byggevarens tilsigtede anvendelse(r):

Anvendes til fremstilling af beton, mørtel mv.

4. Fabrikantens navn og adresse:

Aalborg Portland A/S, Rørdalsvej 44, 9100 Aalborg

5. Navn og adresse på den bemyndigede repræsentant:

Ikke relevant

6. Systemerne for vurdering og kontrol af konstanten af byggevarens ydeevne (AVCP):

System 1+

7. Notificeret Organ's opgave:

Notificeret produktcertificeringsorgan Bureau Veritas Certification,
Identifikationsnummer 0615 - har udført

bestemmelse af produkttyperne på grundlag af prøvning, prøveudtagning og den indledende inspektion af fabriksanlæggets produktionskontrol, den løbende overvågning, overensstemmelse og evaluering af fabrikkens produktionskontrol, og har udstedt overensstemmelsescertifikat/ydeevneerklæring.

Senest opdateret: 2013-06-30



8. Deklareret ydeevne

Alle egenskaber for Portlandcement CEM I 52,5 N (LA) iht. standarden er opfyldt.

Egenskaber	Deklarerede værdier	Krav i DS/EN 197-1
1-døgnsstyrke	19 - 25 MPa	Ingen
2-døgnsstyrke	30 - 38 MPa	≥ 20 MPa
7-døgnsstyrke	47 - 55 MPa	Ingen
28-døgnsstyrke	63 - 71 MPa	≥ 52,5 MPa
Begyndende afbinding	110 - 170 min	≥ 45 min
Sulfat som SO ₃	2,9 - 3,5 %	≤ 4,0 %
Chlorid	≤ 0,04 %	≤ 0,10 %
C ₃ A	≤ 8 %	Ingen
Vandopløseligt chromat	≤ 2 mg/kg	≤ 2 mg/kg (Krav i EU Direktiv 2003/53/EC)
Absolut densitet	3090 - 3190 kg/m ³	Ingen

For hver egenskab er angivet et variationsområde, som er fastlagt således, at sandsynligheden for, at en værdi falder udenfor, er mindre end 5 %.

9. Ydeevnen for den byggevare, der er anført i punkt 1 og 2, er i overensstemmelse med den deklarerede ydeevne i punkt 8.

Denne ydeevnedeklaration udstedes på eneansvar af den fabrikant, der er anført i punkt 4.

Aalborg, den 30. juni 2013

Underskrevet for og på vegne af producenten af:



Birgit Jensen, Kvalitets- og Arbejdsmiljøchef, Aalborg Portland A/S

Væsentlig egenskab iht. DS/INF 135	Deklareret værdi	Krav
Alkaliindhold	≤ 0,6 %	≤ 0,6 %

Senest opdateret: 2013-06-30





Anleggsement FA

Vi gir følgende deklarerte verdier for Norcem Anleggsement FA, fra Norcem AS Brevik, prøvet i henhold til NS-EN 196.

Fysikalske, mekaniske og kjemiske egenskaper	Deklarerte verdier	Normalt variasjonsområde	Krav i NS-EN 197-1 og i forskrifter
Finhet			
Finhet Blaine	390m ² /kg		Ingen
Størkningstid			
Begynnende størkning	165 min	135-195 min	≥ 60 min
Utvidelse			
Le Chatelier	1 mm		≤ 10 mm
Trykkfasthet			
1 døgn	15 MPa	12-18 MPa	Ingen
2 døgn	24 MPa	21-27 MPa	≥ 10,0 MPa
7 døgn	37 MPa	33-41 MPa	Ingen
28 døgn	55 MPa	51-59 MPa	≥ 42,5 MPa ≤ 62,5 MPa
Kjemiske egenskaper			
Sulfatinnhold (SO ₃)	2,7 %		≤ 4 %
Klorider (Cl ⁻)	≤ 0,085 %		≤ 0,1 %
Vannløselig krom (Cr ⁶⁺)	< 2 ppm		≤ 2 ppm ¹
Alkalier (Na ₂ O _{eq})	0,6 % ²		

Sementen tilfredsstillter kravene til Portlandflygeaskesement EN 197-1-CEM II/A-V 42,5 N
Ytterligere informasjon finnes på Norcems hjemmesider: www.norcem.no

Norcem AS, mai 2010



¹ I henhold til Forskrift om vannløselige kromater i sement og sementbaserte materialer
² Alkali innhold i klinkerdel



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen