

Teknologirapport nr. 2437

GJENBRUKSPROSJEKTET

Prosjektrapport nr 15:

Finstoff i gjenbruksbetong



Desember 2006

Teknologiavdelingen

Teknologirapport nr. 2437

GJENBRUKSPROSJEKTET

Prosjektrapport nr 15:

Finstoff i gjenbruksbetong

Sammendrag

Rapporten inngår i en serie rapporter fra Gjenbruksprosjektet 2002-2005 (etatsprosjekt).

Delprosjekt 3 "Gjenbruk av betong" (DP3) som denne rapporten tilhører, har som overordnet målsetting å formulere et forslag til anvendbare retningslinjer for bruk av resirkulert tilslag (knust betong og tegl) til vegformål og på denne måten gjøre det enklere for bestiller å ta i bruk materialet. Som ledd i dette må det skaffes en del data om det resirkulerte tilslaget, og om konstruksjoner hvor slik tilslag er benyttet.

Når det gjelder anvendelse av gjenbruksbetong i vegkonstruksjoner er spørsmål rundt finstoffandelen et tilbakevendende tema. På grunn av redusert mekanisk styrke i forhold til de fleste naturmaterialer vil man kunne få en viss nedknusing, med generering av finstoff, både før og etter at materialet kommer ut på vegen. Hvilke følger dette vil ha og eventuelt hvilke spesielle krav som skal stilles i den forbindelse har vært høyst usikkert. Man har i flere prosjekter observert positiv utvikling med tanke på stivhet og bæreevne (etterbinding). Men samtidig vet man mindre om langtidsegenskaper, vann- og frostømfintlighet osv. En egen delaktivitet i Gjenbruksprosjektet (DP3-5) har derfor vært viet finstoffets betydning.

Arbeidene på DP3-5 har vært tredelt, slik de også er presentert i denne rapporten;

- Enkel litteraturstudie med innhenting av info/erfaringer fra andre prosjekter som omhandler finstoffets egenskaper og funksjonelle virkning
- Utprøving av knust betong i felt med og uten finstoff (oppfølging av Melhus-prosjektet)
- Teleforsøk i laboratorium på et utvalg gjenbruksmaterialer

Alle spørsmål rundt finstoffets betydning er ikke avklart gjennom dette. Men rapporten viser flere interessante resultater, både fra lab og felt. Det er viktig at disse følges opp videre for ytterligere verifikasjon.

Emneord: *Gjenbruk, betong, finstoff, telegenskaper, bæreevne*

Seksjon: *Veg- og trafikkfaglig senter*

Saksbehandler: *Geir Berntsen, Gordana Petkovic*

Dato: *Desember 2006*

Forord

Statens vegvesens Gjenbruksprosjekt er ett av fem etatsprosjekter i perioden 2002 - 2005. Prosjektet ble startet på Vegteknisk avdeling i Vegdirektoratet. Fra og med 2003 tilhører prosjektet Teknologivdelingen, Veg- og trafikkfaglig senter i Trondheim. I tillegg til fagpersoner i Statens vegvesen, består både Prosjektrådet og arbeidsgrupper av ressurspersoner fra BA-næringen, forskningsmiljøer og administrative instanser.

Prosjektets overordnede mål er å *tilrettelegge* for gjenbruk. Dette skal gjøres ved å:

- øke kunnskapen om materialenes tekniske og miljømessige egenskaper
- implementere kunnskap underveis ved utførelser i Vegvesenets regi
- vurdere muligheter for ressursvennlig prosjektering
- studere økonomiske sider ved anvendelsen av resirkulerte materialer
- gjennomgå relevant regelverk, revidere eller supplere Vegvesenets håndbøker og veiledninger

Statens vegvesens Gjenbruksprosjekt består av åtte delprosjekter:

- DP 1 Avfallshåndtering
- DP 2 Miljøpåvirkning
- DP 3 Gjenbruk av betong
- DP 4 Gjenbruk av asfalt
- DP 5 Lette fyllmasser og isolasjonsmaterialer
- DP 6 Gjenbruksvegen
- DP 7 Prosjektering, økonomi og administrative forhold
- DP 8 Nye ideer, materialer og tiltak

Gjenbruksprosjektet ledes av Gordana Petkovic, Vegdirektoratet.

Delprosjekt 3 "Gjenbruk av betong" (DP3) som denne rapporten tilhører, har som overordnet målsetting å formulere et forslag til anvendbare retningslinjer for bruk av resirkulert tilslag (knust betong og tegl) til vegformål og på denne måten gjøre det enklere for bestiller å ta i bruk materialet. Som ledd i dette må det skaffes en del data om det resirkulerte tilslaget, og om konstruksjoner hvor slik tilslag er benyttet.

Da betong og tegl ofte vil ha lavere mekanisk styrke enn naturmaterialer, kan nedkusing med generering av finstoff opptre både før og etter at materialet kommer ut på vegen. Dette kan være en mulig problemkilde. På den annen side har man sett positive effekter i form av økt stabilitet og bæreevne over tid (etterbinding) i konstruksjoner med knuste betongmaterialer. Man vet imidlertid mindre om langtidsegenskaper, vann- og frostmømfintlighet osv. En egen aktivitet i Gjenbruksprosjektet (DP3-5) har derfor vært viet finstoffets betydning.

Se vedlegg 3 for mer informasjon om delprosjektet. DP3 ledes av Geir Berntsen, Vegdirektoratet.

Denne rapporten er utarbeidet av Joralf Aurstad, SINTEF/Statens vegvesen med bidrag fra Brynhild Snilsberg på litteraturgjennomgang om finstoffets betydning. Kapittel 4 om teleforsøk er en oppdragsrapport utarbeidet av SINTEF. Denne oppdragsrapporten er her gjengitt i sin helhet.

Innholdsfortegnelse

1	INNLEDNING.....	6
2	TIDLIGERE UNDERSØKELSER.....	7
2.1	FINSTOFF I KNUST BETONG – SPESIELLE EGENSKAPER/FORHOLD Å TA HENSYN TIL	7
2.1.1	<i>Densitet og vannabsorpsjon.....</i>	7
2.1.2	<i>Forurensninger.....</i>	8
2.2	GENERERING AV FINSTOFF	8
2.2.1	<i>Generelt.....</i>	8
2.2.2	<i>Knusing</i>	9
2.2.3	<i>Sikting og fraksjonering</i>	9
2.2.4	<i>Komprimering</i>	11
2.2.5	<i>Frysing og tining.....</i>	12
2.3	ETTERBINDING	13
2.3.1	<i>Eksempler.....</i>	13
2.3.2	<i>Herdemekanismene</i>	14
2.3.3	<i>Gjenbruksprosjektets dokumentasjon av etterbinding.....</i>	16
3	FELTFORSØK MED GJENBRUKSBETONG MED OG UTEN FINSTOFF	18
3.1	MÅLSETNING.....	18
3.2	OM FORSØKSFELTENE	18
3.3	RESULTATER	19
3.3.1	<i>Utgangsmaterialet.....</i>	19
3.3.2	<i>Siktekurver</i>	21
3.3.3	<i>Densitet og vannabsorpsjon.....</i>	22
3.3.4	<i>Simulering av nedknusing under trafikk.....</i>	22
3.3.5	<i>Stivhet og deformasjonsmotstand testet i treaks.....</i>	23
3.3.6	<i>Bæreevne.....</i>	25
3.4	OPPSUMMERING AV STYRKEEGENSKAPER, GJB MED OG UTEN FINSTOFF	26
4	UNDERSØKELSE AV TELEEGENSKAPER I LAB.....	28
4.1	INNLEDNING	28
4.2	TELEKRITERIER	28
4.3	METODE FOR UNDERSØKELSE AV TELEEGENSKAPER I LABORATORIUM.....	31
4.4	TELEUNDERSØKELSE PÅ GJENBRUKSMATERIALER, UTFØRTE FORSØK	33
4.5	TELEUNDERSØKELSE PÅ GJENBRUKSMATERIALER, RESULTATER	36
4.5.1	<i>Vurdering ut fra korngradering</i>	36
4.5.2	<i>Vurdering ut fra fryseforsøk.....</i>	37
4.5.3	<i>Samlet vurdering.....</i>	38
4.6	AVSLUTTENDE KOMMENTARER TIL UNDERSØKELSER OM TELEEGENSKAPER	39
5	REFERANSER.....	40

VEDLEGG

Vedlegg 1	Måling av telehiv, metodebeskrivelse
Vedlegg 2	Materialer som har inngått i de praktiske teleforsøkene
Vedlegg 3	Tillaging og testing av prøver (fotos)
Vedlegg 4	Delprosjekt 3 "Gjenbruk av betong"
Vedlegg 5	Rapportoversikt Statens vegvesens Gjenbruksprosjekt 2002 - 2005

1 Innledning

Gjenbruksbetong har vært et sentralt tema for Gjenbruksprosjektet. Når det gjelder bruk av knust betong i veg i ubunden (mekanisk stabilisert) form har man bl.a. sett på mekaniske egenskaper, frostbestandighet, kjemisk nedbrytning og testmetoder knyttet til dette. I tillegg har man sett på miljøpåvirkninger og deklarasjonsordninger. Vedrørende bruk av gammel betong som tilslag i ny konstruksjonsbetong (bunden bruk) har man sett både på materialeegenskaper og anleggstekniske erfaringer. Resultatene er rapportert i flere prosjektrapporter [1,2,3,4,5,6,7,8].

I vurdering av og diskusjoner rundt anvendelse av gjenbruksbetong i vegkonstruksjoner er spørsmål rundt finstoffandelen et tilbakevendende tema. På grunn av at resirkulert tilslag ofte vil ha redusert mekanisk styrke i forhold til de fleste naturmaterialer vil man få en viss nedknusing med generering av finstoff både før og etter at materialet kommer ut på vegen. Hvilke følger dette vil ha (positive og negative) og eventuelt hvilke spesielle krav som skal stilles i den forbindelse har vært høyst usikkert. Man har i flere prosjekter observert positiv utvikling med tanke på stivhet og bæreevne (etterbinding). Men samtidig vet man lite om langtidsegenskaper, vann- og frostømfintlighet osv. En egen delaktivitet i Gjenbruksprosjektet (DP3-5), har derfor vært konsentrert om finstoffets betydning. Det er viktig å gjøre oppmerksom på at man med begrepet "finstoff" i denne rapporten ikke bare mener fraksjon $< 0,063$ mm (som strengt tatt definerer finstoff i henhold til EN-standardene). Begrepet er i denne rapporten brukt mer generelt og synonymt med finkornig materiale inneholdende "nullstoff" (begrenset oppad til ca 2 mm).

Konkrete problemstillinger som man har ønsket å se på er:

- Vurdere hvilken betydning finstoffinnholdet har for etterbinding
- Vurdere om finstoffinnholdet har betydning for kjemisk nedbrytning
- Ut fra ovenstående vurdere konsekvensen av utvasking av finstoff
- Vurdere hvilke krav som skal settes mht. finstoffinnhold
- Formulere et forslag til anvendbare retningslinjer mht. finstoffinnhold for bruk av gjenbruksbetong til vegformål

Disse oppgavene har vist seg litt for ressurskrevende til at de alle kan besvares fullt ut gjennom Gjenbruksprosjektet. Noe er bra belyst, på andre områder er det lagt et grunnlag for videre arbeid.

Arbeidene på DP3-5 har vært tredelt;

- A** Enkel litteraturstudie med innhenting av info/erfaringer fra andre prosjekter som omhandler finstoffets egenskaper og funksjonelle virkning
- B** Utprøving av knust betong i felt med og uten finstoff (oppfølging av Melhus-prosjektet)
- C** Teleforsøk i laboratorium på et utvalg gjenbruksmaterialer

Disse arbeidene med resultater er nærmere beskrevet i de følgende kapitler.

2 Tidligere undersøkelser

Som start på arbeidet med utredning av finstoffets betydning for materialegenskapene til gjenbruksmaterialer, herunder spesielt prosjekter knyttet til bruk av knust betong, ble det gjort en enkel litteraturstudie. En kortfattet gjengivelse av momenter knyttet til finstoff ut fra denne undersøkelsen er gitt i de følgende avsnitt. For utfyllende informasjon henvises det til de respektive publikasjoner (se referanselisten).

2.1 Finstoff i knust betong – spesielle egenskaper/forhold å ta hensyn til

2.1.1 Densitet og vannabsorpsjon

Knust betong kjennetegnes av lavere egenvekt og høyere vannabsorpsjon sammenlignet med naturlige tilslagsmaterialer.

Egenvekt (densitet) vil avhenge av materialets sammensetning og mineralogi, som eksempel oppgis bulkdensiteten for det resirkulerte tilslagete løst utlagt til ca 1250 kg/m³. Dette er vesentlig lavere enn for vanlig tilslag [4, 9, 10].

Densiteten til resirkulert tilslag er generelt noe lavere enn densiteten til det opprinnelige tilslagsmaterialet på grunn av den relativt lave densiteten til den gamle mørtelen som er festet til partiklene i det opprinnelige tilslagsmaterialet. Men densiteten for resirkulert tilslag vil ikke variere noe særlig med forskjellig vannsementforhold (v/c) i den opprinnelige betongen (med den samme sementen og tilslagsmaterialet). Tabell 2.1 illustrerer dette.

Tabell 2.1: Egenskaper til naturlig grus og resirkulert tilslag [12]

Type of Aggregate	Size Fraction in mm	Specific Gravity SSD cond.	Water Absorption in percent	Los Angeles Abrasion Loss Percentage (L500)	Los Angeles Uniformity Number L100/L500 Ratio	B.S. Aggregate Crushing Value in percent	Volume percent of mortar attached to natural gravel particles
Original natural gravel	4- 8	2500	3.7	25.9	0.28	21.8	0
	8-16	2620	1.8	22.7	0.22	18.5	0
	16-32	2610	0.8	18.8	0.20	14.5	0
Recycled aggregate (H) (w/c = 0.40)	4- 8	2340	8.5	30.1	0.30	25.6	58
	8-16	2450	5.0	26.7	0.25	23.6	38
	16-32	2490	3.8	22.4	0.24	20.4	35
Recycled aggregate (M) (w/c = 0.70)	4- 8	2350	8.7	32.6	0.31	27.3	64
	8-16	2440	5.4	29.2	0.20	25.6	39
	16-32	2480	4.0	25.4	0.25	23.2	28
Recycled aggregate (L) (w/c = 1.20)	4- 8	2340	8.7	41.4	0.38	28.2	61
	8-16	2420	5.7	37.0	0.39	29.6	39
	16-32	2490	3.7	31.5	0.38	27.4	25
Recycled aggregate (M) (w/c = 0.70)	< 5	2280	9.8	-	-	-	-

Vannabsorpsjon viser hvor mye vann som kan absorberes i porene til materialet. Vannabsorpsjonen for det resirkulerte tilslaget er ofte i størrelsesorden 5-6 % [9]. Dette er vesentlig høyere enn for naturlig tilslag. Den høye vannabsorberende evnen skyldes den gamle sementen som er festet til det originale/gamle tilslagsmaterialet.

Materialer med høy evne til å absorbere vann kan være sensitive for nedbrytning på grunn av frost. De vannabsorberende egenskapene kan måles ved endring i vekt i forhold til før og etter vannmetting.

I følge japanske forskrifter for knust betong er materialet ikke egnet for bruk som tilslag i ny betong hvis absorpsjonen av vann er høyere enn 7 % for grove materialer (> 4 mm) og 13 % for fine materialer (0-4 mm). Finstoffet består hovedsakelig av sement. Dette vil påvirke mange viktige egenskaper ved betongen, spesielt frostmotstanden, og derfor brukes og tilsettes det mest jomfruelige finkornige materialer [11].

Resirkulert tilslag har omtrent samme permeabilitet (drenerende evne) som naturlig tilslag. Permeabilitetskoeffisienten, k , for det resirkulerte tilslaget er ca 130×10^{-3} m/s når tilslaget er løst utlagt og ca 110×10^{-3} m/s etter komprimering. Vanngjennomgang (dreneringskapasitet) i tilslaget kan beregnes med $\phi = 0,65$ [9].

2.1.2 Forurensninger

Renheten og kvaliteten på gjenbrukstilslaget vil avhenge av hele kjeden fra riving til ny bruk.

Forurensninger i resirkulerte tilslag kan være mange forskjellige; jord- og fillermaterialer, leire, asfalt, bitumen, gips, organiske materialer, kjemiske og mineralske tilsetningsstoffer, stål og andre metaller, glass, klorider, fragmentert murstein og lettbetong, partikler skadet ved forvitring eller brann, partikler følsomme for frostskaide, alkali reaktive tilslagspartikler, industrikjemikalier og radioaktive stoffer, sement med høyt aluminiuminnhold m m.

Spesielt resirkulert tilslag som inneholder basisk/alkali reaktive partikler kan gjøre stor skade [12].

Mye av forurensningsstoffene konsentreres ofte i finfraksjonen [13]. Stoffer som kan forekomme i betong- og teglavfall er bly, kvikksølv, kadmium, sink, krom, arsen, nikkel, kobber, PCB og PAH. Hvis resirkulert tilslag av betong skal brukes i ubundne lag eller under grunnvannsnivået og innhold av finstoff er høyt, bør det foretas mer prøvetaking og større kontroll enn ved bunden bruk eller bruk som tilslag i ny betong uten kontakt med grunnvann.

Undersøkelser rundt miljøpåvirkning fra gjenbruksmaterialer har vært en viktig del av Gjenbruksprosjektet. Sementbaserte materialer er behandlet spesielt i prosjektrapport 14A [5].

2.2 Generering av finstoff

2.2.1 Generelt

Finstofffraksjonen (dvs andel < 4 mm) vil normalt utgjøre 15-25 % av den knuste betongen. Dette finstoffet består av 30-60 % herdet sementlim [13].

En høy andel finstoff anses normalt ikke å være noen fordel, og bør begrenses. Men generering av finstoff er generelt vanskeligere å unngå for resirkulert tilslag på grunn av lavere mekanisk styrke.

Tilslag av knust betong er ømfintlig for alle prosesser knyttet til materialhåndtering [11]:

- Ved gjenvinning av betong kan det bli produsert og frigjort finstoff i alle ledd i produksjonsprosessen (knusing, lagring, sikting, transport, utlegging, komprimering).
- Siktekurvene endres gjennom håndteringsprosessen, utlegging og komprimering.
- Materialene endrer seg også gjennom selve testprosedyrene i laboratorium som brukes for å vurdere / karakterisere materialene (blant annet påvirkes resultatene for fallprøve, Los Angeles-testen osv av hvordan siktingen utføres).
- Testmetodene kulemølle og Los Angeles og kriterier / grenser satt ut fra disse vurderes derfor som mindre egnet.
- Forskjellene mellom tørr- og våtsikting kan være ekstra store for disse materialene. Mye av finstoffet vil være festet til de grovere kornene, slik at riktig bilde av finstoffinnholdet ikke kommer fram ved vanlig tørrsikting.

2.2.2 Knusing

Knuseprosessen er svært viktig for de funksjonelle egenskapene. Den resulterende partikkelfordelingen har betydning for både stivhet, stabilitet, ømfintlighet for tele m m på det gjenvunne produktet.

Å optimalisere knuseprosessen ut fra materialets sammensetning og kvalitet er vanskelig, men ikke desto mindre viktig. Metode (tørr/våt, åpen/lukket krets), type utstyr (type knuser og sikteutstyr), innstilling (f eks knuseråpning) m m vil påvirke mengde finstoff som dannes i produksjonsprosessen.

Når gammel betong blir knust vil en del av mørtelen fra den opprinnelige betongen fortsatt være festet til steinpartiklene i det resirkulerte tilslaget. I følge Hansen [12] er det funnet at volumprosent mørtel festet til naturlige gruspartikler er:

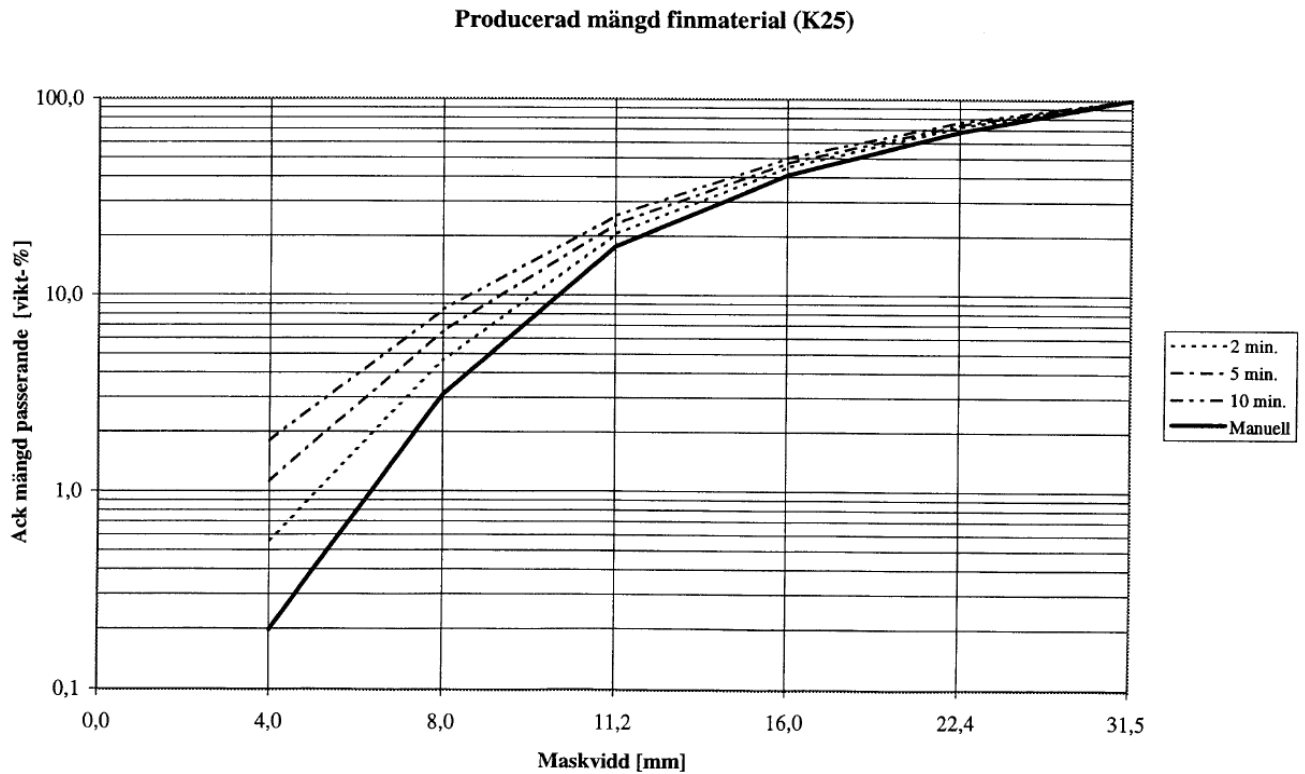
- 25-35 % for fraksjon 16-32 mm
- ca 40 % for fraksjon 8-16 mm
- ca 60 % for fraksjon 4-8 mm

Man ser altså tydelig en anrikning av mørtel festet til de mindre partikkelstørrelsene i det resirkulerte tilslaget.

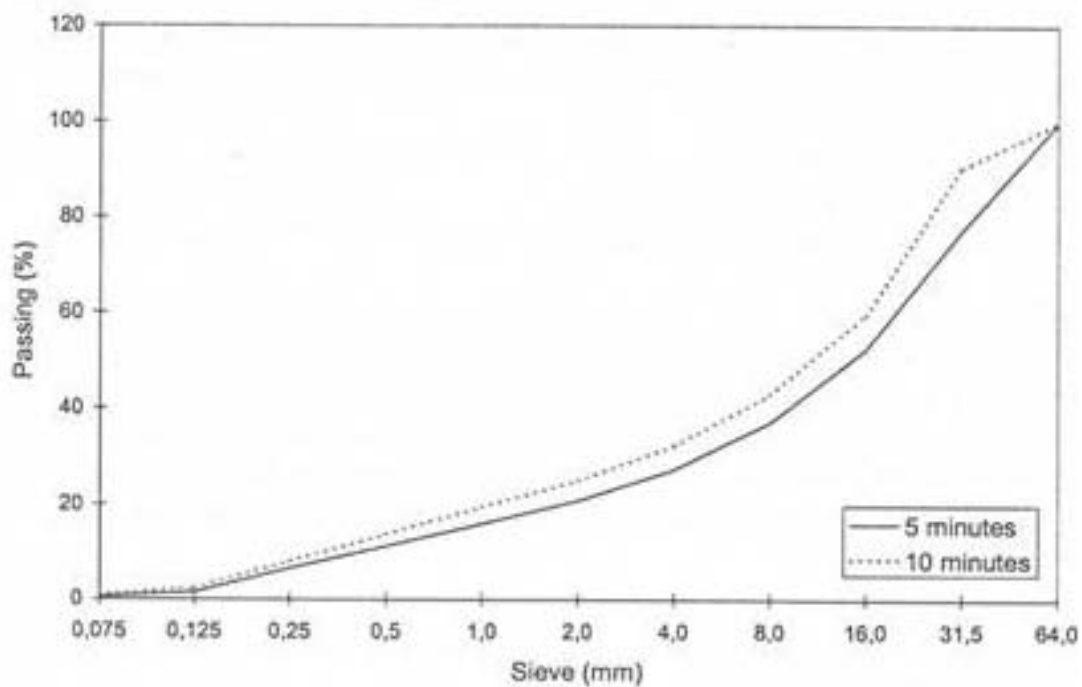
2.2.3 Sikting og fraksjonering

Knust betong er sensitiv for nedknusing, all håndtering inkludert sortering, lasting og transport bør derfor utføres mest mulig skånsomt og helst minimaliseres. Også under utsikting til testfraksjoner i laboratorium skjer det en finstoffanrikning. Manuell sikting anbefales så langt det er praktisk mulig, se Figur 2.1.

Hvis sikting skal/må utføres av maskin bør siktetiden bli kortet ned og mindre mengder siktes om gangen. Sikteforsøk foretatt av SINTEF i forbindelse med rivingen av Regionsykehuset i Trondheim ga resultater som vist i Figur 2.2.

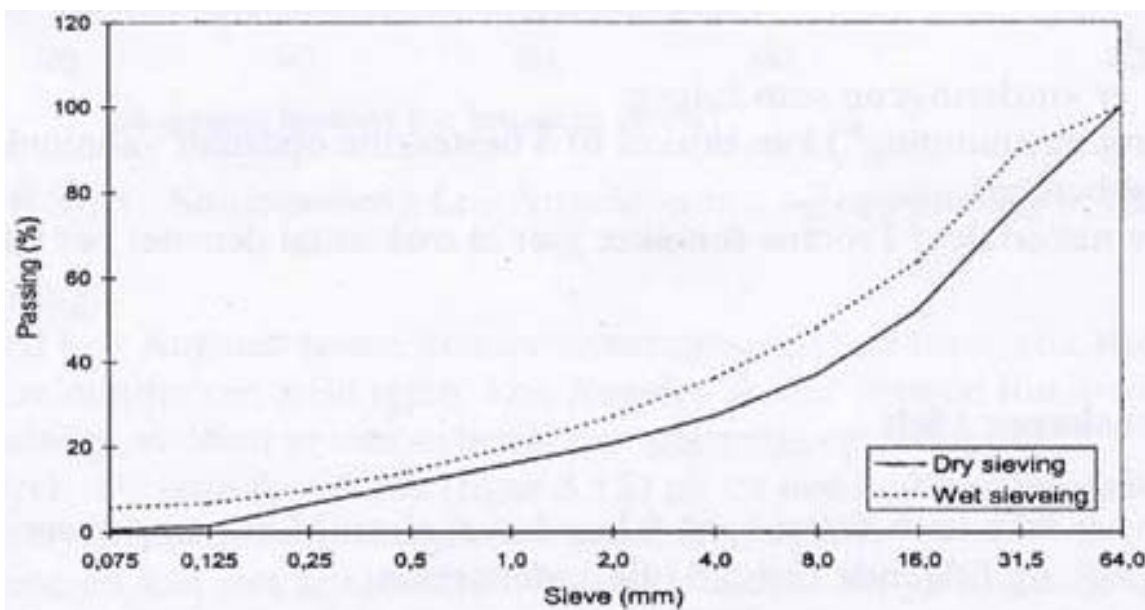


Figur 2.1: okt innhold av finstoff som funksjon av siktetid for knust betong [1]



Figur 2.2: Effekten av siktetid pa kornfordelingen pa tilslag av knust betong [11]

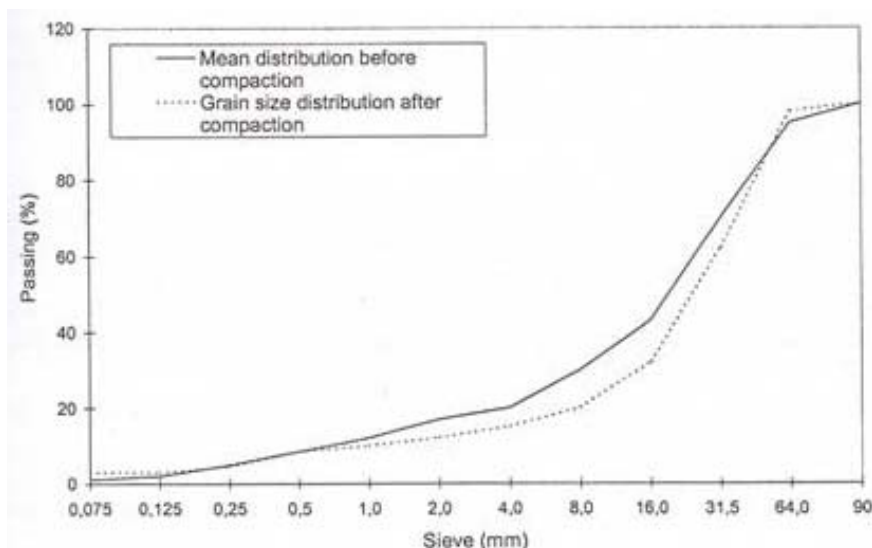
Figur 2.3 viser at også forskjellene mellom tørrsikting og våtsikting kan være store for gjenvunnede masser. Mye av finstoffet vil være festet til de grove kornene, slik at riktig bilde av finstoffinnholdet ikke kommer frem ved vanlig tørrsikting.



Figur 2.3: Forskjell mellom tørrsikting og våtsikting for prøve med knust betong []

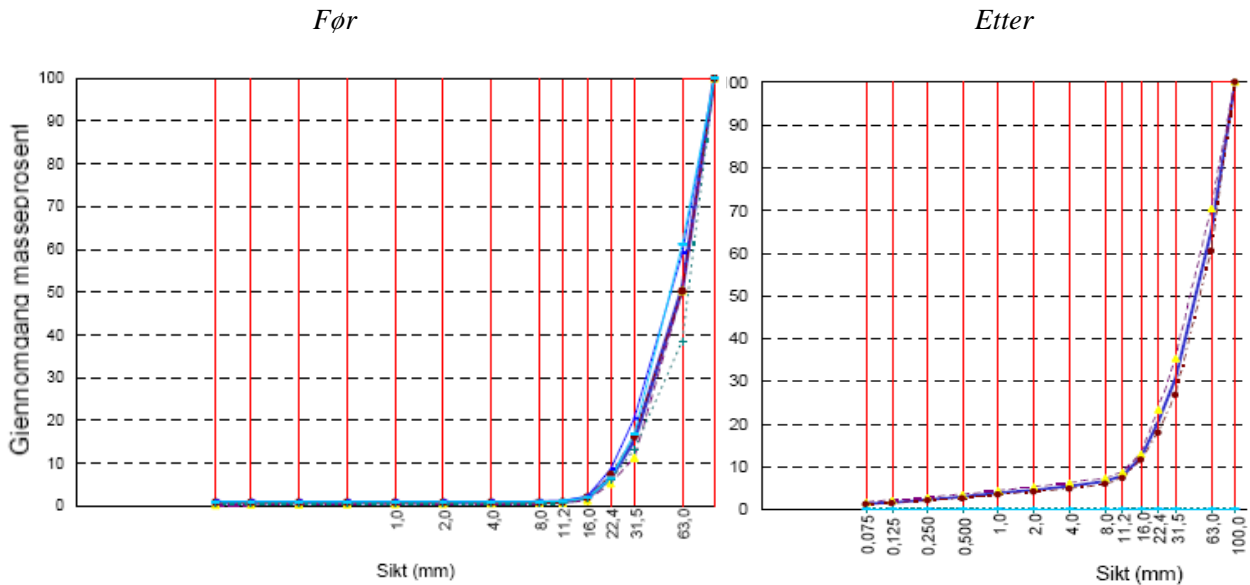
2.2.4 Komprimering

På grunn av forskjeller i mekaniske egenskaper (lavere kornstyrke) vil gjenvunnet betong vanligvis produsere mer finstoff enn naturlige materialer også under komprimering. Som et eksempel på dette viser Figur 2.4 resultatene fra et fullskala forsøk i Helsingborg i Sverige [11].



Figur 2.4: Kornfordeling for tilslag av gjenvunnet knust betong før og etter komprimering [11]

Tilsvarende resultater fra forsøkene med knust betong som forsterkningslag på Melhus framgår av Figur 2.5. Her er materialet 20-100 mm presentert før og etter komprimering i felt (10 overfarer med 15 tonns vals).



Figur 2.5: Kornfordeling for forsterkningslag av knust betong 20-100 mm på Melhus før og etter komprimering [19]

2.2.5 Frysing og tining

Tilslagsmaterialer i Norge kan ventes å fryse og tine gjentatte ganger under helt eller delvis vannmettede forhold. Slike fryse-/tinevekslinger kan være en årsak til ekstra finstoffdannelse hvis tilslaget har lav mekanisk styrke og/eller liten forvittringsmotstand.

Frostnedbrytning oppstår fordi vannet som trenger inn i porene øker i volum når det fryser. Dette forårsaker store krefter som kan sprengne tilslagsmaterialet /partiklene. Risikoen for skade øker hvis salt er til stede, da saltet reduserer overflatespenningen til vann slik at vannet lettere kan trenge inn i de små porene. Fryse-/tinebestandigheten er videre avhengig av styrken til partiklene, antall porer og størrelsen på porer inne i partiklene. Bare porer som har tilgang til vann er involvert i denne prosessen, porøse materialer behøver dermed ikke nødvendigvis ha lav fryse/tine bestandighet [14].

En undersøkelse utført på betong med resirkulert tilslag [15] har vist at frostmotstanden er like bra som for betong med naturlig tilslag, og i enkelte tilfeller har det vist seg at den er bedre. Årsaken til dette er det høye luftinnholdet i betong med resirkulert tilslag som gir betongen en bedre porestruktur.

Laboratorieprøving av frostbestandighet viser at kondisjonering av prøver og eksponeringsbetingelsene for det resirkulerte tilslaget er avgjørende [9,16]. Gjenbruksprosjektet bygget på dette arbeidet og har dokumentert betydningen av prøvepreparering for resultater av testing av frostegenskaper til resirkulert tilslag [2].

På grunnlag av konklusjonene fra [2] og [9] er bruk av resirkulert tilslag anbefalt begrenset til bruksområder der det ikke står neddykket i vann.

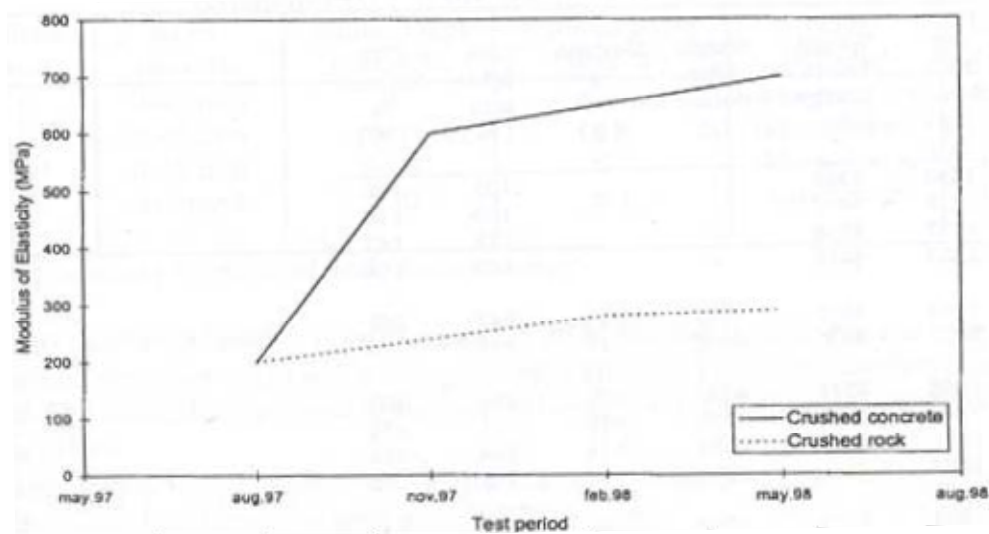
For drøfting av teleproblematikk (telehiv, redusert bæreevne) knyttet til finstoff osv, se kapittel 4.

2.3 Etterbinding

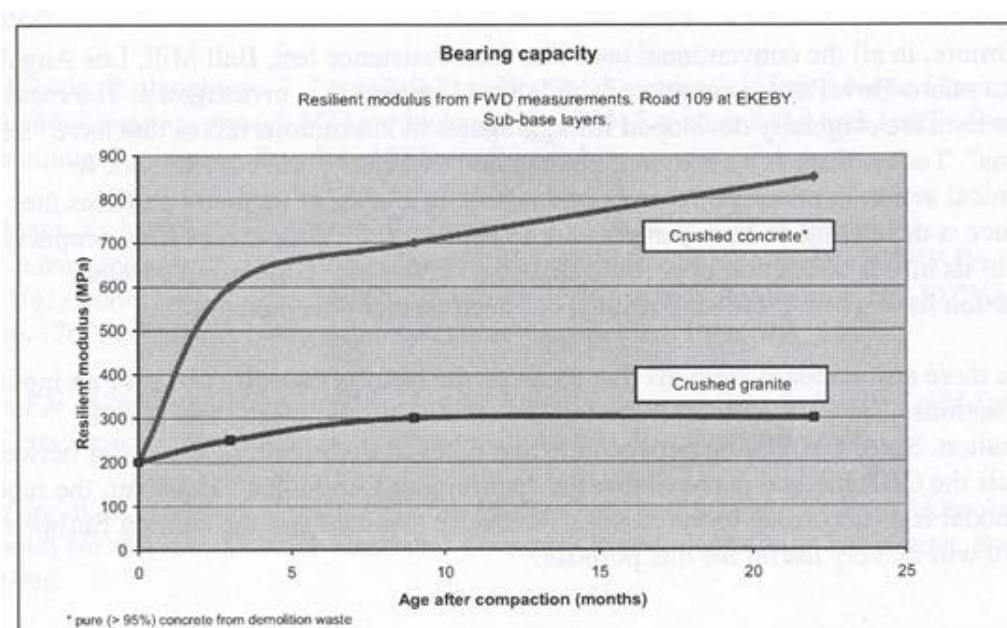
2.3.1 Eksempler

Graden av etterbinding er viktig med tanke på bruk av gjenvunnet betong til vegformål. Selvsementerende reaksjoner i komprimert tilslag kan resultere i en markant økning av stivheten.

En fullskala forsøksveg ble bygget ved Helsingborg i Sverige i 1997 hvor selvsementerende reaksjoner og deres effekt på bæreevnen ble studert. Gjenvunnet tilslag fra betong ble brukt i forsterkningslaget laget på vegen, og målinger av bæreevnen ble utført periodisk etter utleggingen som vist i Figur 2.6 og Figur 2.7. Det ble registrert en økning av elastisk stivhet på 300 % i løpet av en tidsperiode på tre måneder. I den samme perioden ble det foretatt målinger på et referanseområde på vegen hvor konvensjonelle masser ble brukt, og en økning i elastisk stivhet på 25 % ble registrert (Figur 2.6).



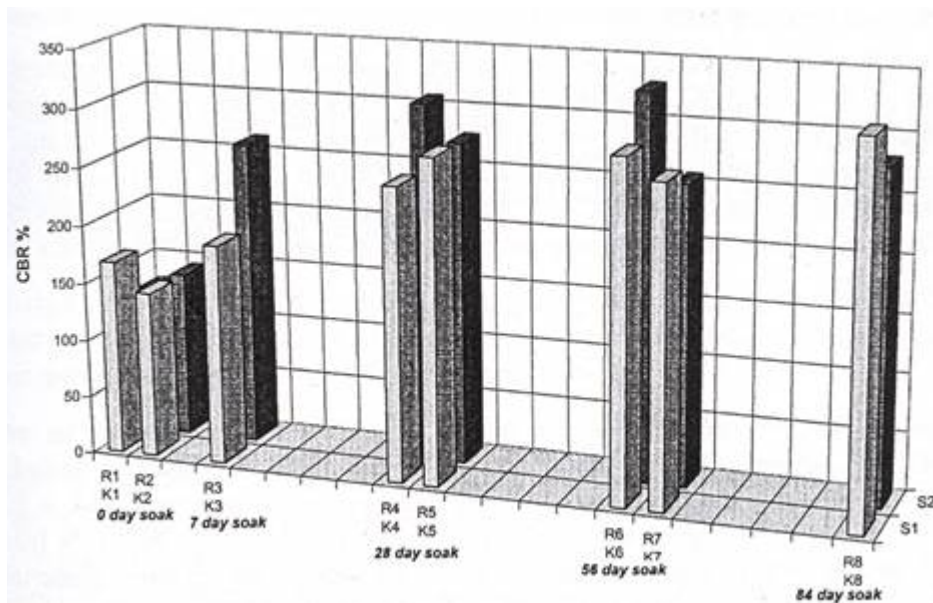
Figur 2.6: Etterherding; eksempel på målte stivheter i felt på knust betong og vanlig tilslag [1, 11]



Figur 2.7: Elastisitetsmodul (M_r) for forsterkningslag [14]

I Finland er det rapportert at bruk av resirkulert tilslag fra betong i veger og motorveger medfører konstruksjoner med en økt stivhet på 2-3 ganger i forhold til konvensjonelle materialer. Så tidlig som i 1987 ble det foretatt lignende forsøk i Nederland, der det ble målt en økning i stivheten på 200 % over en periode på tre måneder [11]. Stivhetsøkningen er imidlertid ennå ikke tatt hensyn til ved dimensjonering og er ikke inkludert i norske vegnormaler [1].

Ved Chalmers er det forsøkt å simulere etterherdingsprosessene i laboratorium gjennom California Bearing Ratio-forsøk (CBR) som vist i Figur 2.8. Man har her sammenlignet nyknust (referanse) og CO₂ behandlet (fullkarbonisert) betong. Material fra et rivningsprosjekt i Göteborg ble her knust ned til fraksjon 0-19 mm. Karboniseringen ble utført ved at det nedknuste materialet ble behandlet med CO₂ gass i et trykkammer. Dermed påskyndes prosessen med at Ca(OH)₂ i betongen reagerer med CO₂ og går over til CaCO₃.



Figur 2.8: Resultater på CBR-forsøk på knust betong; prøvene R1-R8 er ubehandlet, K1-K8 er CO₂ behandlet [11]

Resultatene viser en tydelig fasthetsutvikling for begge prøveseriene. Begge materialene fikk økte CBR-verdier under de tre månedene forsøket pågikk. Bindingen gikk raskest i den ubehandlede betongen (serie 2). CBR-verdiene for den karboniserte betongen (serie 1) økte langsommere, men oppnådde samme nivå (eller litt høyere) som den ubehandlede etter tre måneder [11].

2.3.2 Herdemekanismene

Egenskapene til knust betong varierer med flere faktorer, blant annet *opprikkelse* (trykkfasthet, type tilslagsmateriale og sement i den opprinnelige betongen) og *håndtering* (nedriving, knusing og rengjøring). Det er derfor ikke mulig å spesifisere egenskaper som gjelder for alle typer knust betong klassifisert som en enkel materialgruppe [17].

Knusingen har, som tidligere nevnt, stor betydning for egenskapene til det resirkulerte tilslaget. Den resulterende partikkelfordelingen er bestemmende for stivhet, stabilitet, ømfintlighet for tele osv. Med tanke på etterbinding er spesielt finstoffet viktig. Man oppnår høyest karbonatisering ved grundig komprimering og vanning av massene, noe som resulterer i en lang periode med kontakt mellom vann og betong. Et stort overflateareal hos partiklene (det vil si mer finstoff) er gunstig i den sammenheng.

Når det gjelder selve mekanismene påpekes det i [11] at fasthetsutviklingen i felt er mer sammensatt enn det som har vært vanlig å anta, og at flere prosesser virker inn på dette fenomenet:

- a) Prosess med suksessiv oppløsning og avleiring av karbonater:
Dette utgjør sannsynligvis hovedbidraget, en slik ”sammenkitting” er også kjent fra USA på veger hvor det brukes kalkstein.
- b) Kjemiske reaksjoner:
Her er sannsynligvis den viktigste bidraget reaksjon mellom $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i betongen og CO_2 i lufta til CaCO_3 (karbonatisering).
- c) Reaksjon med uhydratisert sement som er frigjort i knuseprosessen:
Prosessen kan være til stede, men betyr sannsynligvis mindre enn antatt.

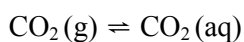
I [12] hevdes det at uhydratisert sement som er igjen i finstoff mindre enn 2 mm fra knusing er så fortynnet at finstoffet har utilstrekkelig hydraulisk bindingskapasitet til å herde jord eller en kornet masse. Finstoffet inneholder 2-4 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ avhengig av sementinnholdet i den gamle betongen.

I [13] og [17] framheves det at reaktiviteten til tilslag av knust betong vil være en funksjon av flere faktorer, som for eksempel:

- Uhydratisert sement
- Innhold av $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Innhold av karbonisert betong
- Diffusjonshastigheten for CO_2
- Betongens evne til å absorbere CO_2
- Omgivelsenes CO_2 -konsentrasjon

Kalkutfelling i naturen skjer ved følgende reaksjoner [17]:

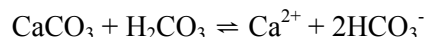
1. Regnvann som trenger ned i jorden er i likevekt med karbondioksid som finnes i atmosfæren:



2. Karbondioksid i løsning med vann blir til kullsyre:



3. Når regnvann passerer gjennom jorda blir det isolert fra atmosfæren og kan få økt innhold av kullsyre på grunn av det høye partialtrykket av karbondioksid som finnes i organisk jord. Når dette vannet kommer i kontakt med kalkstein er konsentrasjonen av kullsyre tilstrekkelig for å løse kalk:

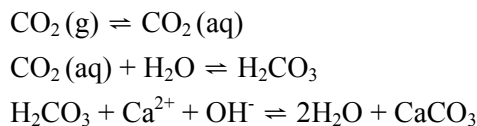


Når kalsiumhydroksid, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, løses opp fra knust betong dannes kalkrikt vann som feller ut kalsiumkarbonat når det igjen eksponeres for luft. I denne sammenheng kan derfor lag av knust betong betraktes som menneskelagde akviferer (vannførende lag, formasjoner) som ligner på de naturlige kalksteinsakviferene, ettersom begge inneholder kalkrikt vann.

Sementpastaen er av primær interesse når det gjelder kalkutfelling, og man antar at kalsiumhydroksid, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, er den dominerende reaktive bestanddelen. Kalsiumhydroksid utgjør 20-25 % av hydratisert portlandsement. Det er et biprodukt fra hydratiseringsprosessen hvor kalsium-silikat-hydrater, C-S-H, dannes som den største bestanddelen (utgjør 50-60 % av herdet sement). Antagelsen er i overensstemmelse med at løseligheten til en sements silikatbestanddeler er mye lavere enn den er for karbonater og hydroksider. Derfor forekommer kalsiumhydroksid trolig oftere som Ca^{2+} -ionedonor enn som C-S-H.

Karbondioksid spiller som sagt en viktig rolle ved kalkutfelling i knust betong. Imidlertid er det ingen forgassing av overflødig karbondioksid som er den utløsende faktoren, i stedet er mangelen på CO_2 i laget med knust betong det primære. Porevannet i laget kan sies å være isolert fra atmosfærisk karbondioksid på grunn av den overliggende konstruksjonen.

Kalsiumhydroksid i den knuste betongen løses lett når det eksponeres for vann og skaper da høye konsentrasjoner av Ca^{2+} og OH^- ioner. Dette vises gjennom de høye pH verdiene som rapporteres i flere laboratoriestudier. Til tross av at overskudd av Ca^{2+} ioner er tilgjengelige i porevannet, blir dannelsen av kalsiumkarbonat begrenset uten en stor kilde av karbonat, CO_3^{2-} . Knust betong inneholder bare små mengder organisk materiale (til forskjell fra jord), og dette utelukker kullsyre som en stor karbonatdonator for vann inne i laget. Selv om en del kullsyre kommer inn i vegkroppen via regnvannet er det ikke tilstrekkelig for en storskala kalkutfelling som tillater Ca^{2+} konsentrasjonen å være stabilt høy. Når imidlertid lagets porevann når atmosfæren eksemplvis gjennom dreneringsrørene vil karbondioksid være en ubegrenset kilde til karbonat. Kalsiumkarbonat felles dermed ut:



Dannelsen av kullsyre og følgende utfelling av kalsiumkarbonat avspeiles i en tilsvarende senkning av pH. Både felt- og laboratoriemålinger rapporterer minskning av pH verdien med tiden for dreneringsvann fra knust betong.

Faktorer som påvirker oppløsning og utfelling med tanke på reaksjonshastigheten er [17]:

- Temperatur
- Størrelse, form og elektrisk ladning på reaksjonspartiklene
- Tid (kontaktid mellom vann og knust betong)

Studier fra Minnesota, Michigan og Ohio viser at bærelag av knust betong i kombinasjon med regnvann gir kalkutfellinger. Kalkutfellingen stjeler plass når lagets porevann når atmosfæren gjennom dreneringsledninger. Fenomenet har resultert i gjentetting av filtermaterialer, geotekstiler, utfellinger i dreneringsnett samt mye alkalisk dreneringsvann. På grunn av dette har noen amerikanske stater begrenset anvendelse av drenerende bærelag bestående av knust betong [17].

Forsøk i laboratorium og felt har vist at kalsiumholdige komponenter er til stede i resirkulert tilslag i tilstrekkelige mengder til å bli vasket ut når atmosfærisk karbondioksid er tilgjengelig. Alt resirkulert tilslag, uansett korngredning, er i stand til å produsere utfellinger i forskjellig grad. Utfellingspotensialet er direkte knyttet til mengde avdekket sementlim, og spesielt økt mengde av finstoff av sementlim. Fjerning av finstoffet eliminerer ikke utfellingspotensialet, men kan redusere det [18].

I [11] ble det også rapportert fra laboratorieundersøkelser på herdet betong som ble knust til finstoff og så tilsatt vann. Etterherdingen ble analysert med termogravimetrisk metode hvor den kjemiske sammensetningen til materialet når det ble knust og etter forskjellige perioder med etterherding ble sammenlignet. Det knuste materialet var reaktivt og dets økning i styrke var sammenlignbar med økning i hydratisering i fersk mørtel.

2.3.3 Gjenbruksprosjektets dokumentasjon av etterbinding

Etterherding i felt er også påvist i flere norske prosjekter de siste årene. Både på E6 Melhus, på Fornebu og ved St Olavs hospital i Trondheim er det lagt ut ubundet knust betong som forsterkningslag eller bærelag som har vist seg å få økt fasthet over tid.

Prosjektet på E6 Melhus har vært en del av Gjenbruksprosjektet, og de viktigste resultatene herfra er vist i kapittel 3. Mer utfyllende info om Melhus-prosjektet generelt finnes i Gjenbruksprosjektets rapport nr 12 "Gjenbruksvegen E6 Melhus" [19].

De viktigste resultater fra Fornebu og St Olavs hospital er presentert i Gjenbruksprosjektets rapport nr 11 "Gjenbruk av knust betong i vegbygging - Mekaniske egenskaper og testmetoder" [3]. Det henvises derfor til denne for nærmere detaljer om de prosjektene.

3 Feltforsøk med gjenbruksbetong med og uten finstoff

3.1 Målsetning

I Gjenbruksprosjektet inngår et antall demonstrasjonsprosjekter (DP6). Den overordnede målsettingen med disse er å få testet ut gjenbruksmaterialer i felt. Dette skjer både med demonstrasjoner av kjente løsninger og uttesting av nye bruksområder hvor vi mangler kunnskap og erfaring.

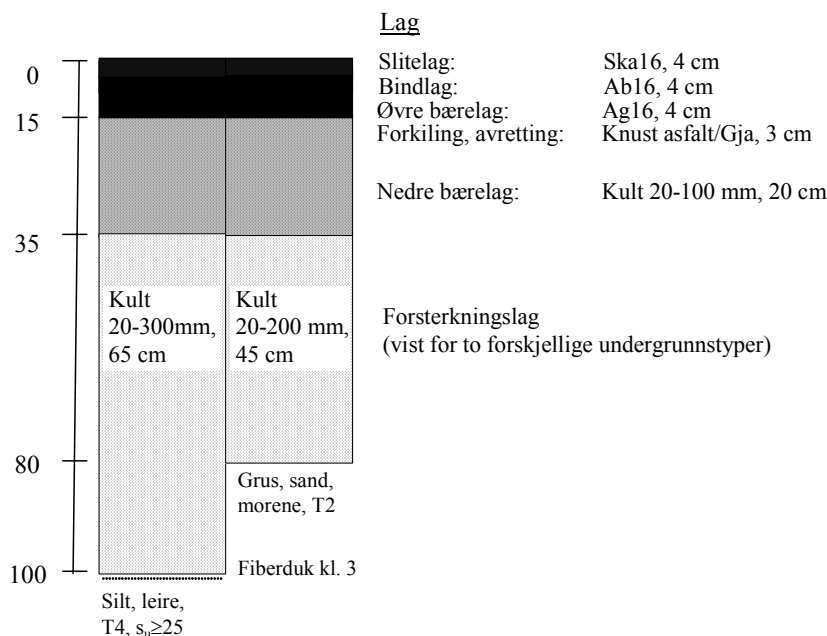
Det har vært viktig å samle erfaring fra den anleggstekniske utførelsen. I tillegg ønsker man å få mer informasjon om materialenes oppførsel under ulike trafikk- og klimapåkjenninger. Gjennom fullskala uttesting i felt er det også mulig å analysere problemer knyttet til økonomi, logistikk og miljøregnskap.

Når det gjelder effekter av finstoff i knust betong ble dette tatt inn som en del av forsøkene på E6 Melhus i Sør Trøndelag. Gjenbruksprosjektets aktiviteter på Melhus er for øvrig knyttet til utprøving av både knust betong i forsterkningslaget, knust asfalt som forkiling av bærelag og skumglass som frostsikring og drenering. I tillegg er det gjennomført selektiv riving av hus.

Arbeidene på E6 Melhus er beskrevet i sin helhet i Gjenbruksprosjektets rapport nr 12 "Gjenbruksvegen E6 Melhus" [19]. Mye av innholdet i avsnittene nedenfor er også rapportert i prosjektrapport 11 "Gjenbruk av knust betong i vegbygging - Mekaniske egenskaper og testmetoder" [3].

3.2 Om forsøksfeltene

Omlegging av E6 forbi Melhus sentrum (totalt 8 km ny veg) har vært et forholdsvis omfattende prosjekt som har bydd på flere anleggsmessige utfordringer. Vegen er dimensjonert for en trafikkmengde på ÅDT = 12500. Standard konstruksjonsoppbygging er vist i Figur 3.1.

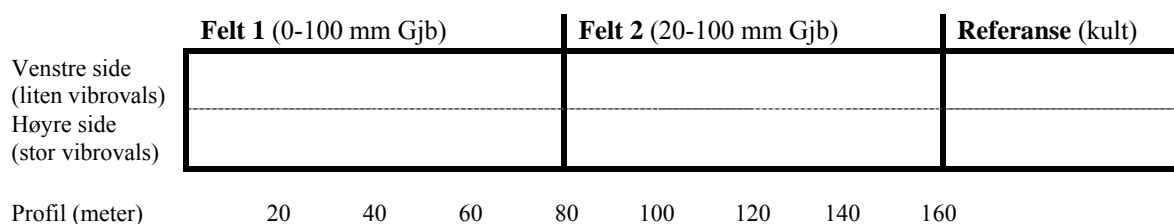


Figur 3.1: Prosjektert vegoverbygning på E6 Melhus

Arbeidene med forsterkningslag og nedre bærelag ble utført høsten 2003. Hoveddelen av asfaltarbeidene (dekke etc.) ble utført sommeren 2004.

På en parsell ca midt på strekningen (sør for Melhus sentrum) ble det lagt inn en alternativ konstruksjon hvor man byttet ut forsterkningslaget av kult med tilsvarende lagtykkelse av ubundet knust betong. Parsellen ble delt i to felt, hvert på ca 80 m, for å kunne sammenligne to forskjellige betongfraksjoner. På felt 1 (sør) la man inn en tett gradert fraksjon 0-100 mm (med finstoff), på felt 2 (nord) benyttet man en åpen fraksjon 20-100 mm (uten finstoff).

For å sammenligne komprimeringsegenskapene til materialene ble det brukt to forskjellige typer vals; hhv lett (6-7 tonns vibrovals) på venstre side og tung (15 tonns vibrovals) på høyre side, som skissert i Figur 3.2.



Figur 3.2: Skisse av forsøksfelt med knust betong, E6 Melhus

I anleggsperioden ble det gjort platebelastningsforsøk på utlagt forsterkningslag og falloddsmålinger etter at bindlaget av asfalt var lagt ut. Formålet med disse målingene var å sammenligne konstruksjonene og se på det bæreevnemessige bidraget fra forsterkningslaget av knust betong i forhold til standard pukk. Man ønsket også å se om man kunne måle forskjeller mellom feltene med tett og åpen gradering på betongen (0-100 mm kontra 20-100 mm).

Falloddsmålinger ble gjentatt våren 2005, ca 1½ år etter at vegen var ferdig.

Ved siden av målingene i felt ble det også gjennomført et testprogram i laboratorium med de samme massene.

Et utvalg av resultatene er oppsummert i de følgende avsnitt. For nærmere beskrivelser henvises det til publikasjonene i referanselisten; Gjenbruksprosjektets prosjektrapport nr 11 [3], artikler om Melhus-prosjektet utarbeidet til konferansene BCRA 2005 [20] og JMU Liverpool 2006 [21] samt SINTEFs rapport med detaljerte resultater fra felt- og laboratorieundersøkelsene [22].

3.3 Resultater

3.3.1 Utgangsmaterialet

Betongmaterialet som ble brukt stammet fra fabrikkbetong (vrakede betongelementer), samlet i lager hos Franzefoss Pukk (Lia Pukkverk), se Figur 3.3.



Figur 3.3: Utgangsmaterial for gjenbruksbetongen brukt på Melhus

Materialene ble kuttet opp og kjørt gjennom et mobilt knuseverk. Det meste av armeringen ble fjernet med magnetbånd (Figur 3.4). Materialet ble deretter grovsiktet til de to aktuelle fraksjonene, 0-100 mm og 20-100 mm, og transportert ut på vegen (Figur 3.5).



Figur 3.4: Materialproduksjon; knusing og fjerning av armering

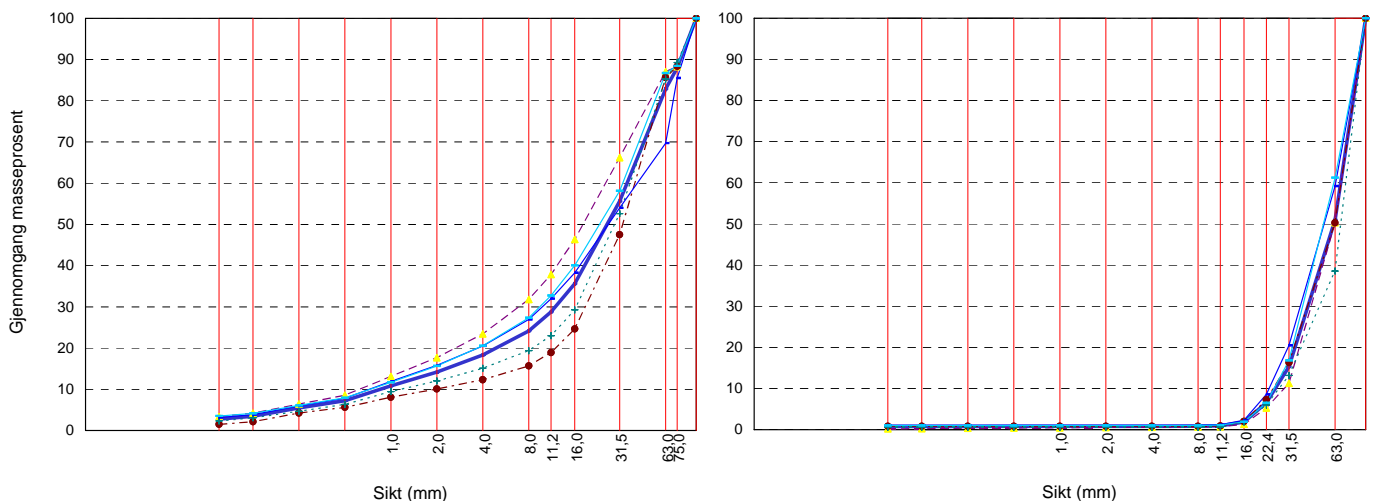


Figur 3.5: Materialproduksjon; utsiktning og transport

3.3.2 Siktekurver

Prøver uttatt av SINTEF på verket fra ferdig knust og fraksjonert material ga kornkurver som vist i Figur 3.6. For å se på variasjonene ble det siktet 5-6 prøver av hver fraksjon. Den tykke heltrukne kurven angir middelkurven, denne ble brukt som grunnlag ved sammensetning av material til senere treaks-forsøk.

Krav til siktekurve, graderingstall m m for forsterkningslag etter nye Håndbok 018 (2005) er vist i Tabell 3.1.



Figur 3.6: Siktekurver for knust betong uttatt på verk, fraksjon 0-100 mm og 20-100 mm

Tabell 3.1: Kornfordeling for Melhus-materialene sammenlignet med krav i Håndbok 018

FINSTOFFINNHOOLD	Finstoff (<0,075 mm) av total kurve	Finstoff (<0,063 mm) av material < 20 mm	Krav i h h t Håndbok 018 (2005)
Material 0-100 mm	2,8 %	6,2 %	maks 8 % < 0,063 mm (utlagt)
Material 20-100 mm	0,8 %	-	Ingen krav for åpne matr.
GRADERING (Cu)			
Material 0-100 mm	Cu = 44		Krav til Gjb: Cu > 15 for øvre forst.lag Cu > 5 for nedre forst.lag
Material 20-100 mm	Cu = 2,5		
MAKS STEINSTØRRELSE			
Material 0-100 mm	d max = 100 mm		Krav til Gjb: d max < 120 mm
Material 20-100 mm	d max = 100 mm		

3.3.3 Densitet og vannabsorpsjon

Betongens porøsitet skiller disse materialene fra normale tilslagsmaterialer. Vannabsorpsjon er således en viktig parameter som må tas hensyn til når man arbeider med materialene både i felt og i lab. Vannopptaket vil være forskjellig i finfraksjonen (mer mørtel, sement) kontra grovfraksjonen (mer stein), og standardene foreskriver derfor testing både på fin og grov fraksjon som vist i Tabell 3.2.

Tabell 3.2: Densitet og vannabsorpsjon, knust betong Melhus testet iht. EN 1097-6

Fraksjon	Partikkeldensitet, tilsynelatende (g/cm ³)	Partikkeldensitet, ovnstørket (g/cm ³)	Partikkeldensitet, overflatetørr (g/cm ³)	Absorbert vann (%)
0,075 - 4 mm	2,76	2,40	2,53	5,5
4 - 31,5 mm	2,78	2,51	2,61	3,9

Resultatet forteller at man må forvente at 4-6 % vann kan/vil forsvinne inn i tilslaget ved oppfukning, før man får en effektiv vannfilm på utsida. Finstoffdelen (< 4 mm) trekker mer vann enn grovdelen. Dette må det tas hensyn til både ved komprimering i felt og ved prøvetillaging og testing i laboratorium.

3.3.4 Simulering av nedknusing under trafikk

Gyrotorisk kompaktor som funksjonell testmetode på granulære materialer har vært forsøkt i noen tilfeller (bl.a. i EU-prosjektet ALTMAT), med lovende resultater. Det ble derfor gjennomført en gyrotorundersøkelse i laboratorium på gjenbruksbetongen fra Melhus, både på materialer med og uten finstoff. Man ønsket å se hvordan ulike variable knyttet til materialer og prosedyre påvirker densitetsutvikling, skjærmotstand og nedknusing. Nedknusingen ble vurdert gjennom å sammenligne siktekurver før og etter gyrotorforsøk.

Et prøveprogram ble satt opp der følgende variable inngikk:

- *Gradering*; tett kurve kontra åpen kurve (dvs med og uten finstoff). Gyrotoren er ikke stor nok til å teste de aktuelle fraksjonene 0-100 mm/20-100 mm direkte, materialene ble skalert ned slik at undersøkelsen omfattet fraksjonene 0-25 mm og 10-25 mm.
- *Vanninnhold*; tørt material kontra material oppfuktet til w_{opt} . Tilnærmet optimalt vanninnhold ble valgt ut fra Proctor-resultater; $w = 10\%$ for fraksjon 0-25 mm og $w = 6\%$ (anslått "optimalt") for fraksjon 10-25 mm.
- *Komprimeringsenergi*; 50 kontra 250 rotasjoner (lett kontra tung komprimering). Det ble kjørt med følgende innstilling på gyrotoren; arbeidstrykk 400 kPa og vinkel 1°.

Nedknusing ble uttrykt som gjennomgang på utvalgte sikt før og etter forsøk. Nærmere detaljer rundt disse kjøringene finnes i [3] og [22].

Kort oppsummert resulterte forsøkene i følgende observasjoner:

- *Gradering*: Materialet med "åpen kurve" (10-25 mm) knustes for det meste ned på de groveste kornene (sikt 10 og 16 mm). For materialet med finstoff (0-25 mm) var nedknusingen her marginal. Samtidig var generert finstoff målt på 1,6 mm siktet omtrent det samme for de to materialene. Det syntes altså som at nedknusingen av de grove partiklene resulterte i flere "halvgrove partikler", det ga seg ikke nevneverdig utslag i mer finstoff. Materialet med finstoff bygde (som ventet) opp høyere densitet enn materialet med åpen kurve ved samme mengde komprimering.
- *Vanninnhold*: Sammenligning tørre-våte prøver avdekket ingen nevneverdige forskjeller i nedknusing ved lett komprimering. De tørre prøvene var imidlertid mer utsatt ved tung komprimering. Spesielt for det åpne 10-25 mm materialet så man her demonstrert en klar gevinst av å sette til vann til materialet.

De oppfuktede prøvene fikk høyere densitet målt i gyratoren, men korrigert for vanninnholdet hadde de tørre og våte prøvene tilnærmet samme tørrdensitet.

- **Komprimeringsenergi:** Prøvene fikk bare 3-5 % økning i densitet når man økte fra 50 til 250 rotasjoner, derimot blir nedkusingen vesentlig større. Det er derfor god grunn til å sette spørsmålstegn ved gevinsten av tung komprimering på disse materialene. Økningen i nedkusing fra 50 til 250 syklere var gjennomgående størst for de tørre prøvene. Spesielt for det åpne 10-25 mm materialet så man her som nevnt en klar gevinst av vanntilsetting.

3.3.5 Stivhet og deformasjonsmotstand testet i treaks

En viktig del av laboratorieundersøkelsene på materialene fra E6 Melhus var testingen i NTNU/SINTEFs treaks-apparaturer. I disse forsøkene påføres sykliske belastninger som tilsvarer belastningen materialene vil ha som forsterkningslag i vegkroppen. Fra resultatene kan man utlede både *elastisk stivhet* og *motstand mot permanente deformasjoner*.

To ulike typer treaks er benyttet, henholdsvis med prøvestørrelse $d \times h = 300 \times 600$ mm (stor treaks) og $d \times h = 150 \times 220$ mm (liten treaks). Nærmere detaljer om utstyr, prosedyrer, resultater osv finnes i [3] og [22]. Nedenfor gjengis kort de viktigste resultatene.

Stor treaks

Prøvestørrelsen i stor treaks ($d = 30$ cm, $h = 60$ cm) gjør det mulig å teste materialer med kornstørrelse opp til ca 60 mm. For å se på forskjellene mellom Melhus-materialene med og uten finstoff ble det testet to ulike graderinger;

- 0-63 mm "velgradert material" med 3 % < 0,063 mm (2 prøver)
- 20-63 mm "grovt material" uten finstoff (2 prøver)

Prøvene ble komprimert med en spesiell vibroplate ved det "optimale" vanninnholdet og til tilnærmet samme densitet som målt i felt [3, 22]. Resultatene er oppsummert i Tabell 3.3.

Tabell 3.3: Resultater testing i stor treaks

Prøve	Testfraksjon	E-modul ¹ (MPa)	Lastford.- koeff. <i>a</i>	Elastisk tilstand Sin(ρ)	Bruddtilstand Sin(ϕ)
Velgradert 1	0-63 mm	350		0,63	> 0,70
Velgradert 2	0-63 mm	450		0,67	> 0,75
		400	1,26	0,65	> 0,72
Åpen 1	20-63 mm	400		0,50 ²	0,65 ²
Åpen 2	20-63 mm	650		0,78	> 0,87
		525	1,38	0,78	> 0,87

¹ middelspenning 200 kPa

² mindre vellykket forsøk, verdier utelatt i gjennomsnittet

Liten treaks

I en liten treaks (prøvediameter 150 mm, prøvehøyde ca 220 mm) må prøvematerialet skaleres ned når det er snakk om grove materialer. I praksis vil d_{\max} her kunne ligge på 25-30 mm.

På Melhus-materialet er fraksjonen 0-25 mm testet, dvs et nedskalert material med finstoffandel tilsvarende 3 % < 0,063 mm. I så måte er materialet i samsvar med både 0-63 mm materialet testet i stor treaks (Tabell 3.3) og materialet utlagt på vegen (Tabell 3.1). En åpen variant, uten finstoff, har ikke blitt testet i liten treaks.

Treaks-prøvene ble laget ved hjelp av gyrotorkompaktor (ICT 150 RD) etter valgt prosedyre for komprimering av granulære treaksprøver (arbeidstrykk 400 kPa, vinkel 1°, 400 rotasjoner), med tilnærmet optimalt vanninnhold (10 %).

I tillegg til å teste nylagede ”ferske” prøver ble det også laget noen prøver som ble satt til kondisjonering en tid før testing. Dette for å se eventuelle målbare effekter av ”etterherding” av materialet. Resultatene er oppsummert i Tabell 3.4.

Tabell 3.4: Resultater testing i liten treaks

Prøve	Testfraksjon	E-modul ¹ (MPa)	Lastford.- koeff. <i>a</i>	Elastisk tilstand Sin(ρ)	Bruddtilstand Sin(ϕ)
Nr 2 ”fersk”	0-25 mm	345	1,20	0,35	0,45
Nr 5 ”fersk”	0-25 mm	320	1,17	0,27	0,36
		333	1,19	0,31	0,41
Nr 4 45 døgn kond.	0-25 mm	480	1,34	0,42	0,49
Nr 6 100 døgn kond.	0-25 mm	880	1,64	0,42	0,50
Ref Hovinmoen Gk		ca 110	1,00	0,16	0,32
Ref Åndalen Fk		ca 250	1,35	0,30	0,60

¹ ved middelspenning 200 kPa

Elastisk stivhet

Resultatene viser at stivhetsverdiene er høye sammenlignet med ordinære grus-/pukkmaterialer. For prøver testet umiddelbart etter komprimering ligger verdiene for elastisk stivhet ved 200 kPa middelspenningsnivå i området $E = 300-500 \text{ MPa}$ (høyest verdi for grovmassen 20-63 mm).

Uttrykt som lastfordelingskoeffisient tilsvarer dette $a = 1,2-1,4$.

For prøver lagret en tid etter komprimering (fra 45-100 døgn) øker stivheten målt i liten treaks fra $E = 330 \text{ MPa}$ (initialverdi) til $E = 480-880 \text{ MPa}$.

Uttrykt som lastfordelingskoeffisient tilsvarer dette $a = 1,34-1,64$.

Deformasjonsmotstand

Treaksforsøkene gir også data om prøvenes evne til å motstå permanente deformasjoner.

Resultatene fra stor treaks viser at både bruddgrensen og grensen for elastisk oppførsel er svært høy sammenlignet med normale ubundne bære- og forsterkningslagsmaterialer. Dette indikerer god stabilitet og stor motstand mot permanente deformasjoner, sporutvikling etc. Også her oppviser det grove materialet (testfraksjon 20-63 mm) de høyeste/beste verdiene.

Resultatene fra liten treaks (material 0-25 mm) er ikke så gode. Her ligger både bruddgrense og elastisk grense vesentlig lavere enn i stor treaks, og også delvis lavere enn tilsvarende målinger på gode pukkmaterialer. Men her begynner også forskjellen til felt (0-100 mm) å bli forholdsvis stor. Når det gjelder etterherding ser man også når det gjelder deformasjonsmotstand en markant økning for prøvene som har vært lagret en tid før testing. Dette indikerer at både stivhet og stabilitet for forsterkningslaget vil øke i tiden etter utlegging og komprimering. (Tilsvarende forsøk på prøver uten finstoff er ikke utført.)

Stor kontra liten treaks

Årsaker til forskjellene i resultater mellom stor og liten treaks ligger sannsynligvis i ulik kornfordeling og i den kompakteringsenergien som er tilført. Uligheter i materialsammensetning (f eks 0-25 mm kontra 0-63 mm) vil ha større innvirkning på deformasjonsegenskapene enn på elastiske egenskaper. Det er et poeng å få testet materialet så likt det virkelig utlagte som mulig. Eksempelvis; er det utlagt material 0-25 mm, kan både stor og liten treaks gi realistiske resultater. Men er det som på Melhus utlagt 0-100/20-100 mm, vil nok stor treaks være mer relevant da testfraksjonene 0-63 mm/20-63 mm

er nærmere opp til felt. Derfor er det også viktig at man ved vurdering av laboratorieresultater alltid er oppmerksom på hvilket material, dvs testfraksjon, forsøkene er basert på!

3.3.6 Bæreevne

Et utvalg av resultatene fra målinger av E-modul (ved platebelastning) og bæreevne (ved fallodd) er vist i Tabell 3.5, Tabell 3.6 og Tabell 3.7. Det er etterregnet E-moduler fra bæreevne målinger med fallodd utført i april 2005, dvs ca 1,5 år etter utlegging av forsterkningslaget. Falloddmålinger skal etter planen gjentas periodisk framover for å følge opp videre utvikling/ending i bæreevne og stivhet. Det samme gjelder for spor og jevnhet.

Tabell 3.5: Platebelastningsforsøk E6 Melhus, rett etter utlegging og 6 måneder senere

	Stivhetsmodul E2 (MPa)			
	På forsterkn.lag (des 2003)		På avrettingslag (juni 2004)	
	Venstre side	Høyre side	Venstre side	Høyre side
Felt 1 (Gjb 0-100)	-	-	406	363
Felt 2 (Gjb 20-100)	146	128	262	294
Referanse (knust fjell/kult)	148	134	301	305

Tabell 3.6: Bæreevne måling med fallodd E6 Melhus (hhv. 6 og 8 måneder etter utlegging)

	Bæreevne (tonn) ¹			
	På avrettingslag (juni 2004)		På topp dekke (aug 2004)	
	Venstre side	Høyre side	Venstre side	Høyre side
Felt 1 (Gjb 0-100)	10,5	8,9	16,6	17,8
Felt 2 (Gjb 20-100)	9,0	7,9	15,3	15,6
Referanse (knust fjell/kult)	9,1	8,4	15,7	16,1

¹ Noe usikkerhet knyttet til lagtykkelser på avrettingslag m m

Tabell 3.7: Etterberegnete E-moduler for forsterkningslaget (1,5 år etter utlegging)

	Etterberegnet E-modul (MPa) fra falloddmålinger april 2005		
	Venstre side	Høyre side	Gj.snitt
Felt 1 (Gjb 0-100)	904	875	889
Felt 2 (Gjb 20-100)	344	275	310
Referanse (knust fjell/kult)	171	145	158

Kort oppsummert ser man følgende resultater:

- Målingene som ble utført like etter utlegging viser at forsterkningslagene av Gjb og knust fjell hadde tilnærmet samme bæreevne/stivhet fra starten av (litt usikkert for Gjb 0-100 mm da man her mangler initialmålinger).
- Målinger utført i ettertid viser større forskjeller, det er tydelig at feltene med knust betong har blitt sterkere enn den ordinære overbygningen. E-modul beregningene i 2005 viser også at parsellen med Gjb 0-100 (med finstoff) har fått en vesentlig større stivhetsøkning enn parsellen med Gjb 20-100 (uten finstoff).
- Bæreevne og E-modul for forsterkningslag er gjennomgående høyere for venstre side av vegen enn for høyre side. Venstre side ble komprimert med liten vals og høyre side med stor vals (Figur 3.2). Ut fra disse resultatene virker det ikke å være noen fordel med ekstra tungt komprimeringsutstyr på denne typen masser.



Figur 3.7: Forsøksstrekning på E6 Melhus, høsten 2004

3.4 Oppsummering av styrkeegenskaper, Gjb med og uten finstoff

Feltforsøkene på Melhus har muliggjort sammenligning av to forsterkningslagsmaterialer av knust betong, en Gjb 0-100 mm (med finstoff) og Gjb 20-100 mm (uten finstoff). Finstoffinnholdet for 0-100 massen var ca 15 % < 4 mm og ca 3 % < 0,063 mm.

Testing videre i lab ble utført på prøver med tilsiktet samme finstoffinnhold (bare d_{maks} ble redusert for å tilpasses testutstyret).

Undersøkelsene i laboratorium og i felt har avdekket følgende vedrørende effekter av finstoffet:

- Bestemmelse av densitet og vannabsorpsjon avdekker forskjeller i egenskaper mellom fin og grov fraksjon. Finstoffdelen < 4 mm tar opp mer vann (ca 6 %) enn delen > 4 mm (ca 4 %). Dette forklares ved at den fine delen inneholder mer porøse materialer, mørtel, sement etc.
- Simulerte nedknusingsforsøk ved hjelp av gyrotorisk kompaktor viser at det grove materialet (uten finstoff) er mer utsatt for nedknusing på/i vegen enn materialet med finstoff. Vanninnhold og komprimeringsenergi har betydning for hvor stor denne nedknusingen blir. Tørt og grovt material er mest utsatt, spesielt når det brukes tung komprimering. Tilstrekkelig komprimering, uten skadelig nedknusing, kan oppnås med bruk av lett utstyr og godt oppfuktet material.
- Testing av styrkeegenskaper i treaks viser gode egenskaper både for åpent og tett material. Elastisk stivhet og deformasjonsmotstand er for begge varianter fullt på høyde med gode pukkmaterialer. I stor treaks (disse prøvene er nærmest in-situ tilstand) oppviser den grove varianten uten finstoff høyest verdier (nylagde prøver).
- Kondisjonering (oppfuktete prøver, innpakket i plast, lagring i romtemperatur) i 45-100 døgn før testing gir et annet resultat. På disse prøvene er det påvist en markant økning i både E-modul (stivhet) og grensevinkel (deformasjonsmotstand) i forhold til ”fersk” tilstand. Disse forsøkene er bare kjørt på det finstoffholdige materialet. I hvor stor grad tilsvarende effekter gjør seg gjeldende for åpent gradert material er ikke målt.

- Målinger med fallodd på vegen 1,5 år etter utlegging gir resultater som peker i samme retning. Etterberegning av lagvise E-moduler viser at begge betongfeltene (forsterknings-lagene) har fått en stivhetsøkning i forhold til referansematerialet av kult. Og økningen er klart mest markant for material 0-100 mm (med finstoff).
- Falloddmålingene viser også at det ikke er noen åpenbar gevinst av å bruke tungt komprimeringsutstyr på betongen. Faktisk har materialene som ble komprimert med lett vals (6 tonn) minst like stor stivhet som materialene komprimert med tung vals (15 tonn).

Egenskapene knyttet til frost og tele er ikke dekket av disse undersøkelsene, men material fra Melhus har inngått i separate teleforsøk (se kapittel 4).

4 Undersøkelse av teleegenskaper i lab

I områder med frost og kaldt klima kan det oppstå betydelige problemer knyttet til telehiv og redusert bæreevne i teleløsningen. Frostinduserte spenninger kan også gi skader på konstruksjoner som ligger i telefarlig jord.

Mange faktorer har betydning for hvorvidt et material vil være telefarlig eller ikke; mineralogi, porestruktur, finstoffinnhold m m. Med knust betong føles kanskje usikkerhetene ekstra store da vi har lite erfaringer med slike materialer i overbygningen generelt. Høy porøsitet kan gi rom for høyt vannopptak og dermed også teleskytende evne. Samtidig kan den samme porestrukturen kanskje drenere bort overskuddsvann mer effektivt slik at bæreevnesvikten i teleløsningsperioder blir mindre.

Slike spørsmål har vært bakgrunnen for at Gjenbruksprosjektet har gjennomført innledende undersøkelser av teleegenskaper på et utvalg gjenbruksmaterialer i NTNU/SINTEFs laboratorium og sammenlignet resultatene med henholdsvis telefarlige og telesikre naturmaterialer.

Det følgende er hentet fra SINTEFs notat fra disse undersøkelsene, utført for delprosjekt DP3-5 i 2005. Våren 2006 ble forsøkene verifisert og supplert gjennom Per Otto Aursands masteroppgave ved NTNU [23].

4.1 Innledning

De viktigste vegtekniske problemene knyttet til frost og tele er telehiving og redusert bæreevne i teleløsningen. I tillegg kommer problemer knyttet til fundamentering.

- **Telehiving** oppstår ved at vatn blir sugd opp til frysefronten og der fryser ut som islinser. I et telefarlig material vil det her kunne dannes en likevekt mellom kontinuerlig vannoppsug og utfrysing. Pågår dette over lengre tid resulterer det i kraftig volumøkning og tilsvarende løfting av veggen. På grunn av variasjoner i jordartsforhold, grunnvannstilførsel og frost blir telehivingen ofte så ujevn at den kan skade vegkonstruksjonen og være til stor ulempe for trafikken.
- **Redusert bæreevne** oppstår i teleløsningen når det oppsugde vatnet i frostsone smelter. Bæreevnen svikter da i takt med at de enkelte lag i vegkroppen bløtes opp av smeltevatnet. Store skader kan oppstå før utdrenering, rekonsolidering og ny komprimering fra trafikken gjør at veggen gradvis vinner tilbake normal bæreevne.
- **Fundamenteringsproblemer** kan oppstå med rør og konstruksjoner i frostsone. Hvis konstruksjonene ligger i telefarlig jord kan de skades av de store telehivingskreftene. Det er derfor behov for telefri fundamentering av bruer og sikring av støttemurer, underganger og stikkrenner mot skadelige telehiv.

4.2 Telekriterier

Mange faktorer har betydning for hvorvidt et material vil være telefarlig eller ikke, så som mineralogi, permeabilitet, struktur, poresystem, finstoffinnhold m m. Å kontrollere alle disse parameterne vil (om mulig) være svært komplisert og ressurskrevende. Som basis for enkle praktiske vurderinger av telefarlighet er det derfor vanlig å i første rekke se på korngraderingen.

De viktigste telekriteriene basert på kornfordeling er som følger.

Casagrande

Arthur Casagrande (USA 1931) påviste at det ikke oppstod vesentlige teleproblemer i veger når jordartene i grunnen hadde karakteristisk porediameter $> 0,01$ mm. Ut fra sammenhenger mellom porestørrelse og kornfordeling framkom dermed følgende telekriterium.

Tabell 4.1: Casagrandes telekriterium

Graderingstall C_u	Finstoff < 0,02 mm	Klassifisering
< 5	< 10 %	Ikke telefarlig
< 5	> 10 %	Telefarlig
> 15	< 3 %	Ikke telefarlig
> 15	> 3 %	Telefarlig

Beskow

Gunnar Beskow (Sverige 1935) framsatte følgende kriterium for hvor telefarlig en jordart er med tanke på vegbygging.

Tabell 4.2: Beskows telekriterium

»Tjälfarlighetsgruppe»	Genomsnittlig kornstørrelse	Mængd passerande sikt		Kapillarietet KF	Hygroskopisitet W_h	
		mm	0.062 mm			0.125 mm
0. Under inga omständigheter tjälfarliga	Sediment	0.1	< 30 %	< 55 %	< 1	—
	Moräner ¹	—	< 15 %	< 22 %		—
1a. Fara för tjälskjutning och jordflytning endast i markytan (slänker etc.) och vid mycket högt grundvattenstånd	Sediment	0.1—0.07	30—50 %	—	1—1 ³ / ₄	—
	Moräner ¹	—				—
1b. D:0; dessutom fara för vägtjälskador vid ovanligt högt vattenstånd (och långsam tjälning)	Sediment	0.08—0.05	15—25 %	22—36 %	1 ¹ / ₄ —2 ¹ / ₂	—
	Moräner ¹	—				—
2. Normalt tjälskjutande, samt tjälskottsbildande vid grundvattendjup < 1 ¹ / ₂ m (moräner < 1 m)	Sediment	< 0.05	> 50 %	—	2—ca 20	< 5 (särskilt 1—4)
	Moräner ¹	—	> 25 %	> 36 %		
3. Tjälskjutande men ej tjälskottsfarliga leror	(Sediment)	—	—	—	ca 20—?	5—(10?)
4. Varken tjälskjutande eller tjälskottsfarliga, styva leror	(Sediment)	—	—	—	?	> 10?)

¹ Avser moräner av ungefär normal sorteringstyp (utan utpräglade maxima).

För de moräner som i sin sammansättning närma sig sedimenten gälla motsvarande mellanvärden.

Tabellen kan synes noe komplisert, men hovedsakelig opererer Beskow med tre jordartsgrupper;

- Ikke telefarlige (0)
- Delvis telefarlige (1a, 1b, 3, 4)
- Telefarlige (2)

Nordal

Rasmus Nordal (Norge 1960) la grunnlaget for den teleklassifisering som vi i dag bl a finner i det norske dimensjoneringsystemet for veger. Dette systemet tar både hensyn til teleskytende evne og bæreevne i teleløsningen.

Tabell 4.3: Nordals telekriterium ("norsk telekriterium")

Klassifisering		Vekt-% av material < 20 mm				
		< 0,002 mm		< 0,02 mm		< 0,2 mm
Ikke telefarlig	T1			< 3		
Litt telefarlig	T2			3 – 12		
Middels telefarlig	T3	> 40	eller	> 12	og	< 50
Mye telefarlig	T4	< 40	og	> 12	og	> 50

USCS

Unified Soil Classification System (USA 1950) delte materialene inn i grupper som vist i tabell 6.4. Materialer med mindre enn 3 vekt-% finstoff under 0,02 mm anses som telesikre materialer.

Tabell 4.4: Teleteknisk inndeling etter Unified Soil Classification System

Klassifisering		Jordart	Vekt-% < 0,02 mm
Ikke telefarlig			0 – 3
Ikke til litt telefarlig	F1	Grusige materialer	3 – 20
Litt telefarlig	F2	Sand	3 – 15
Middels telefarlig	F3	Grusige materialer Sand unntatt svært fin siltig sand Leire $I_p > 12$	> 20 > 15
Mye telefarlig	F4	Silt og sandig silt Svært fin siltig sand Leire $I_p < 12$ Lagdelt leire og andre finkornede avleiringer	> 15

Lagdelt leire, silt og andre finkornige avleiringer klassifiseres etter den mest telefarlige fraksjon da lagdelt grunn er mer telefarlig enn homogene masser.

4.3 Metode for undersøkelse av teleegenskaper i laboratorium

Følgende betingelser må alle være til stede for at det skal oppstå telehiv og teleskader:

- Frost
- Vann
- Telefarlig material

Disse faktorene søker man derfor også å kontrollere gjennom fryseforsøk i laboratorium.

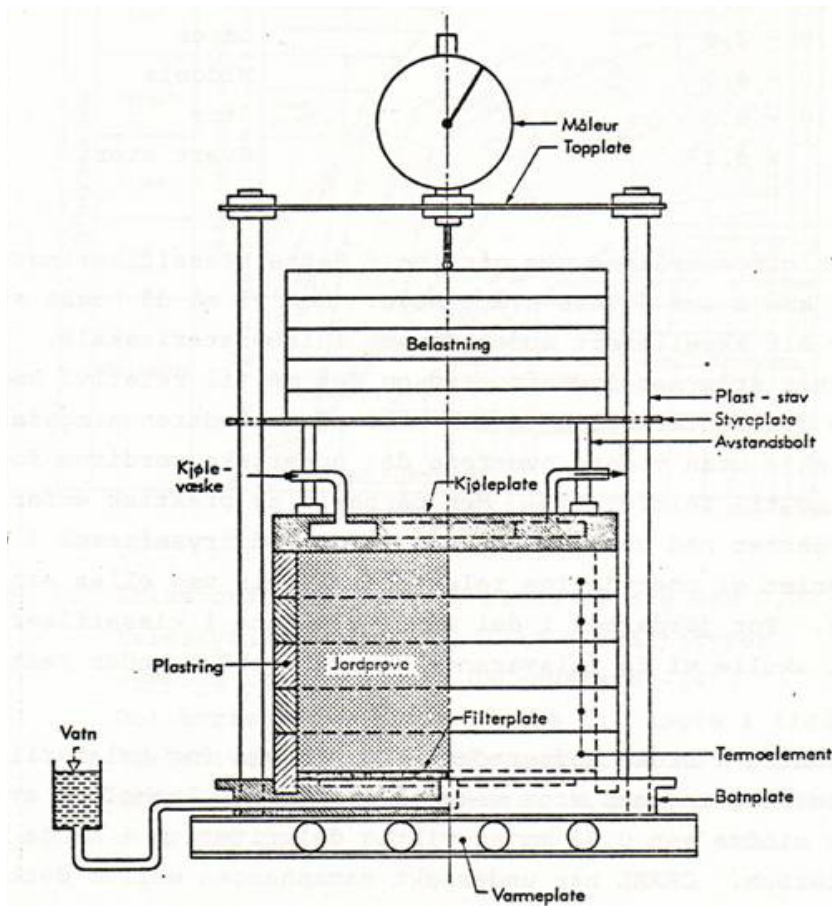
Ulike metoder har blitt utviklet for testing av telefarlighet. Den kanskje viktigste metoden, som også er basis for metoden som har blitt brukt på NTNU/SINTEF, er utviklet av Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL) i USA.

I dette standardiserte fryseforsøket bygges materialet inn i en form som vist på figur 4.1. Materialet blir normalt mettet med vann og gitt en standardisert komprimeringsgrad. Grunnvannsstanden stilles i underkant av prøven og materialet gis en belastning på toppen som skal simulere vekten av et 15 cm tykt dekke.

Veggen i den sylindriske formen er delt opp i ringer som kan løfte seg i takt med telehivingen. På den måten blir veggfriksjonen stort sett eliminert. Prøven fryses fra toppen og nedover med en tilsiktet hastighet på frysefronten på 5-20 mm/døgn. Telehivingen avleses på et måleutrustning på toppen av innbyggingsforma.

Basert på erfaringer er det etablert en klassifisering av materialet etter registrert telehiv som vist i tabell 6.5.

Nærmere beskrivelser av selve forsøket er gitt i vedlegg 1.



Figur 4.1: Laboratorieform for fryseforsøk

Tabell 4.5: Vurdering av fryseforsøk

Gjennomsnittlig telehiv (mm/døgn)	Klassifisering (teleskytende evne)
0 – 0,5	Ubetydelig
0,5 – 1,0	Svært liten
1,0 – 2,0	Liten
2,0 – 4,0	Middels
4,0 – 8,0	Stor
> 8,0	Svært stor

4.4 Teleundersøkelse på gjenbruksmaterialer, utførte forsøk

Som en aktivitet under Gjenbruksprosjektet DP3 Betong er det gjort teleforsøk i laboratorium på et sett prøver i henhold til metoden beskrevet i kapittel 4.3. Prosedyren er litt modifisert i forhold til CRREL ved at NTNU/SINTEF-utstyret opererer med litt avvikende temperaturer i platene. (Topplatetemperaturen er $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ i NTNU/SINTEFs utstyr mens CRREL har fleksibel topplatetemperatur for å få frostpenetrasjon på 5-20 mm/døgn. Bunnplatenes temperatur ved NTNU/SINTEF er $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ mens CRREL har $3\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Det er benyttet to ulike gjenbruksmaterialer i forsøkene;

- Knust betong av samme opphav som den som ble brukt i forsøksfeltene på Melhus (nedknust fra lagerhaug av elementbetong, Lia pukkverk Trondheim)
- Knust betong/tegl fra BA Gjenvinning sitt anlegg i Oslo (handelsprodukt, blandede masser)

Som referansematerialer er det brukt både en telefri sand (Ramlo) og en telefarlig silt (Klæbu). Nærmere beskrivelser av materialene med kornkurver er gitt i vedlegg 2. Partikkeldensiteter er oppsummert i tabell 4.6.

Tabell 4.6: Materialer til teleforsøk, spesifikk vekt (partikkeldensitet)

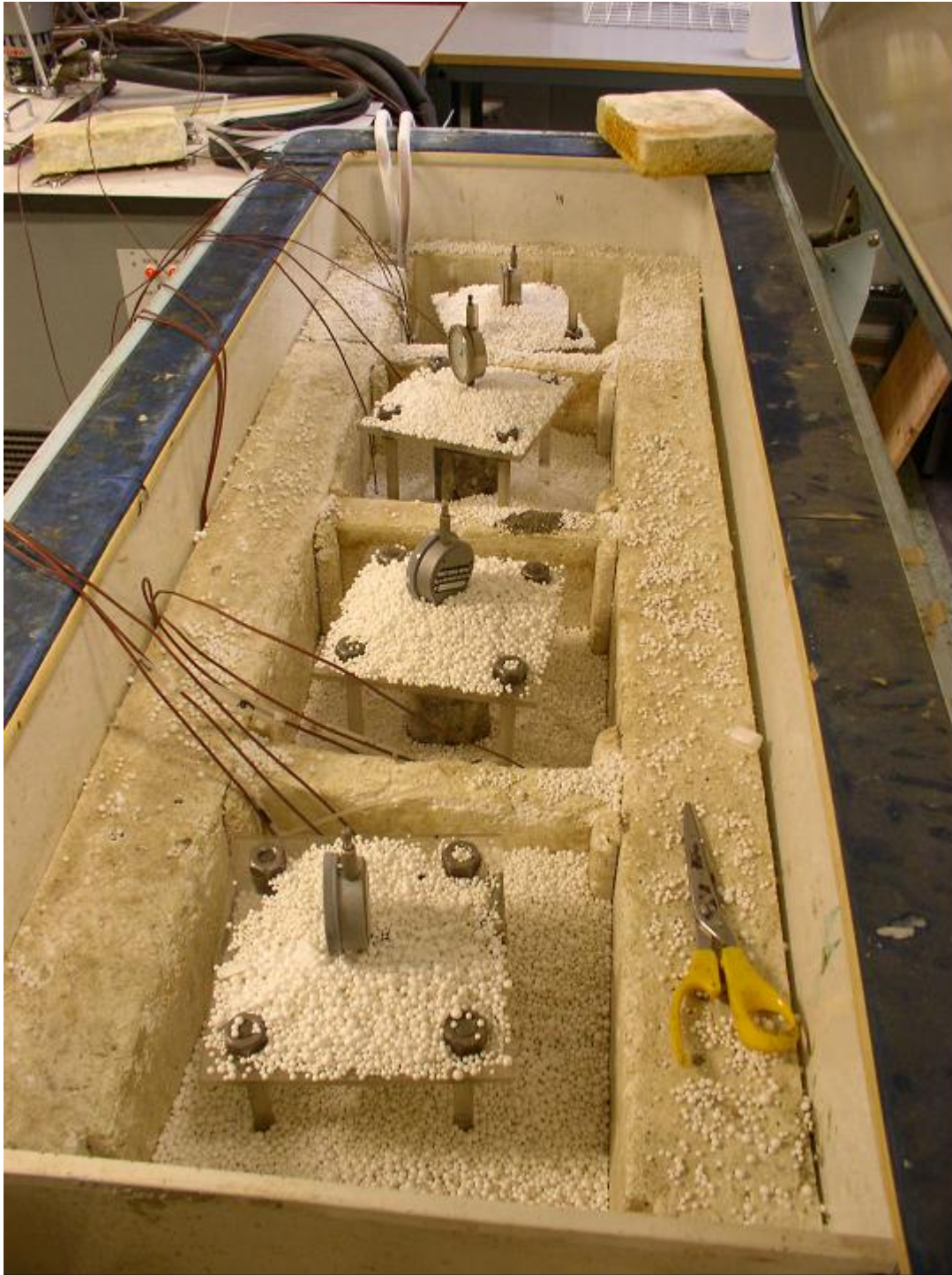
	Partikkeldensitet (g/cm^3)			Absorbert vann (%)
	Tilsynelatende	Overflatetørr	Ovnstørket	
Gjb Melhus 0-10 mm	2,83	2,61	2,49	4,9
Gjb Melhus 0-20 mm	2,84	2,61	2,48	5,1
Gjb BA Gjenv 0-11 mm	2,67	2,35	2,16	8,9
Klæbu silt			2,73	
Ramlo sand			2,73	

Utstyret ved NTNU/SINTEF har en begrensning på 4 prøver i hvert forsøk. Bilde av fryseboksen med monterte prøver er vist i figur 4.2.

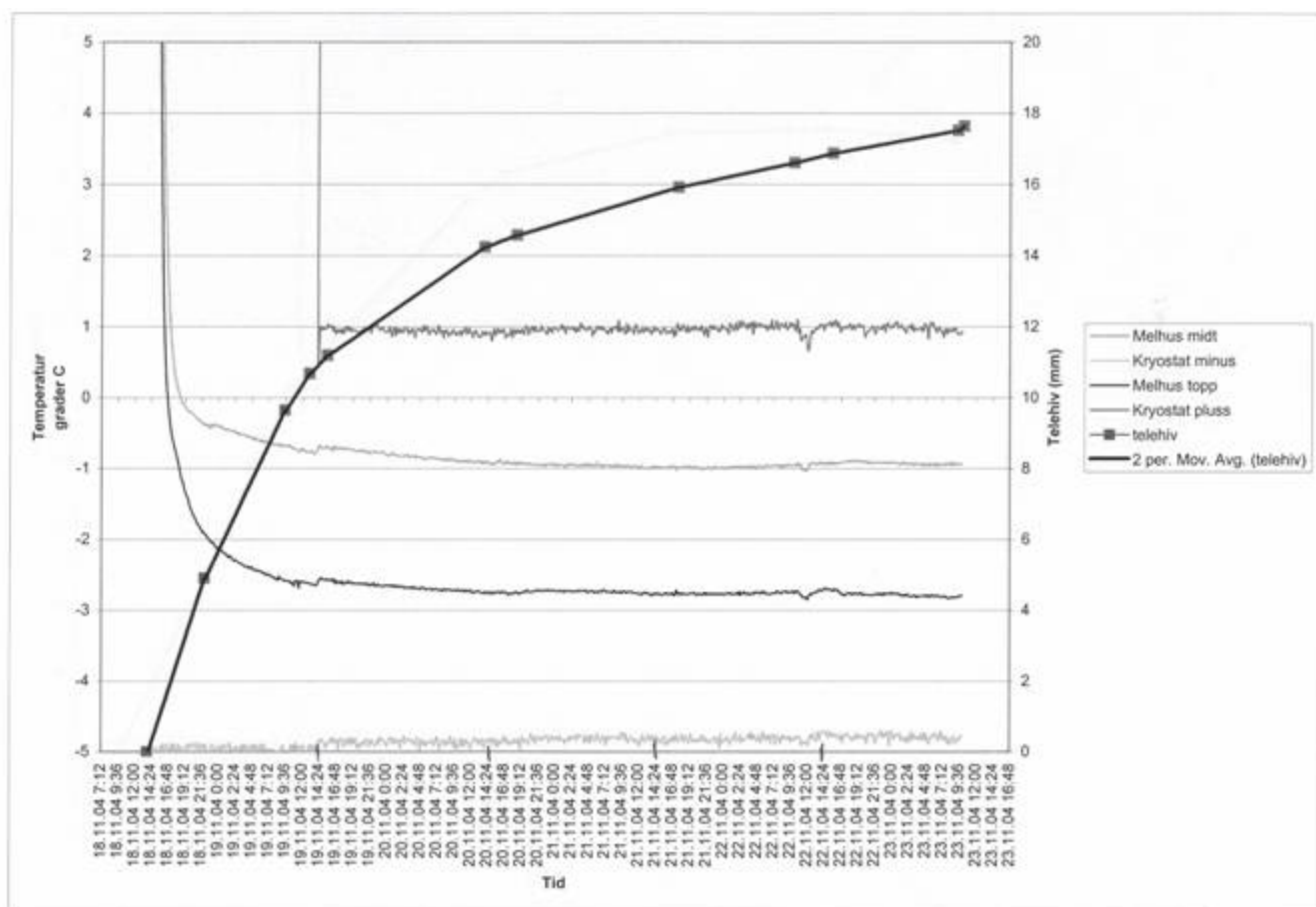
Det er kjørt 4 forsøksserier á 4 prøver. Gjennom forsøkets gang registreres akkumulert heving (telehiv) for hver prøve. Temperaturer i ulike nivå logges kontinuerlig. Et eksempel på måleresultat er vist i figur 4.3. Prosedyre for forsøkene framgår for øvrig av vedlegg 3, her er også arbeidsgangen vist med fotos.

Nærmere oversikt over utførte forsøksserier er vist i tabell 4.7.

Det må presiseres at resultatene fra de finkornige materialene som har inngått i dette forsøket ikke kan relateres direkte til de materialene som er brukt på E6 Melhus. Der ble det lagt ut grove materialer, hhv fraksjon 0-100 mm og 20-100 mm.



Figur 4.2: Fryseboks for teleforsøk ved NTNU/SINTEF



Figur 4.2: Eksempel på detaljert resultatutskrift fra teleforsøk (kurvene angir ovenfra henholdsvis akkumulert telehiv, temperatur i bunnen, i midten og øverst i prøven samt temperatur i fryseplaten på toppen)

Tabell 4.7: Oversikt over utførte teleforsøk i Gjenbruksprosjektet

Serie I	Gjb Melhus 0-20 mm Gjb BA Gjenvinning 0-11 mm Sand Ramlo Silt Klæbu	Referansematerial T1 Referansematerial T4	
Serie II	Gjb Melhus 0-20 mm Gjb BA Gjenvinning 0-11 mm Sand Ramlo Silt Klæbu	Referansematerial T1 Referansematerial T4	Serie II er identisk med serie I (for verifikasjon)
Serie III	Gjb Melhus 0-10 mm (a) Gjb Melhus 0-10 mm (b) Gjb BA Gjenvinning 0-11 mm Silt Klæbu	Referansematerial T4	Gjb Melhus fra serie I og II frasiktet 10-20 mm for sammenligning med mat. fra BA Gjenvinning
Serie IV (lagret 100 døgn)	Gjb Melhus 0-10 mm Gjb BA Gjenv 0-11 mm (a) Gjb BA Gjenv 0-11 mm (b) Silt Klæbu	Referansematerial T4	Serie IV stort sett lik serie III (men med mellom-lagring for å se på ev effekt av herding)

4.5 Teleundersøkelse på gjenbruksmaterialer, resultater

4.5.1 Vurdering ut fra korngradering

Siktekurvene for de ulike materialene som har inngått i prosjektet er vist i vedlegg 2. En vurdering av disse opp mot de vanlige telekriteriene (se kapittel 4.2) gir følgende klassifisering av materialene.

Tabell 4.8: Klassifisering etter Casagrandes telekriterium

Material	Graderingstall C_u	Andel material < 0,02 mm	Klassifisering
Melhus 0-20 mm	18	2-4 %	På grensen (ikke telefarlig?)
Melhus 0-10 mm	35	3-5 %	På grensen (telefarlig?)
BA Gjenv 0-11 mm	14	2 %	Ikke telefarlig
Silt Klæbu (ref)	5	40 %	Telefarlig
Sand Ramlo (ref)	8	0 %	Ikke telefarlig

Tabell 4.9: Klassifisering etter Beskows telekriterium

Material	D_{50} (mm)	Andel material < 0,125 mm	Andel material < 0,062 mm	Klassifisering
Melhus 0-20 mm	2,2	10 %	7 %	Ikke telefarlig (klasse 0)
Melhus 0-10 mm	2,5	12 %	10 %	Ikke telefarlig (klasse 0)
BA Gjenv 0-11 mm	1,8	6 %	4 %	Ikke telefarlig (klasse 0)
Silt Klæbu (ref)	0,025	92 %	83 %	Telefarlig (klasse 2)
Sand Ramlo (ref)	0,67	13 %	0 %	Ikke telefarlig (klasse 0)

Tabell 4.10: Klassifisering etter Nordals telekriterium

Material	Andel material < 0,2 mm	Andel material < 0,02 mm	Andel material < 0,002 mm	Klassifisering
Melhus 0-20 mm	11 %	2-4 %	1 %	Ikke/litt telefarlig T1/T2
Melhus 0-10 mm	14 %	3-5 %	1 %	Litt telefarlig T2
BA Gjenv 0-11 mm	9 %	2 %	0 %	Ikke telefarlig T1
Silt Klæbu (ref)	95 %	40 %	3 %	Mye telefarlig T4
Sand Ramlo (ref)	22 %	0 %	0 %	Ikke telefarlig T1

Tabell 4.11: Klassifisering etter Unified Soil Classification System

Material	Andel material < 0,02 mm	Klassifisering
Melhus 0-20 mm	2-4 %	Ikke til litt telefarlig F1
Melhus 0-10 mm	3-5 %	Ikke til litt telefarlig F1
BA Gjenv 0-11 mm	2 %	Ikke telefarlig
Silt Klæbu (ref)	40 %	Mye telefarlig F4
Sand Ramlo (ref)	0 %	Ikke telefarlig

4.5.2 Vurdering ut fra fryseforsøk

Akkumulerte telehiv for materialene som har gjennomgått fryseforsøkene er vist i tabell 4.12. En vurdering av resultatene ut fra metodens telekriterier (jfr tabell 4.5) er vist i tabell 4.13.

Tabell 4.12: Resultater fra utførte telehivforsøk

	Material	Akkumulerte telehiv (mm)				Pr døgn	
		1 døgn	2 døgn	3 døgn	4 døgn	Maks	Snitt
Serie I	Gjb Melhus 0-20 mm	11	14	16	17	11	4,3
	Gjb BA Gjenv 0-11 mm	5	8	9	9	5	2,3
	Silt (ref)	4	7	9	10	4	2,5
	Sand (ref)	2	2	1	1	2	0,3
Serie II	Gjb Melhus 0-20 mm	5	8	9	10	5	2,5
	Gjb BA Gjenv 0-11 mm	3	7	8	9	3,5	2,3
	Silt (ref)	2	5	6	7	2,5	1,8
	Sand (ref)	2	3	3	2	2	0,5
Serie III	Gjb Melhus 0-10 mm (a)	4	6	8	9	4	2,3
	Gjb Melhus 0-10 mm (b)	5	7	8	9	5	2,3
	Gjb BA Gjenv 0-11 mm	3	5	6	7	3	1,8
	Silt (ref)	2	5	6	7	2,5	1,8
Serie IV (lagret 100 døgn)	Gjb Melhus 0-10 mm	10	15	17	19	10	4,8
	Gjb BA Gjenv 0-11 mm (a)	6	8	9	9	6	2,3
	Gjb BA Gjenv 0-11 mm (b)	3	4	5	6	3	1,5
	Silt (ref)	15	21	25	27	15	6,8

Tabell 4.13: Klassifisering og vurdering av teleegenskapene

Material	Serie	Registrerte telehiv (mm/døgn)		Klassifisering (teleskytende evne)
		Maks-døgn	Gjennomsnitt over 4 døgn	
Melhus 0-20 mm	I	11	4,3	Svært stor / stor
	II	5	2,5	Stor / middels
Melhus 0-10 mm	III	5	2,3	Stor / middels
	IV	10	4,8	Svært stor / stor
BA Gjenv 0-11 mm	I	5	2,3	Stor / middels
	II	3,5	2,3	Middels
	III	3	1,8	Middels / liten
	IV	4,5	1,9	Middels / liten
Silt Klæbu (ref)	I	4	2,5	Stor / middels
	II	2,5	1,8	Middels / liten
	III	2,5	1,8	Middels / liten
	IV	15	6,8	Svært stor / stor
Sand Ramlo (ref)	I	2	0,3	Liten / ubetydelig
	II	2	0,5	Liten / ubetydelig

4.5.3 Samlet vurdering

En samlet vurdering av materialene ut fra både korngradering og teleforsøk er vist i tabell 4.14. Materialene er her gitt en karakter fra T1 (telesikkert) til T4 (svært telefarlig) etter samme modell som i det norske telekriteriet.

Tabell 4.14: Teleklassifisering av testede gjenbruksmaterialer, oppsummering

Material	Klassifisering av telefarligheten					
	Casagrande	Beskow	Nordal	USCS	Teleforsøk, "ferske" prøver	Teleforsøk, "herdede" prøver ¹
Melhus 0-20 mm	T1/T2	T1	T1/T2	T1/T2	T3/T4	-
Melhus 0-10 mm	T1/T2	T1	T2	T1/T2	T3	T3/T4
BA Gjenv 0-11 mm	T1	T1	T1	T1	T2/T3	T2/T3
Silt Klæbu (ref)	T4	T4	T4	T4	T2/T3	T3/T4
Sand Ramlo (ref)	T1	T1	T1	T1	T1	-

¹ Etter mellomlagring i 100 døgn, 5 °C, ca 100 % RF

Som vist i tabellene 4.12 og 4.13 viser fryseforsøkene noe varierende resultater. Men et gjennomgående trekk er at gjenbruksmaterialene har fått større telehiv enn forventet. Utvikling av telelinser er faktisk større i gjenbruksbetongen enn hos referansematerialet av silt, som jo er og skal være et telefarlig material.

Tabell 4.14 viser at man ut fra korngraderingen kan mistenke Melhus-materialene for å være litt telefarlige, mens BA-materialet "friskmeldes" når man bare ser på siktekurve-kriteriene. Det praktiske teleforsøket gir imidlertid langt kraftigere utslag.

Det telesikre referansematerialet av sand har bekreftet ubetydelig teleskytende evne også i det praktiske fryseforsøket.

Når det gjelder de mellomlagrede ("herdede") prøvene får vi samme resultat for BA-materialet som for test uten herding. Materialet fra Melhus og referansematerialet (silt fra Klæbu) viser en økning i telehiving for de herdede prøvene.

Antagelsen om at en viss lagring/etterherding ville gi prøver mindre ømfintlige for frost og tele er altså ikke bekreftet gjennom disse undersøkelsene.

4.6 Avsluttende kommentarer til undersøkelser om teleegenskaper

Det må som nevnt i kap. 4.4 presiseres at resultatene fra de finkornige materialene som har inngått i dette forsøket ikke kan relateres direkte til de relativt grove materialene som er brukt på E6 Melhus (fraksjon 0-100 mm og 20-100 mm).

At betongmaterialene får oppbygging av islinser behøver ikke bety at konstruksjoner med slike materialer gir problemer. Dersom materialene brukes i forsterkningslag vil lagtykkelsen være jevn og eventuelle telehiv vil dermed også bli jevne.

Det behøver heller ikke bli vesentlige bæreevneproblemer i teleløsningen. Den forholdsvis åpne porestrukturen vil gi permeabilitet slik at overskuddsvann dreneres raskere ut enn i f.eks. silt. Man vil også i større grad unngå poretrykksoppbygging fra hjullaster.

Råd for anvendelse kan likevel bli at disse massetypene ikke bør ligge neddykket i vann. Også andre forhold tilsier dette, bl.a. hensynet til eventuell frostnedbryting og kjemisk nedbryting.

Man bør nok også være forsiktig med å anbefale slike materialer som tilfyllingsmasser bak støttemurer og landkar eller som grusputer under fundamenter.

Undersøkelsene understreker videre viktigheten av praktiske forsøk som et supplement til ”tradisjonell vurdering” når man arbeider med alternative materialer. Betongmaterialenes evne til å ta opp vann og lage islinser fanges tydelig ikke opp gjennom de rene korngraderingskriteriene.

5 Referanser

- 1 *Gjenbruk av knust betong og tegl i vegbygging. Testing av mekaniske egenskaper - Erfaringsinnsamling*, prosjektrapport nr 1 fra Gjenbruksprosjektet, Internrapport 2309
- 2 *Frostbestandighet av resirkulert tilslag*, prosjektrapport nr 10 fra Gjenbruksprosjektet, Teknologirapport nr 2411
- 3 *Gjenbruk av knust betong i vegbygging - Mekaniske egenskaper og testmetoder*, prosjektrapport nr 11 fra Gjenbruksprosjektet, Teknologirapport 2422
- 4 *Materialdeklarasjon av resirkulert tilslag - Uttesting av deklarasjonsordning*, prosjektrapport nr 13 fra Gjenbruksprosjektet, Teknologirapport 2431
- 5 *Miljøpåvirkning fra gjenbruksmaterialer i vegbygging – Sementbaserte materialer*, prosjektrapport nr 14A fra Gjenbruksprosjektet, Teknologirapport 2433
- 6 *Kjemisk nedbrytning av resirkulert tilslag - Forsøk med akselerert vanngjennomstrømning*, prosjektrapport nr 16 fra Gjenbruksprosjektet, Teknologirapport 2438
- 7 *Konstruksjonsbetong med resirkulert tilslag*, prosjektrapport nr 17 fra Gjenbruksprosjektet, Teknologirapport 2439
- 8 *Støttemur ved E6 Taraldrud - Anleggstekniske erfaringer med bruk av knust betong i ny betong*, prosjektrapport nr 17A fra Gjenbruksprosjektet, Teknologirapport 2440
- 9 Mehus J., Skaare L. & Myhre Ø. (2002): *Ubunden bruk av resirkulert tilslag i VA-grøfter*, RESIBA prosjektrapport 06/2002
- 10 Petkovic G. & Lillestøl B. (2002): *Materialegenskaper for resirkulert tilslag*, RESIBA prosjektrapport 04/2002
- 11 Karlsson M. (2000): *Application technology in recycling concrete*, Chalmers University of Technology
- 12 Hansen T. C. (1992): *Recycling of Demolished Concrete and Masonry*, RILEM (The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures) report 6, Report of Technical Committee 37-DRC Demolition and Reuse of Concrete
- 13 Topping M. (2001): *Management of Concrete Demolition Waste*, Dr.ing thesis, NTNU
- 14 Arm M. (2003): *Mechanical Properties of Residues as Unbound Road Materials – Experimental tests on MSWI bottom ash, crushed concrete and blast furnace slag* Doctorial Thesis, Kungliga Tekniska Högskolan
Paper III: Self-cementing properties of crushed demolished concrete in unbound layers: Results from triaxial tests and field tests
Paper IV: Performance-related tests on air-cooled blast furnace slag and crushed concrete
- 15 Rasmussen S. S. (1998): *Resirkulert betongtilslag*, Hovedoppgave, Høgskolen i Narvik
- 16 Jacobsen S. & Solberg S. (2001): *Frost testing of porous and recycled aggregates*, NORDTEST Project 1440-99 Technical Report 458, Project report 294-2001, BYGGFORSK
- 17 Arm M. (2000): *Egenskaper hos alternative ballastmaterial*, Licentiatavhandling, Kungliga Tekniska Högskolan
- 18 Snyder M. B. (1995): *Use of Crushed Concrete Products in Minnesota Pavement Foundations*, Minnesota Department of Transportation, Report number 96-12
- 19 *Gjenbruksvegen E6 Melhus*, prosjektrapport nr 12 fra Gjenbruksprosjektet, Teknologirapport 2423
- 20 Aurstad J. et al: *Unbound crushed concrete in high volume roads – A field and laboratory study*, Paper til 7th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields (BCRA), Trondheim 2005
- 21 Aurstad J. et al: *Unbound crushed concrete in high volume roads – A field and laboratory study*, Paper til 5th International Conference on Research and Practical Applications Using Wastes and Secondary Materials in Pavement Engineering, Liverpool John Moore University 2006
- 22 Aurstad J. (2005): *Knust betong som forsterkningslag på E6 Melhus – Resultater fra felt- og laboratorieundersøkelser* SINTEF Rapport STF50 A05060
- 23 Aursand P. O. (2006): *Vurdering av frosttekniske egenskaper for knust betong*, Masteroppgave NTNU Institutt for bygg, anlegg og transport

VEDLEGG

GJENBRUKSPROSJEKTET



VEDLEGG 1: MÅLING AV TELEHIV, METODEBESKRIVELSE.....	III
VEDLEGG 2: MATERIALER SOM HAR INNGÅTT I DE PRAKTISKE TELEFORSØKENE	V
VEDLEGG 3: TILLAGING OG TESTING AV PRØVER (FOTOS)	XXIII
VEDLEGG 4: DELPROSJEKT 3 "GJENBRUK AV BETONG"	XXXIX
VEDLEGG 5: RAPPORTOVERSIKT STATENS VEGVESENS GJENBRUKSPROSJEKT 2002-2005	XLI



MÅLING AV TELEHIVING

Generelt

Gjennom dette forsøket bedømmer man telefarligheten til jordarter direkte ved å gjøre de ytre forhold gunstig for dannelsen av islinser i materialet. Ved hjelp av to temperaturløser, ett som gir minusgrader på oversiden av prøven og ett som gir plussgrader i bunnen, får man en frostfront omtrent midt i prøven. Tilgang på vann til frostfronten har man ved at undersiden av prøven står i forbindelse med et vannreservoar. Dermed er to av de tre grunnleggende krav til islinsedannelse til stede. Telehivingen under forsøket vil følgelig være direkte avhengig av materialets telefarlighet.

Utstyr

- Aluminium bunnplate med nippel
- Plastringer (indre diameter 140 mm)
- Kjøleplate med tilførsler
- Trefotet kobberplate
- Belastningsarrangement
- Topplate med måleur
- Slangearrangement for tilførsel av kjølevæske
- Ultra Kryostat – kjøletermostat
- Glassflaske (vannreservoar)
- Temperaturfølere og temperaturregistreringsenhet (skriver og/eller PC)
- Stampesylinder av stål

Utførelse av forsøket


1. Vanninnholdet i jordarten justeres til tilnærmet optimalt vanninnhold ved Standard Proctor.
2. En aluminium bunnplate med en fastmontert plastring klargjøres ved å:
 - Fylle i destillert vann til det drypper av nippelen. Nippelen plugges.
 - Filterstein med filterpapir på begge sider legges i.
 - Destillert vann etterfylles til akkurat i overkant av filterstein.
3. Fire plastringer settes på bunnplaten. Bunnplaten med fire løse plastringer, filterstein og vann veies. En femte plastring legges på og stampesylinderen festes til bunnplaten.
4. Materialet stemples i sylinderen i tre like tykke lag med 38 slag pr lag til ca 100 % Standard Proctor. For å få god heft mellom lagene kan det risses med en kniv.
5. Stampesylinderen tas av og prøven sages av mellom de to øverste plastringene slik at prøvehøyden blir 100 mm.
6. Det stikkes opp hull til termoelementene i bunn, midt og topp. Deretter veies prøven med bunnplate og plastringer.
7. Prøven settes i fryseboksen. Vanntilførselen sikres ved å la det dryppe ut av slangen før den kobles til nippelen. Termotrådene stikkes 60-70 mm inn i prøven. Det tettes godt med grease rundt ledningene. Kjøleplaten med belastning samt måleur monteres. Til slutt isoleres apparaturen med løs isopor. Apparaturen med prøve er skissert på figuren på neste side.
8. Prøven kjøres i 4 dager (96 timer) etter innbygging. Temperaturen i topp- og bunnplate skal være hhv -4 °C og +1 °C. Telehiv og temperaturer registreres (minimum) to ganger daglig.
9. Etter frysing tas prøven ut for nærmere undersøkelser. Plastringene fjernes og den frosne prøven kløves vertikalt. Eventuelle islinser registreres. Vanninnholdet bestemmes i fem forskjellige nivåer i prøven.

Rapportering

Rapport fra dette forsøket skal inneholde:

1. Materialets kornfordeling og vurdering av dets telefarlighetsgrad etter følgende kriterier:
 - Casagrandes telekriterium
 - Beskows telekriterium
 - Nordals telekriterium
 - Telehiv registrert i forsøket
2. Grafisk sammenstilling av islinsedannelsen (hevningen) og temperaturene i prøven som funksjon av tiden.
3. Variasjoner i vanninnholdet i prøven sammenlignet med prøvens vanninnhold ved innstamping.

Knust betong Melhus

 SINTEF Bygg og miljø Veg og samferdsel		SIKTEANALYSE					
		Utført etter: Statens vegvesen - håndbok 014 Trondheim, 15.11.2004 Utført av: _____					
Materiale:	Gjb Melhus 0-20 mm		serie 1				
Sted :	Melhus						
Analysert for:							
SIKT	Før frysefor			Etter frysefor			Middel
100,0 mm	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 %
63,0 mm	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 %
31,5 mm	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 %
22,4 mm	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 g	0,0 %
16,0 mm	75,0 g	0,0 g	0,0 g	54,9 g	0,0 g	0,0 g	2,2 %
11,2 mm	194,4 g	0,0 g	0,0 g	182,8 g	0,0 g	0,0 g	6,3 %
8,0 mm	340,3 g	0,0 g	0,0 g	331,4 g	0,0 g	0,0 g	11,2 %
4,0 mm	805,1 g	0,0 g	0,0 g	787,8 g	0,0 g	0,0 g	26,5 %
2,000 mm	1275,9 g	0,0 g	0,0 g	1247,2 g	0,0 g	0,0 g	42,0 %
1,000 mm	1756,0 g	0,0 g	0,0 g	1695,7 g	0,0 g	0,0 g	57,5 %
0,500 mm	2167,9 g	0,0 g	0,0 g	2057,9 g	0,0 g	0,0 g	70,4 %
0,250 mm	2470,8 g	0,0 g	0,0 g	2323,6 g	0,0 g	0,0 g	79,9 %
0,125 mm	2676,5 g	0,0 g	0,0 g	2593,8 g	0,0 g	0,0 g	87,8 %
0,063 mm	2836,1 g	0,0 g	0,0 g	2792,5 g	0,0 g	0,0 g	93,8 %
BUNN	2997,5 g	0,0 g	0,0 g	3004,7 g	0,0 g	0,0 g	100,0 %

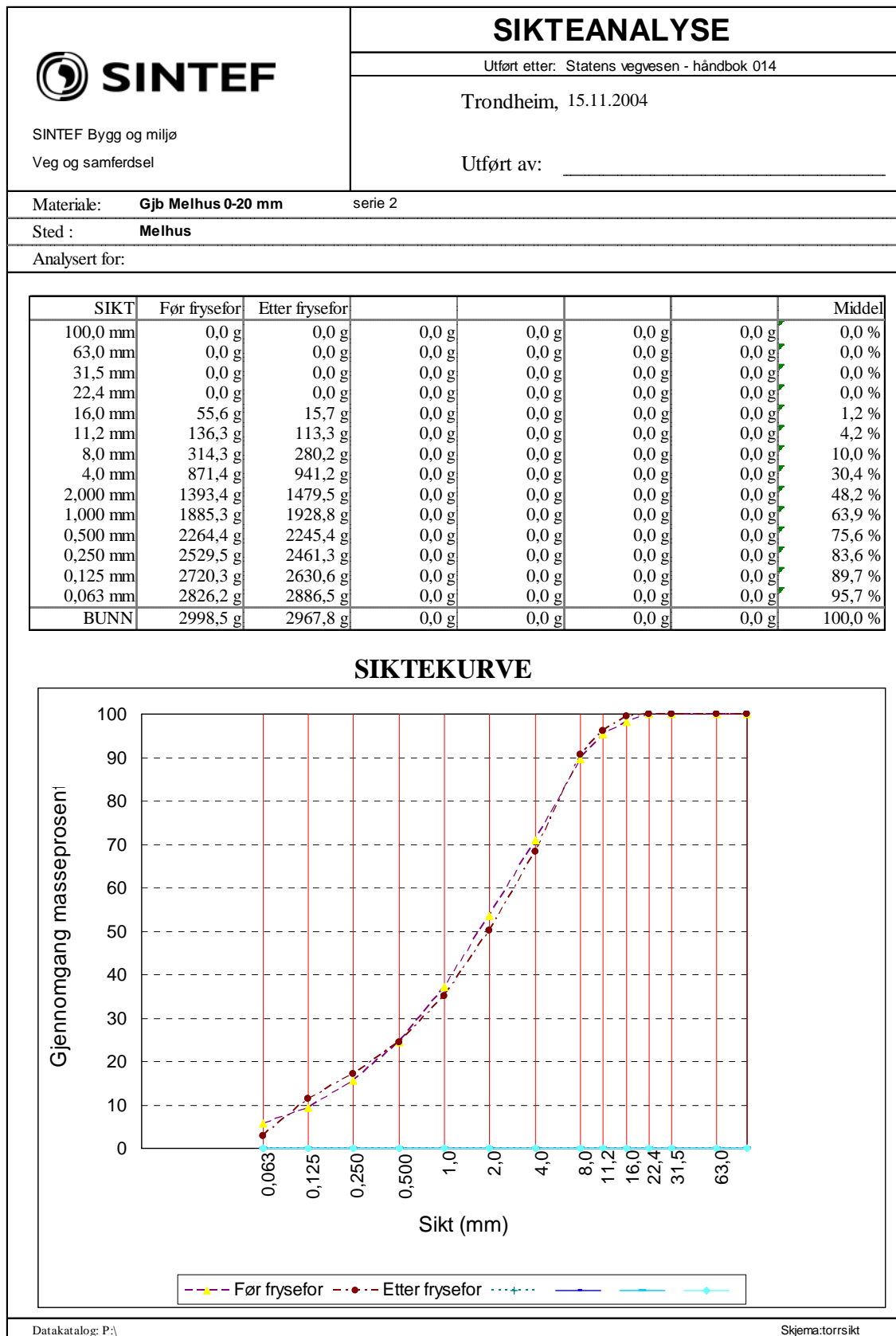
SIKTEKURVE

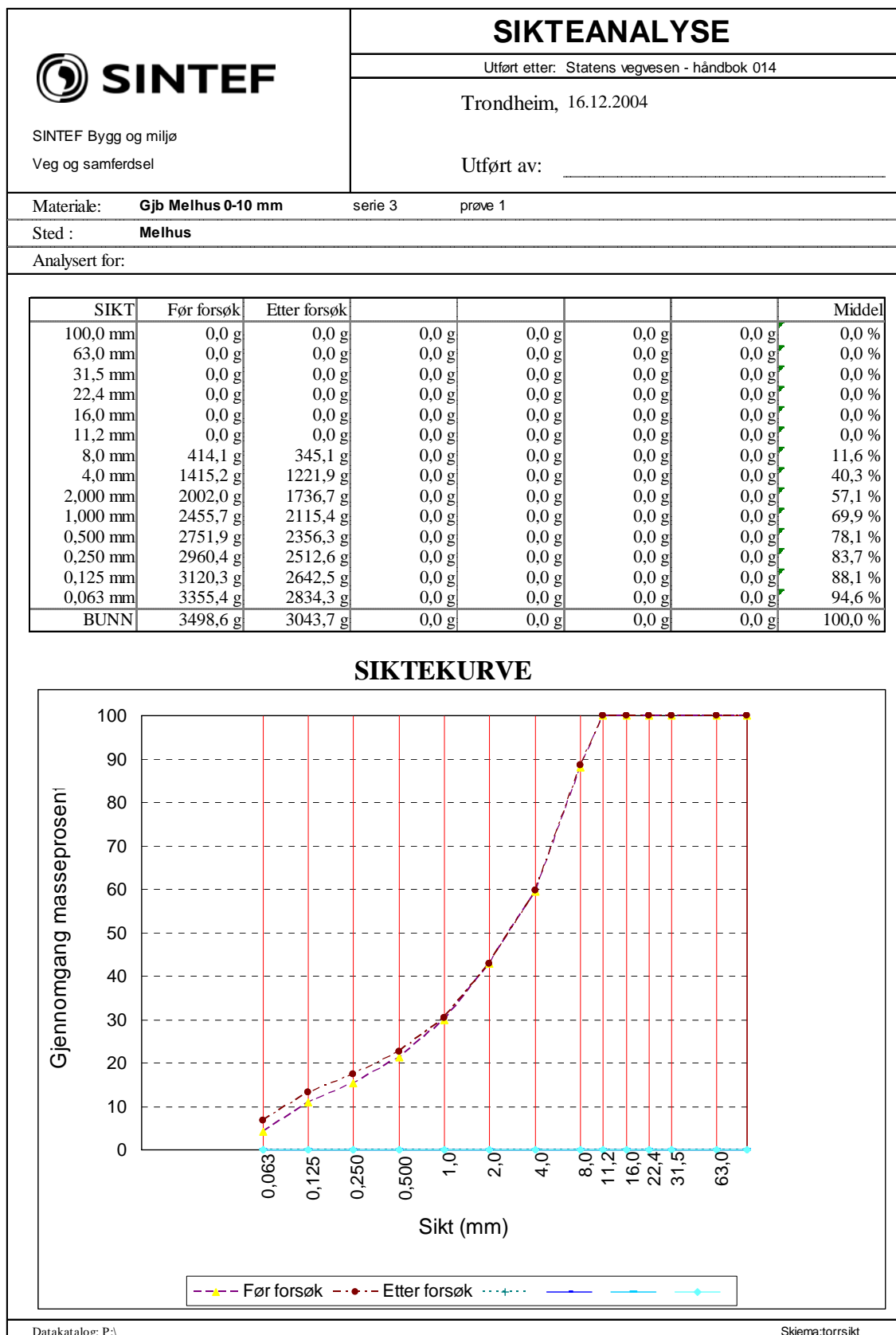
Gjennomgang masseprosent

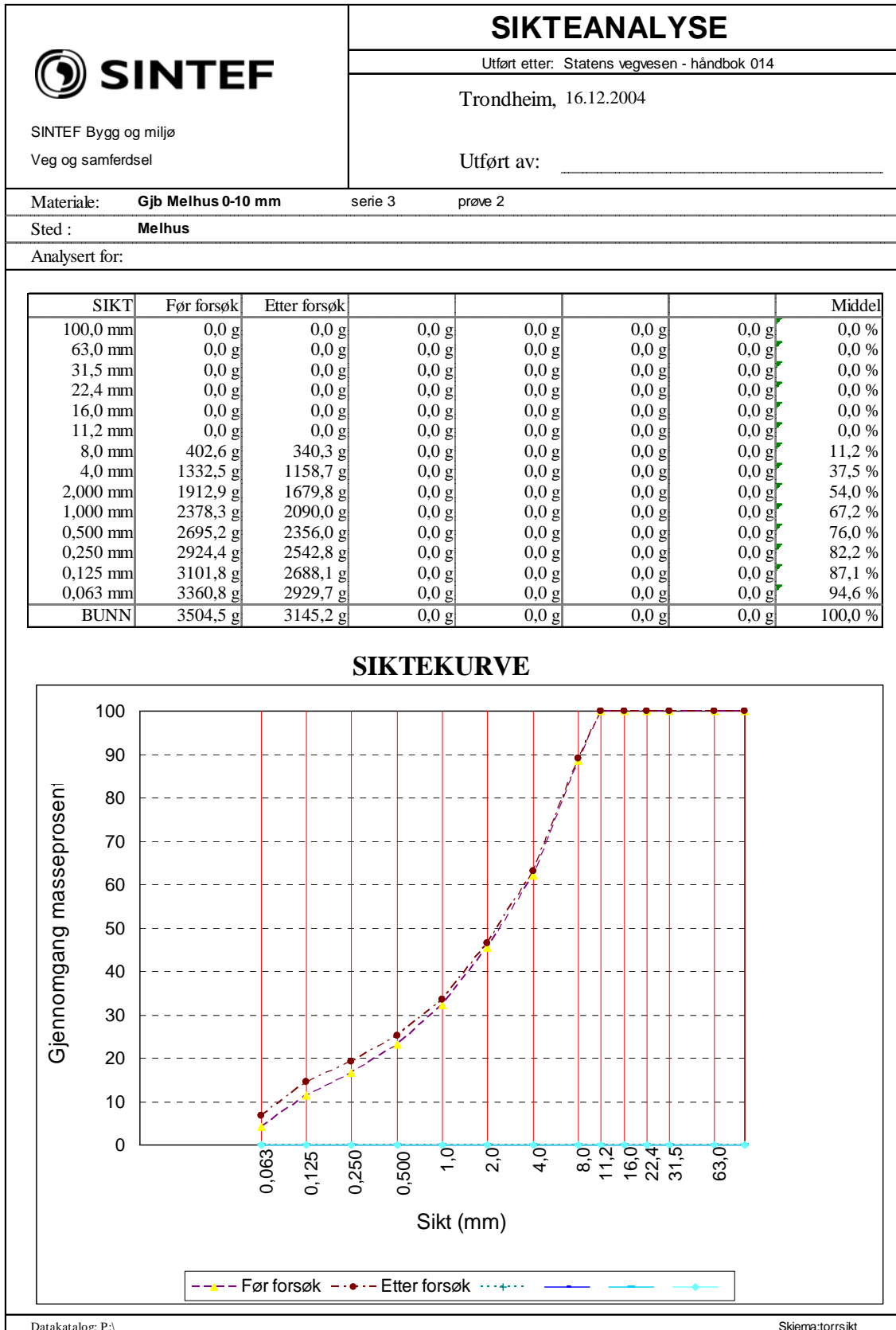
Sikt (mm)

-▲- Før frysefor
 —●— Etter frysefor

Datakatalog: P:\ Skjema:torrsikt


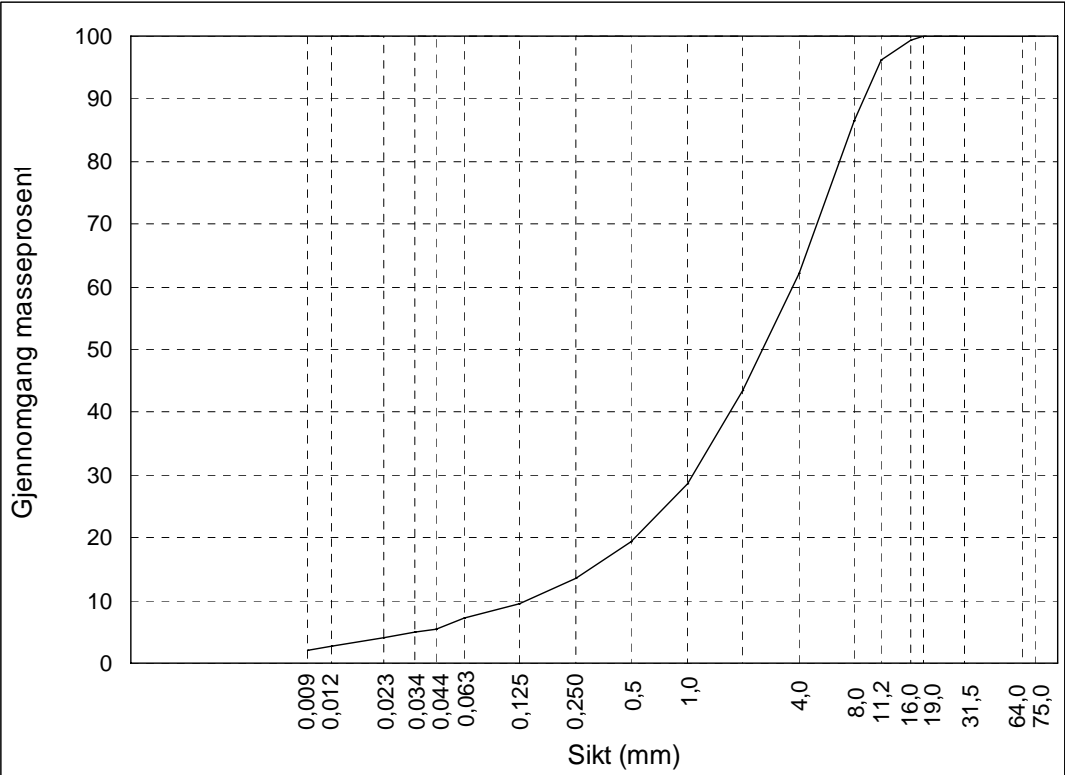







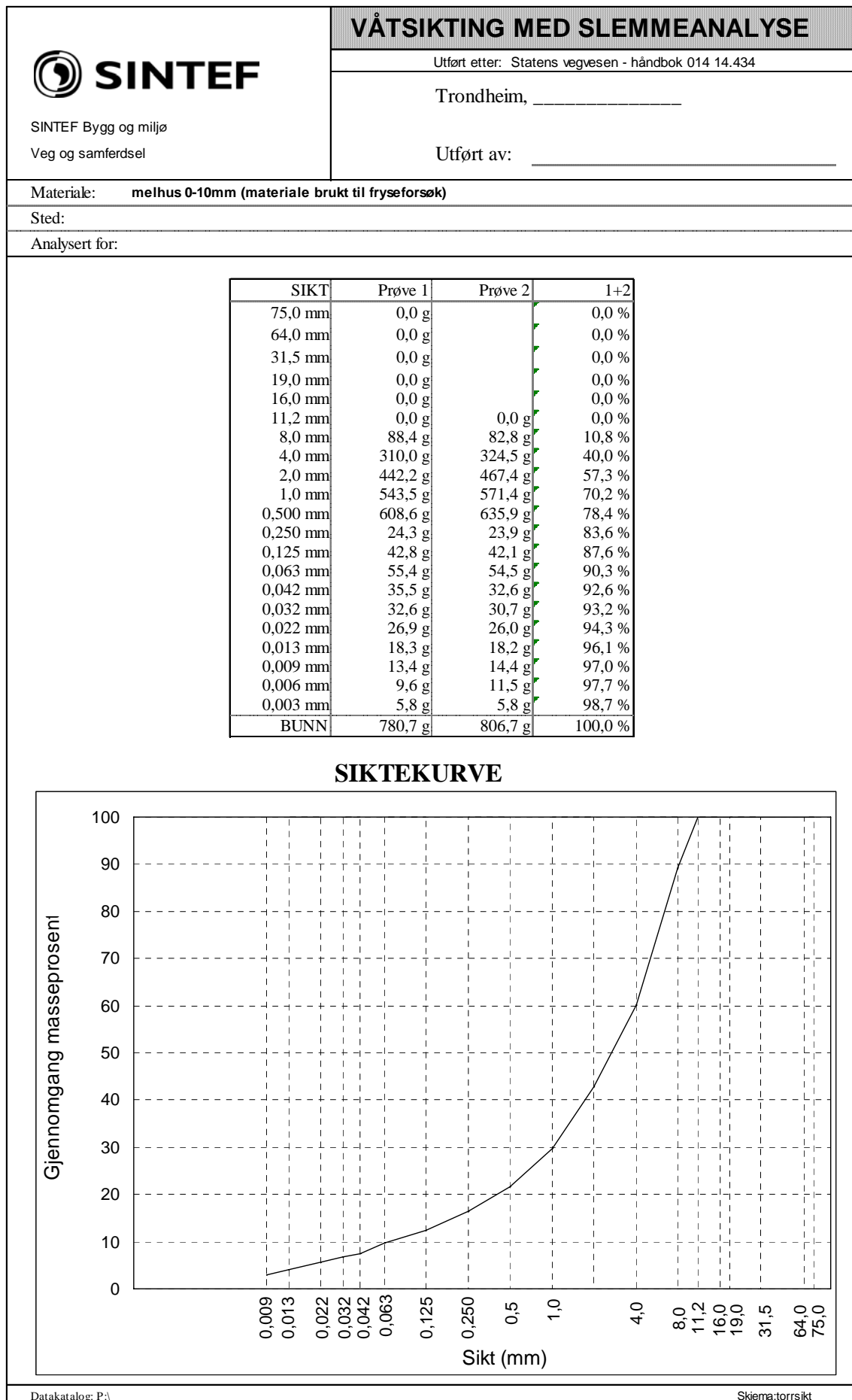
Datakatalog: P:\


Skjema.torrsikt

 SINTEF SINTEF Bygg og miljø Veg og samferdsel		VÅTSIKTING MED SLEMMEANALYSE																																																																																													
		Utført etter: Statens vegvesen - håndbok 014 14.434		Trondheim, _____																																																																																											
		Utført av: _____																																																																																													
Materiale: Melhus 0-20mm (materiale brukt til fryseforsøk)																																																																																															
Sted:																																																																																															
Analysert for:																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>SIKT</th> <th>Prøve 1</th> <th>Prøve 2</th> <th>1+2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>75,0 mm</td><td>0,0 g</td><td></td><td>0,0 %</td></tr> <tr><td>64,0 mm</td><td>0,0 g</td><td></td><td>0,0 %</td></tr> <tr><td>31,5 mm</td><td>0,0 g</td><td></td><td>0,0 %</td></tr> <tr><td>19,0 mm</td><td>0,0 g</td><td></td><td>0,0 %</td></tr> <tr><td>16,0 mm</td><td>6,5 g</td><td></td><td>0,8 %</td></tr> <tr><td>11,2 mm</td><td>64,1 g</td><td>0,0 g</td><td>3,8 %</td></tr> <tr><td>8,0 mm</td><td>135,1 g</td><td>90,8 g</td><td>13,5 %</td></tr> <tr><td>4,0 mm</td><td>335,0 g</td><td>299,2 g</td><td>37,8 %</td></tr> <tr><td>2,0 mm</td><td>491,7 g</td><td>455,6 g</td><td>56,5 %</td></tr> <tr><td>1,0 mm</td><td>620,5 g</td><td>578,0 g</td><td>71,4 %</td></tr> <tr><td>0,500 mm</td><td>705,0 g</td><td>648,8 g</td><td>80,7 %</td></tr> <tr><td>0,250 mm</td><td>29,4 g</td><td>31,3 g</td><td>86,6 %</td></tr> <tr><td>0,125 mm</td><td>49,4 g</td><td>51,4 g</td><td>90,4 %</td></tr> <tr><td>0,063 mm</td><td>61,6 g</td><td>63,4 g</td><td>92,8 %</td></tr> <tr><td>0,044 mm</td><td>28,8 g</td><td>26,9 g</td><td>94,6 %</td></tr> <tr><td>0,034 mm</td><td>26,9 g</td><td>24,0 g</td><td>95,1 %</td></tr> <tr><td>0,023 mm</td><td>23,0 g</td><td>20,1 g</td><td>95,8 %</td></tr> <tr><td>0,012 mm</td><td>14,4 g</td><td>14,4 g</td><td>97,2 %</td></tr> <tr><td>0,009 mm</td><td>11,5 g</td><td>10,6 g</td><td>97,9 %</td></tr> <tr><td>0,006 mm</td><td>9,6 g</td><td>7,7 g</td><td>98,3 %</td></tr> <tr><td>0,003 mm</td><td>4,8 g</td><td>4,8 g</td><td>99,1 %</td></tr> <tr><td>BUNN</td><td>886,8 g</td><td>790,6 g</td><td>100,0 %</td></tr> </tbody> </table>				SIKT	Prøve 1	Prøve 2	1+2	75,0 mm	0,0 g		0,0 %	64,0 mm	0,0 g		0,0 %	31,5 mm	0,0 g		0,0 %	19,0 mm	0,0 g		0,0 %	16,0 mm	6,5 g		0,8 %	11,2 mm	64,1 g	0,0 g	3,8 %	8,0 mm	135,1 g	90,8 g	13,5 %	4,0 mm	335,0 g	299,2 g	37,8 %	2,0 mm	491,7 g	455,6 g	56,5 %	1,0 mm	620,5 g	578,0 g	71,4 %	0,500 mm	705,0 g	648,8 g	80,7 %	0,250 mm	29,4 g	31,3 g	86,6 %	0,125 mm	49,4 g	51,4 g	90,4 %	0,063 mm	61,6 g	63,4 g	92,8 %	0,044 mm	28,8 g	26,9 g	94,6 %	0,034 mm	26,9 g	24,0 g	95,1 %	0,023 mm	23,0 g	20,1 g	95,8 %	0,012 mm	14,4 g	14,4 g	97,2 %	0,009 mm	11,5 g	10,6 g	97,9 %	0,006 mm	9,6 g	7,7 g	98,3 %	0,003 mm	4,8 g	4,8 g	99,1 %	BUNN	886,8 g	790,6 g	100,0 %
SIKT	Prøve 1	Prøve 2	1+2																																																																																												
75,0 mm	0,0 g		0,0 %																																																																																												
64,0 mm	0,0 g		0,0 %																																																																																												
31,5 mm	0,0 g		0,0 %																																																																																												
19,0 mm	0,0 g		0,0 %																																																																																												
16,0 mm	6,5 g		0,8 %																																																																																												
11,2 mm	64,1 g	0,0 g	3,8 %																																																																																												
8,0 mm	135,1 g	90,8 g	13,5 %																																																																																												
4,0 mm	335,0 g	299,2 g	37,8 %																																																																																												
2,0 mm	491,7 g	455,6 g	56,5 %																																																																																												
1,0 mm	620,5 g	578,0 g	71,4 %																																																																																												
0,500 mm	705,0 g	648,8 g	80,7 %																																																																																												
0,250 mm	29,4 g	31,3 g	86,6 %																																																																																												
0,125 mm	49,4 g	51,4 g	90,4 %																																																																																												
0,063 mm	61,6 g	63,4 g	92,8 %																																																																																												
0,044 mm	28,8 g	26,9 g	94,6 %																																																																																												
0,034 mm	26,9 g	24,0 g	95,1 %																																																																																												
0,023 mm	23,0 g	20,1 g	95,8 %																																																																																												
0,012 mm	14,4 g	14,4 g	97,2 %																																																																																												
0,009 mm	11,5 g	10,6 g	97,9 %																																																																																												
0,006 mm	9,6 g	7,7 g	98,3 %																																																																																												
0,003 mm	4,8 g	4,8 g	99,1 %																																																																																												
BUNN	886,8 g	790,6 g	100,0 %																																																																																												
SIKTEKURVE																																																																																															
 <p>The graph plots cumulative mass percentage (Gjennomgang masseprosent) on the y-axis (0 to 100) against sieve size (Sikt (mm)) on the x-axis. The x-axis is logarithmic, with major ticks at 0.009, 0.012, 0.023, 0.034, 0.044, 0.063, 0.125, 0.250, 0.5, 1.0, 4.0, 8.0, 11.2, 16.0, 19.0, 31.5, 64.0, and 75.0 mm. The curve shows a sharp increase between 1.0 mm and 4.0 mm, reaching 100% at 75.0 mm.</p>																																																																																															
Datakatalog: P:\		Skjema: torrsikt																																																																																													

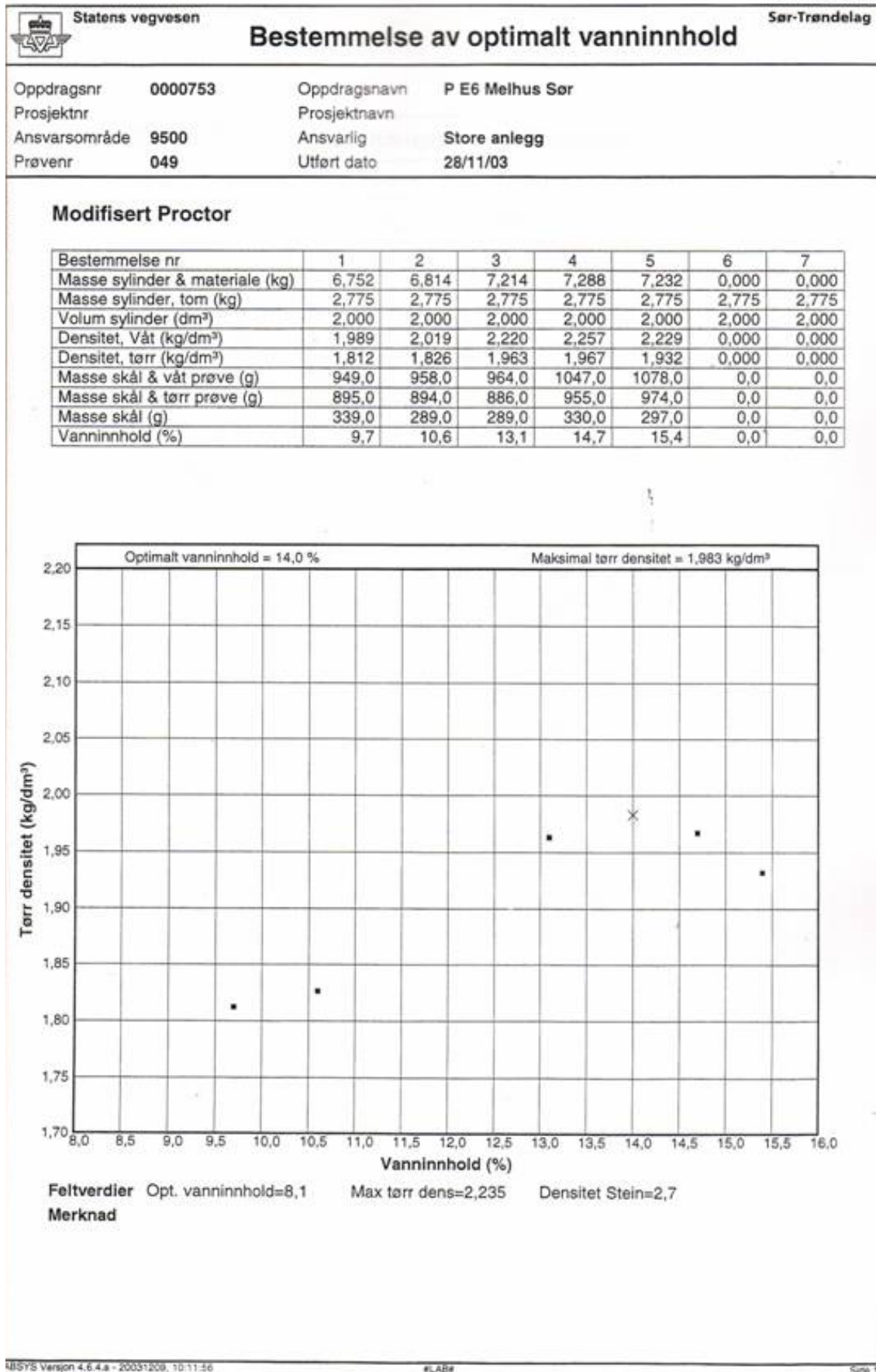
 SINTEF SINTEF Byggeforsk Veg og jernbaneteknikk	Particle density and water absorption																																																																			
	Standard: NS-EN 1097-6																																																																			
	Trondheim, 2006.01.26																																																																			
	Utført av: <u>Lisbeth Johansen</u>																																																																			
Materiale:	Melhus 0-20mm																																																																			
Sted:																																																																				
Analysert for:	SVV/gjenbruk/teleforsøk																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Table 1</th> <th>Test portion</th> <th>Test portion</th> <th>Average</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Particle density and water absorption</th> <th>a(0.063-4mm)</th> <th>b(4 - 20mm)</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pyknometer (empty). (g)</td> <td>M_0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pyknometer + dry washed sample (g)</td> <td>M_5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dry washed sample (g)</td> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Pyknometer + saturated sample in water (g)</td> <td>M_2</td> <td>3219,20</td> <td>4080,90</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pyknometer + water (g)</td> <td>M_3</td> <td>2677,10</td> <td>2674,70</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Saturated and surface dried sample in air (g)</td> <td>M_1</td> <td>889,20</td> <td>2258,50</td> <td>1573,85</td> </tr> <tr> <td>Oven-dried sample in air M_4 (g)</td> <td>M_4</td> <td>835,10</td> <td>2177,60</td> <td>1756,10</td> </tr> <tr> <td>Water absorption.(weight-%)</td> <td>W</td> <td>6,478</td> <td>3,715</td> <td>5,10</td> </tr> <tr> <td>Apparent particle density. (Mg.m³)</td> <td>ρ_a</td> <td>2,850</td> <td>2,823</td> <td>2,84</td> </tr> <tr> <td>Particle density on an oven dried basis . (Mg/m³)</td> <td>ρ_{rd}</td> <td>2,406</td> <td>2,555</td> <td>2,48</td> </tr> <tr> <td>Particle density on a saturated and surface-dried basis . (Mg/m³)</td> <td>ρ_{ssd}</td> <td>2,562</td> <td>2,650</td> <td>2,61</td> </tr> </tbody> </table>				Table 1		Test portion	Test portion	Average	Particle density and water absorption		a(0.063-4mm)	b(4 - 20mm)		Pyknometer (empty). (g)	M_0				Pyknometer + dry washed sample (g)	M_5				Dry washed sample (g)	M			0,00	Pyknometer + saturated sample in water (g)	M_2	3219,20	4080,90		Pyknometer + water (g)	M_3	2677,10	2674,70		Saturated and surface dried sample in air (g)	M_1	889,20	2258,50	1573,85	Oven-dried sample in air M_4 (g)	M_4	835,10	2177,60	1756,10	Water absorption.(weight-%)	W	6,478	3,715	5,10	Apparent particle density. (Mg.m ³)	ρ_a	2,850	2,823	2,84	Particle density on an oven dried basis . (Mg/m ³)	ρ_{rd}	2,406	2,555	2,48	Particle density on a saturated and surface-dried basis . (Mg/m ³)	ρ_{ssd}	2,562	2,650	2,61
Table 1		Test portion	Test portion	Average																																																																
Particle density and water absorption		a(0.063-4mm)	b(4 - 20mm)																																																																	
Pyknometer (empty). (g)	M_0																																																																			
Pyknometer + dry washed sample (g)	M_5																																																																			
Dry washed sample (g)	M			0,00																																																																
Pyknometer + saturated sample in water (g)	M_2	3219,20	4080,90																																																																	
Pyknometer + water (g)	M_3	2677,10	2674,70																																																																	
Saturated and surface dried sample in air (g)	M_1	889,20	2258,50	1573,85																																																																
Oven-dried sample in air M_4 (g)	M_4	835,10	2177,60	1756,10																																																																
Water absorption.(weight-%)	W	6,478	3,715	5,10																																																																
Apparent particle density. (Mg.m ³)	ρ_a	2,850	2,823	2,84																																																																
Particle density on an oven dried basis . (Mg/m ³)	ρ_{rd}	2,406	2,555	2,48																																																																
Particle density on a saturated and surface-dried basis . (Mg/m ³)	ρ_{ssd}	2,562	2,650	2,61																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Table 2</th> <th>Test portion</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Moisture content at start, third test portion</th> <th>c</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Weight after ≥ 5 days drying in 40 °C. (g)</td> <td>M_6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weight after drying to constant weight in 110°C. (g)</td> <td>M_7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weight water content $M_4 - M_7$. (g)</td> <td>M_w</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Moister ratio. (weight-%)</td> <td>MR</td> <td>#DIV/0!</td> </tr> </tbody> </table>				Table 2		Test portion	Moisture content at start, third test portion		c	Weight after ≥ 5 days drying in 40 °C. (g)	M_6		Weight after drying to constant weight in 110°C. (g)	M_7		Weight water content $M_4 - M_7$. (g)	M_w	0,00	Moister ratio. (weight-%)	MR	#DIV/0!																																															
Table 2		Test portion																																																																		
Moisture content at start, third test portion		c																																																																		
Weight after ≥ 5 days drying in 40 °C. (g)	M_6																																																																			
Weight after drying to constant weight in 110°C. (g)	M_7																																																																			
Weight water content $M_4 - M_7$. (g)	M_w	0,00																																																																		
Moister ratio. (weight-%)	MR	#DIV/0!																																																																		
Datakatalog: I:\lab\jem\EXCEL\		Skjema: Vannabsorpsjon																																																																		

Melhus 0-20mm , Densitet og vannabsorpsjon

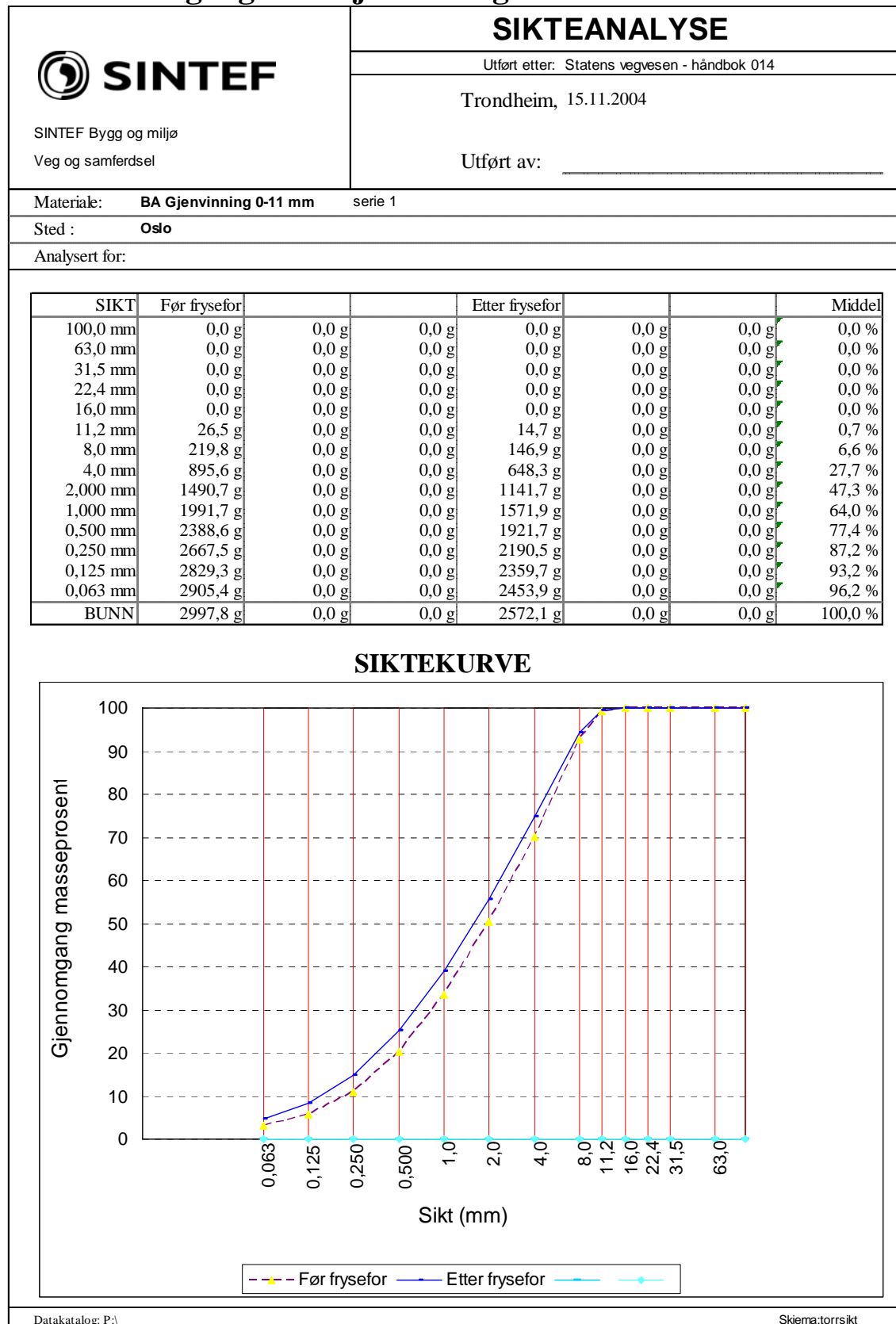


 SINTEF SINTEF Teknologi og samfunn Veg og jernbaneteknikk	Particle density and water absorption																																																																																					
	Standard: NS-EN 1097-6																																																																																					
	Trondheim, 2006.01.13																																																																																					
	Utført av: _____																																																																																					
Materiale: Melhus 0-10mm																																																																																						
Sted:																																																																																						
Analysert for: SVV/gjenbruk/teleforsøk																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Table 1</th> <th>Test portion</th> <th>Test portion</th> <th>Average</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Particle density and water absorption</th> <th>a(0.063-4mm)</th> <th>b(0.063-8mm)</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pyknometer (empty). (g)</td> <td>M_0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pyknometer + dry washed sample (g)</td> <td>M_5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dry washed sample (g)</td> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Pyknometer + saturated sample in water (g)</td> <td>M_2</td> <td>3254,50</td> <td>3620,80</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pyknometer + water (g)</td> <td>M_3</td> <td>2674,70</td> <td>2679,20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Saturated and surface dried sample in air (g)</td> <td>M_1</td> <td>935,10</td> <td>1535,50</td> <td>1235,30</td> </tr> <tr> <td>Oven-dried sample in air M_4 (g)</td> <td>M_4</td> <td>890,50</td> <td>1465,90</td> <td>1782,60</td> </tr> <tr> <td>Water absorption.(weight-%)</td> <td>W</td> <td>5,008</td> <td>4,748</td> <td>4,88</td> </tr> <tr> <td>Apparent particle density. (Mg/m³)</td> <td>ρ_a</td> <td>2,866</td> <td>2,796</td> <td>2,83</td> </tr> <tr> <td>Particle density on an oven dried basis . (Mg/m³)</td> <td>ρ_{rd}</td> <td>2,506</td> <td>2,468</td> <td>2,49</td> </tr> <tr> <td>Particle density on a saturated and surface-dried basis . (Mg/m³)</td> <td>ρ_{ssd}</td> <td>2,632</td> <td>2,585</td> <td>2,61</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Table 2</th> <th>Test portion</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Moisture content at start, third test portion</th> <th>c</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Weight after ≥ 5 days drying in 40 °C. (g)</td> <td>M_6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weight after drying to constant weight in 110°C. (g)</td> <td>M_7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weight water content $M_4 - M_6$. (g)</td> <td>M_w</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Moister ratio. (weight-%)</td> <td>MR</td> <td>#DIV/0!</td> </tr> </tbody> </table>				Table 1		Test portion	Test portion	Average	Particle density and water absorption		a(0.063-4mm)	b(0.063-8mm)		Pyknometer (empty). (g)	M_0				Pyknometer + dry washed sample (g)	M_5				Dry washed sample (g)	M			0,00	Pyknometer + saturated sample in water (g)	M_2	3254,50	3620,80		Pyknometer + water (g)	M_3	2674,70	2679,20		Saturated and surface dried sample in air (g)	M_1	935,10	1535,50	1235,30	Oven-dried sample in air M_4 (g)	M_4	890,50	1465,90	1782,60	Water absorption.(weight-%)	W	5,008	4,748	4,88	Apparent particle density. (Mg/m ³)	ρ_a	2,866	2,796	2,83	Particle density on an oven dried basis . (Mg/m ³)	ρ_{rd}	2,506	2,468	2,49	Particle density on a saturated and surface-dried basis . (Mg/m ³)	ρ_{ssd}	2,632	2,585	2,61	Table 2		Test portion	Moisture content at start, third test portion		c	Weight after ≥ 5 days drying in 40 °C. (g)	M_6		Weight after drying to constant weight in 110°C. (g)	M_7		Weight water content $M_4 - M_6$. (g)	M_w	0,00	Moister ratio. (weight-%)	MR	#DIV/0!
Table 1		Test portion	Test portion	Average																																																																																		
Particle density and water absorption		a(0.063-4mm)	b(0.063-8mm)																																																																																			
Pyknometer (empty). (g)	M_0																																																																																					
Pyknometer + dry washed sample (g)	M_5																																																																																					
Dry washed sample (g)	M			0,00																																																																																		
Pyknometer + saturated sample in water (g)	M_2	3254,50	3620,80																																																																																			
Pyknometer + water (g)	M_3	2674,70	2679,20																																																																																			
Saturated and surface dried sample in air (g)	M_1	935,10	1535,50	1235,30																																																																																		
Oven-dried sample in air M_4 (g)	M_4	890,50	1465,90	1782,60																																																																																		
Water absorption.(weight-%)	W	5,008	4,748	4,88																																																																																		
Apparent particle density. (Mg/m ³)	ρ_a	2,866	2,796	2,83																																																																																		
Particle density on an oven dried basis . (Mg/m ³)	ρ_{rd}	2,506	2,468	2,49																																																																																		
Particle density on a saturated and surface-dried basis . (Mg/m ³)	ρ_{ssd}	2,632	2,585	2,61																																																																																		
Table 2		Test portion																																																																																				
Moisture content at start, third test portion		c																																																																																				
Weight after ≥ 5 days drying in 40 °C. (g)	M_6																																																																																					
Weight after drying to constant weight in 110°C. (g)	M_7																																																																																					
Weight water content $M_4 - M_6$. (g)	M_w	0,00																																																																																				
Moister ratio. (weight-%)	MR	#DIV/0!																																																																																				
Datakatalog: \Inlab\kem\EXCEL\		Skjema: Vannabsorpsjon																																																																																				

Melhus 0-10mm, Densitet og vannabsorpsjon

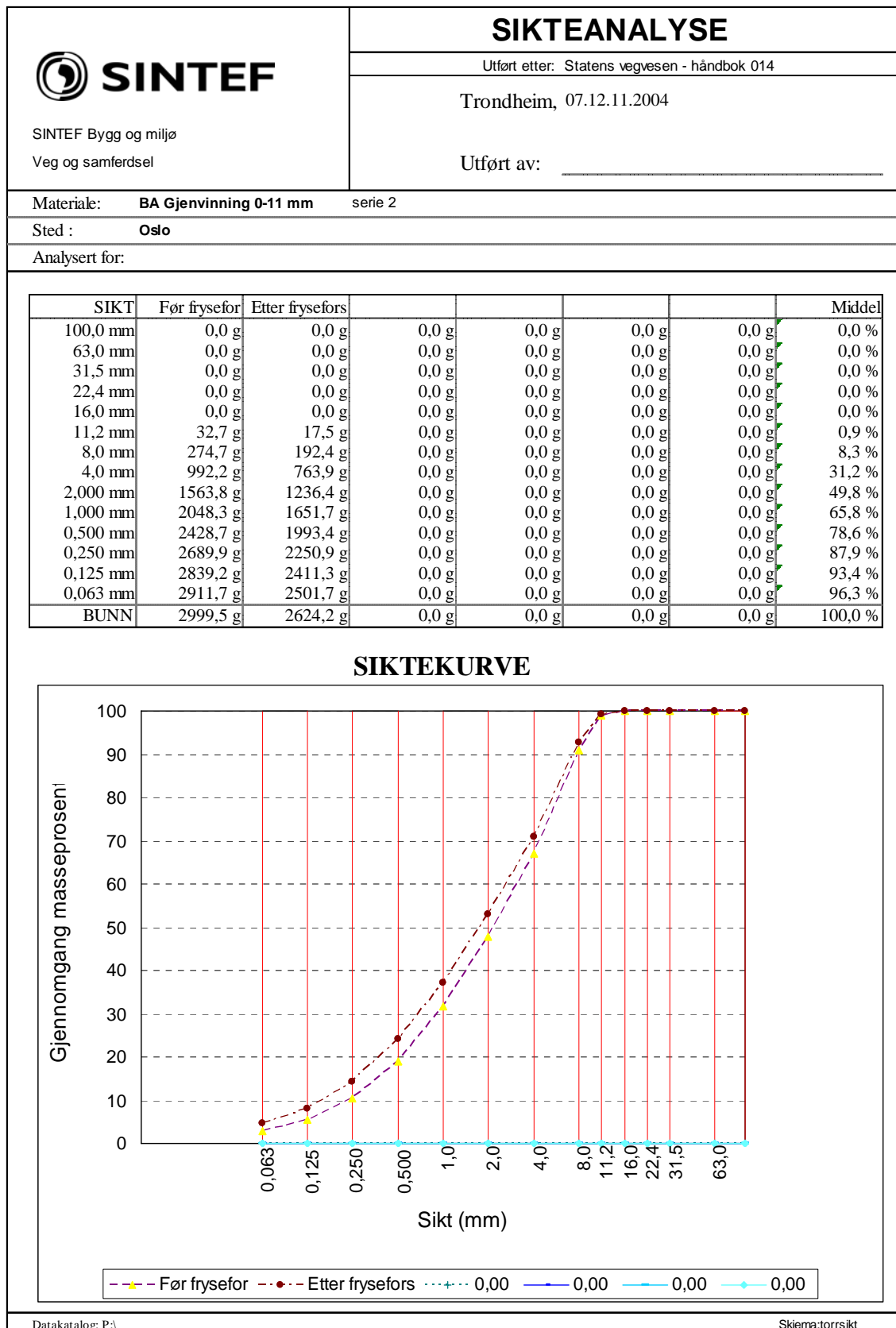


Knust betong/tegl BA Gjenvinning



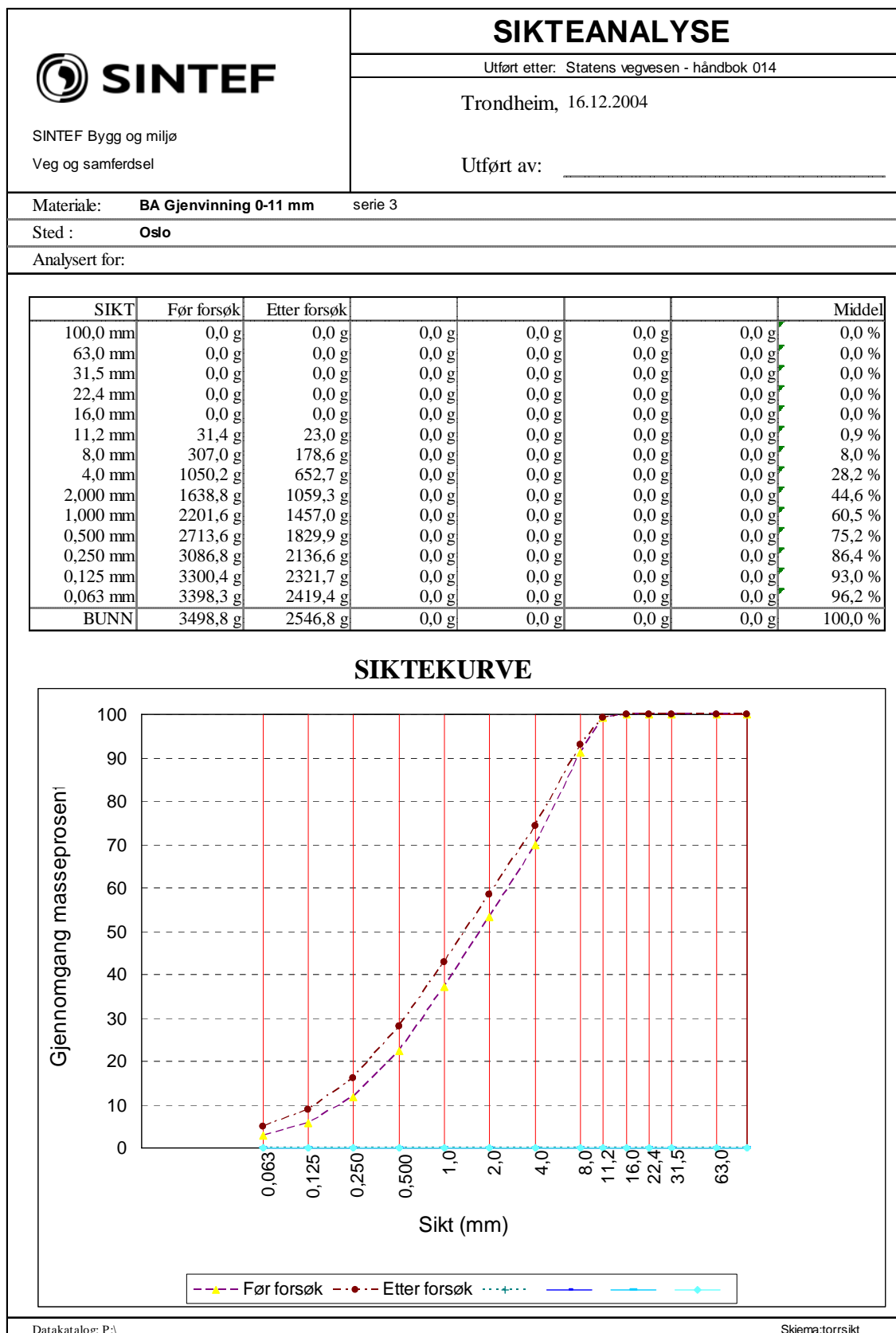
Datakatalog: P:\

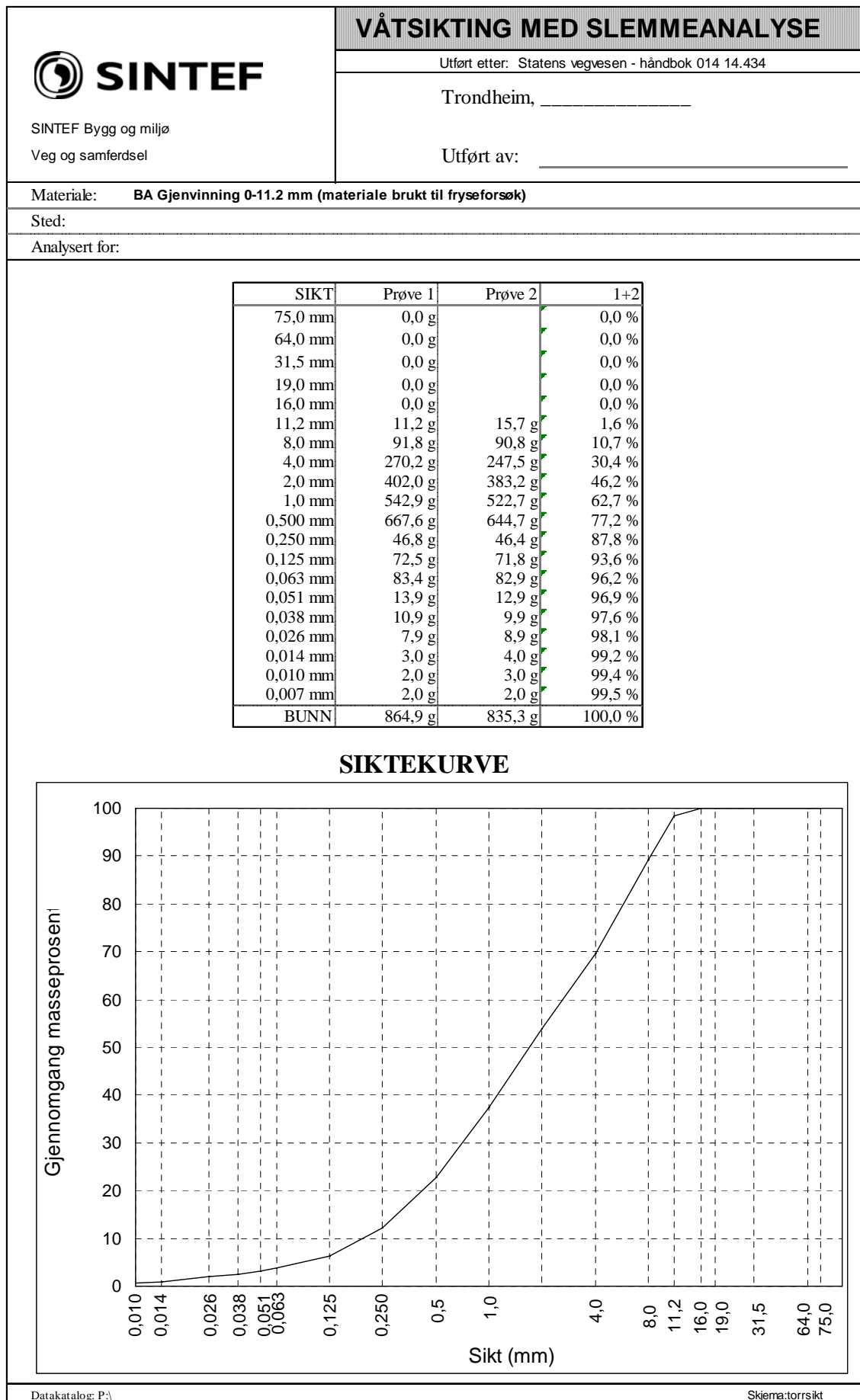
Skjema:torrsikt




Datakatalog: P:\


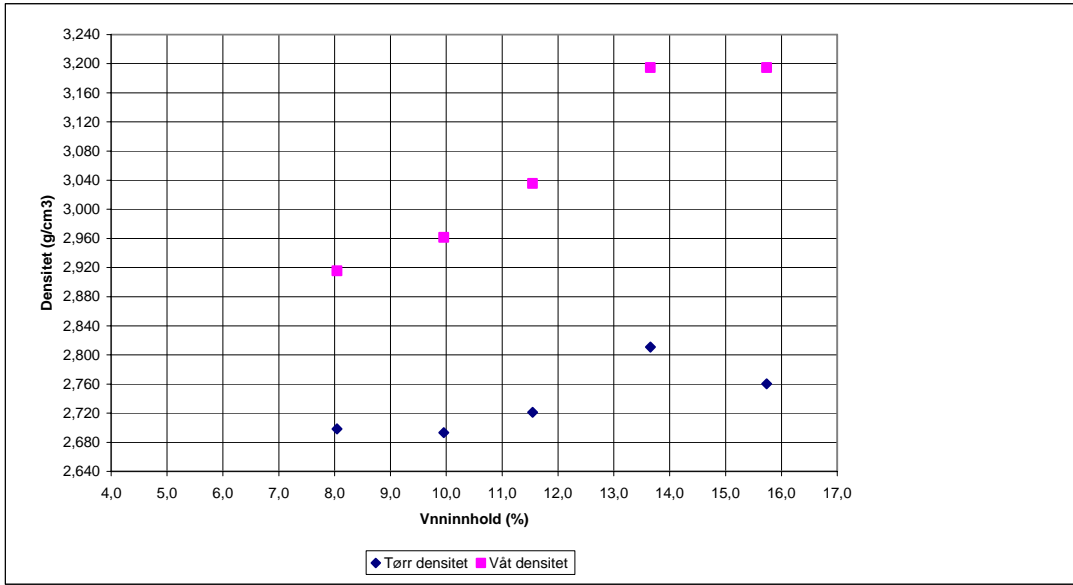
Skjema:torrsikt






 SINTEF SINTEF Teknologi og samfunn Veg og jernbaneteknikk		Particle density and water absorption																																																																																					
		Standard: NS-EN 1097-6																																																																																					
Materiale: Ba gjenvinning 0-11mm		Trondheim, 2006.01.13																																																																																					
Sted:		Utført av: <u>Lisbeth Johansen</u>																																																																																					
Analysert for: SVV/gjenbruk/teleforsøk																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Table 1</th> <th>Test portion</th> <th>Test portion</th> <th>Average</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Particle density and water absorption</th> <th>a(0.063-4mm)</th> <th>b(0.063-8mm)</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pyknometer (empty). (g)</td> <td>M_0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pyknometer + dry washed sample (g)</td> <td>M_5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dry washed sample (g)</td> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Pyknometer + saturated sample in water (g)</td> <td>M_2</td> <td>3529,70</td> <td>3318,10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pyknometer + water (g)</td> <td>M_3</td> <td>2666,40</td> <td>2677,70</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Saturated and surface dried sample in air (g)</td> <td>M_1</td> <td>1508,00</td> <td>1112,20</td> <td>1310,10</td> </tr> <tr> <td>Oven-dried sample in air M_4 (g)</td> <td>M_4</td> <td>1383,10</td> <td>1022,10</td> <td>2024,75</td> </tr> <tr> <td>Water absorption.(weight-%)</td> <td>W</td> <td>9,030</td> <td>8,815</td> <td>8,92</td> </tr> <tr> <td>Apparent particle density. (Mg/m³)</td> <td>ρ_a</td> <td>2,661</td> <td>2,678</td> <td>2,67</td> </tr> <tr> <td>Particle density on an oven dried basis . (Mg/m³)</td> <td>ρ_{rd}</td> <td>2,145</td> <td>2,166</td> <td>2,16</td> </tr> <tr> <td>Particle density on a saturated and surface-dried basis . (Mg/m³)</td> <td>ρ_{ssd}</td> <td>2,339</td> <td>2,357</td> <td>2,35</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Table 2</th> <th>Test portion</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Moisture content at start, third test portion</th> <th>c</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Weight after ≥ 5 days drying in 40 °C. (g)</td> <td>M_6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weight after drying to constant weight in 110°C. (g)</td> <td>M_7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weight water content $M_w - M_6$ (g)</td> <td>M_w</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>Moister ratio. (weight-%)</td> <td>MR</td> <td>#DIV/0!</td> </tr> </tbody> </table>					Table 1		Test portion	Test portion	Average	Particle density and water absorption		a(0.063-4mm)	b(0.063-8mm)		Pyknometer (empty). (g)	M_0				Pyknometer + dry washed sample (g)	M_5				Dry washed sample (g)	M			0,00	Pyknometer + saturated sample in water (g)	M_2	3529,70	3318,10		Pyknometer + water (g)	M_3	2666,40	2677,70		Saturated and surface dried sample in air (g)	M_1	1508,00	1112,20	1310,10	Oven-dried sample in air M_4 (g)	M_4	1383,10	1022,10	2024,75	Water absorption.(weight-%)	W	9,030	8,815	8,92	Apparent particle density. (Mg/m ³)	ρ_a	2,661	2,678	2,67	Particle density on an oven dried basis . (Mg/m ³)	ρ_{rd}	2,145	2,166	2,16	Particle density on a saturated and surface-dried basis . (Mg/m ³)	ρ_{ssd}	2,339	2,357	2,35	Table 2		Test portion	Moisture content at start, third test portion		c	Weight after ≥ 5 days drying in 40 °C. (g)	M_6		Weight after drying to constant weight in 110°C. (g)	M_7		Weight water content $M_w - M_6$ (g)	M_w	0,00	Moister ratio. (weight-%)	MR	#DIV/0!
Table 1		Test portion	Test portion	Average																																																																																			
Particle density and water absorption		a(0.063-4mm)	b(0.063-8mm)																																																																																				
Pyknometer (empty). (g)	M_0																																																																																						
Pyknometer + dry washed sample (g)	M_5																																																																																						
Dry washed sample (g)	M			0,00																																																																																			
Pyknometer + saturated sample in water (g)	M_2	3529,70	3318,10																																																																																				
Pyknometer + water (g)	M_3	2666,40	2677,70																																																																																				
Saturated and surface dried sample in air (g)	M_1	1508,00	1112,20	1310,10																																																																																			
Oven-dried sample in air M_4 (g)	M_4	1383,10	1022,10	2024,75																																																																																			
Water absorption.(weight-%)	W	9,030	8,815	8,92																																																																																			
Apparent particle density. (Mg/m ³)	ρ_a	2,661	2,678	2,67																																																																																			
Particle density on an oven dried basis . (Mg/m ³)	ρ_{rd}	2,145	2,166	2,16																																																																																			
Particle density on a saturated and surface-dried basis . (Mg/m ³)	ρ_{ssd}	2,339	2,357	2,35																																																																																			
Table 2		Test portion																																																																																					
Moisture content at start, third test portion		c																																																																																					
Weight after ≥ 5 days drying in 40 °C. (g)	M_6																																																																																						
Weight after drying to constant weight in 110°C. (g)	M_7																																																																																						
Weight water content $M_w - M_6$ (g)	M_w	0,00																																																																																					
Moister ratio. (weight-%)	MR	#DIV/0!																																																																																					
Datakatalog: I:\labekjem\EXCEL\		Skjema: Vannabsorpsjon																																																																																					

Ba gjenvinning 0-11mm, Densitet og vannabsorpsjon

 SINTEF SINTEF Bygg og miljø Veg og samferdsel		MODIFISERT PROCTOR			
		Utført etter: Lab. Undersøkelser 014: 14.462			
		Trondheim, _____		17.11.2004	
		Utført av: _____			
Materiale:		BA Gjenvinning			
Sted:		Oslo			
Analysert for:					
Spesifikk densitet: g/cm ³ Volum av sylinder: cm ³					
		2000			
STAMPING					
PRØVE NR	1	2	3	4	5
VEKT PRØVE + SYLINDER	10952	11043	11191	11509	11509
VEKT SYLINDER	5121	5120	5120	5120	5120
VEKT PRØVE	5831	5923	6071	6389	6389
VÅT DENSITET	2,916	2,962	3,036	3,195	3,195
TØRR DENSITET	2,698	2,693	2,721	2,811	2,760
VANNINHOLD					
SKÅL MERKET	1	2	3	4	5
VEKT SKÅL + VÅT PRØVE	6367,0	6494,0	6602,0	6954,0	7452,0
VEKT SKÅL + TØRR PRØVE	5933,0	5958,0	5974,0	6188,0	6570,0
VEKT SKÅL	538,2	573,5	534,6	577,3	964,4
VEKT VANN	434,0	536,0	628,0	766,0	882,0
VEKT TØRR PRØVE	5394,8	5384,5	5439,4	5610,7	5605,6
VANNINHOLD	8,0	10,0	11,5	13,7	15,7
					
Optimalt vanninnhold		13,7 %			
Maksimal tørrdensitet		2,811			
Datakatalog: P:\					
Mal: Proctor					

Ramlo sand

 SINTEF SINTEF Byggforsk Veg og jernbaneteknikk	SPESIFIKK DENSITET	
	Standard: Statens vegvesen - håndbok 014-271	
	Trondheim	
	Utført av:	
Materiale:	RAMLO SAND	
Sted:		
Analysert for:	SVV - gjenbruk/teleforsøk	
	Prøve 1	Prøve 2
Pyknometer nummer	1	2
Vekt av prøve + pyknometer	342,5 g	339,2 g
Vekt av pyknometer	123,6 g	123,5 g
Vekt av prøve	218,9 g	215,7 g
Vekt av prøve + pyknometer + vann	577,4 g	575,4 g
Vekt av prøve + pyknometer	342,5 g	339,2 g
Vekt av vann = Volum av vann	234,9 g	236,2 g
Volum pyknometer	315,3 ml	315,3 ml
Volum vann	234,9 ml	236,2 ml
Volum prøve	80,4 ml	79,1 ml
Spesifikk densitet	2,723 g/cm ³	2,727 g/cm ³
Midlere spesifikk densitet		2,725 g/cm ³
Datakatalog: I:\labskjemi\EXCEL\		
Skjema: densitet		

Ramlo sand, Densitet 25 grader

Klæbu silt

 SINTEF SINTEF Byggforsk Veg og jernbaneteknikk		SPESIFIKK DENSITET	
		Standard: Statens vegvesen - håndbok 014-271	
Trondheim		
Utført av:		
Materiale:	KLÆBUSILT		
Sted:			
Analysert for: SVV - gjenbruk/teleforsøk			
		Prøve 1	Prøve 2
Pyknometer nummer		3	9
Vekt av prøve + pyknometer		262,3 g	254,7 g
Vekt av pyknometer		123,2 g	104,0 g
Vekt av prøve		139,1 g	150,7 g
Vekt av prøve + pyknometer + vann		525,5 g	503,1 g
Vekt av prøve + pyknometer		262,3 g	254,7 g
Vekt av vann = Volum av vann		263,2 g	248,4 g
Volum pyknometer		313,9 ml	303,8 ml
Volum vann		263,2 ml	248,4 ml
Volum prøve		50,7 ml	55,4 ml
Spesifikk densitet		2,744 g/cm³	2,722 g/cm³
Midlere spesifikk densitet			2,733 g/cm³
Datakatalog: I:\labskjem\EXCEL\			
Skjema: densitet			

Klæbusilt, Densitet 25 grader

GJENBRUKSPROSJEKTET

VEDLEGG 3: TILLAGING OG TESTING AV PRØVER (FOTOS)



Utgangsmaterial; BA Gjenvinning 0-11 mm



Material tilsatt optimalt vanninnhold; vannutjevning 2 døgn



Sylinder, bunnplate



Sylinder, bunnplate med filterstein og vann (merk dråpe!)



Bunnplate med filterstein, vann og filterpapir (merk dryppert!)



Bunnplate plombert, plastringer montert



Bunnplate med ringer veies før innstamping



Innstampingssylinder av stål monteres utenpå



Klart til innstamping



Innstamping; 3 lag á 38 slag (Standard Proctor)



Innstamping ferdig



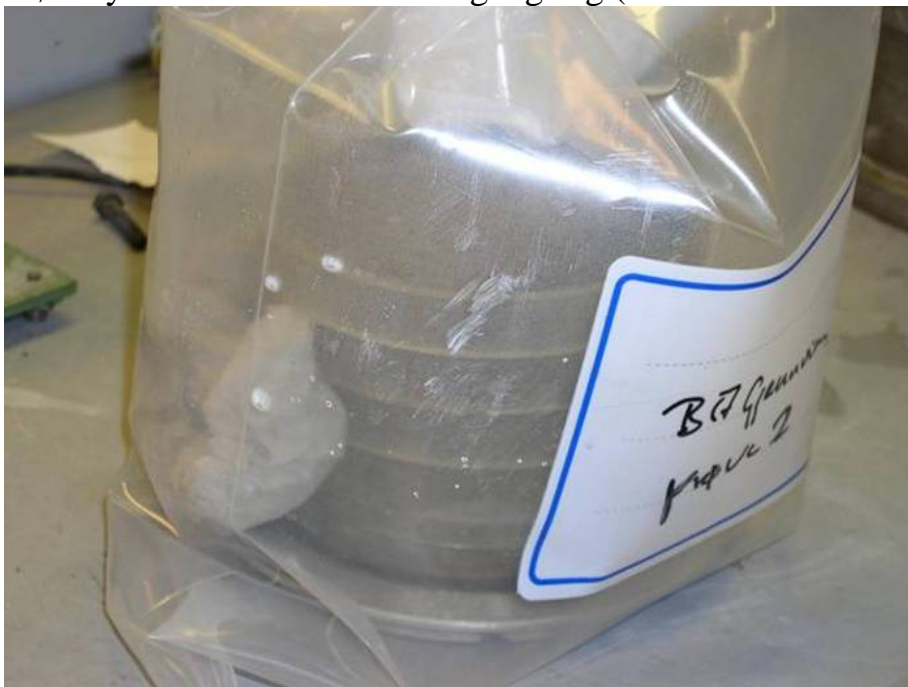
Montering av temperaturfølere i bunn, midt og topp (for registrering av frysefront)



Ferdig prøve (øverste ring tatt av og prøve avrettet)



Prøvesylinder satt til midlertidig lagring (tilnærmet 100 % RF)



Prøver for ”runde 4” satt på mellomlager (etterherding før fryseforsøk)

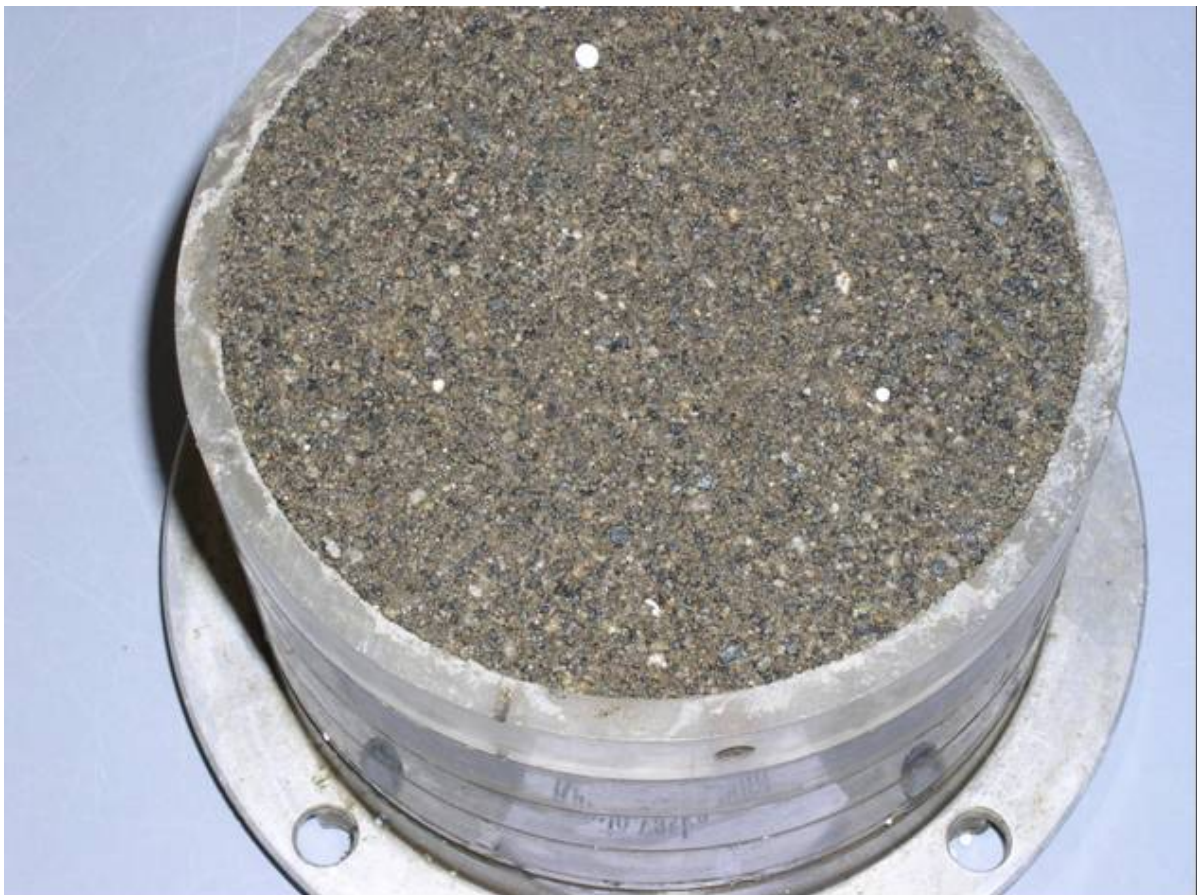


Fotos av prøver etter avsluttet teleforsøk:

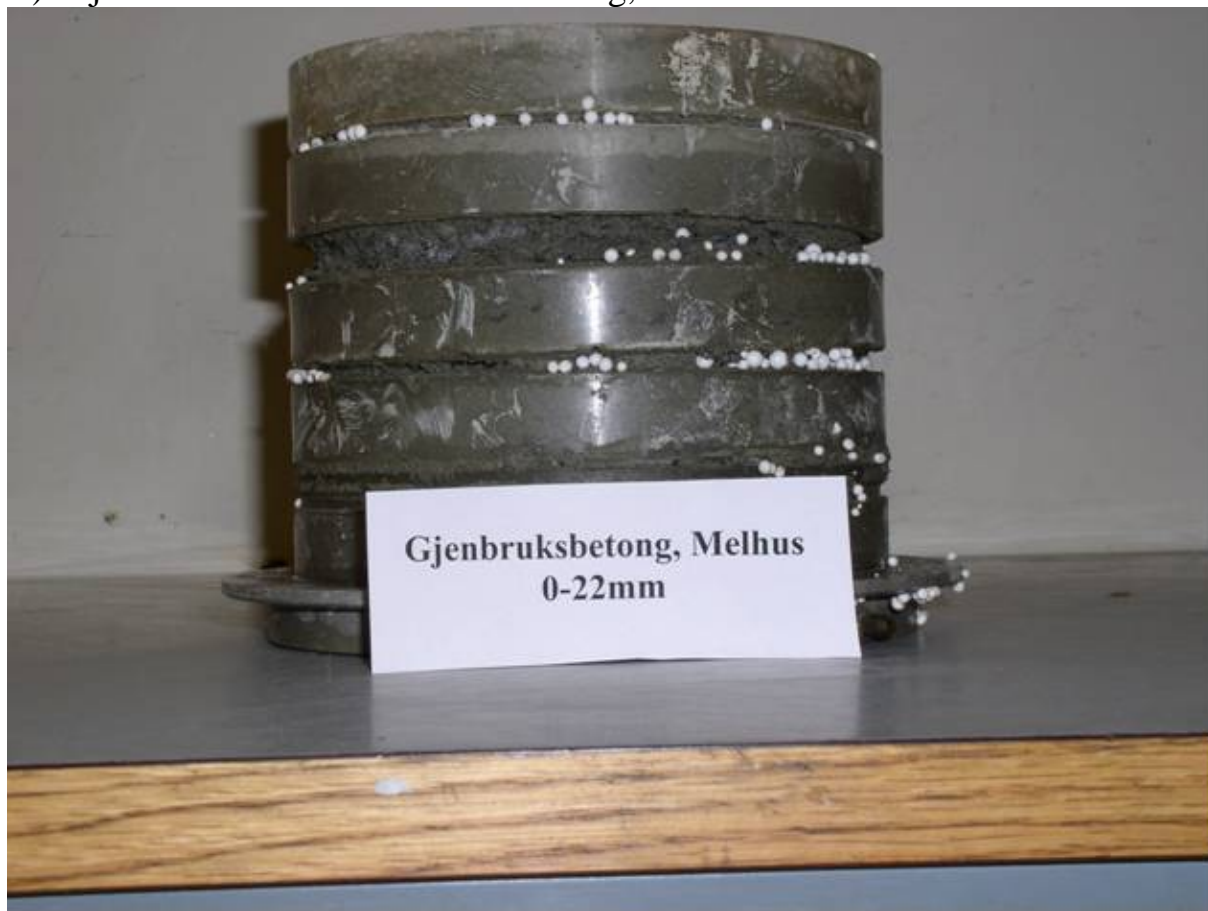
A) Referansematerial silt: Markert telehiving, tydelig islinsedannelse



B) Referansematerial sand: Ingen telehiving, ingen spor av islinser



C) Gjb Melhus 0-20 mm: Stor telehiving, markerte islinser



D) Gjb Melhus 0-10 mm: Markert telehiving, tydelig islinsedannelse



E) Gjb BA Gjenvinning 0-11 mm: Tydelig telehiving, tendens til islinser



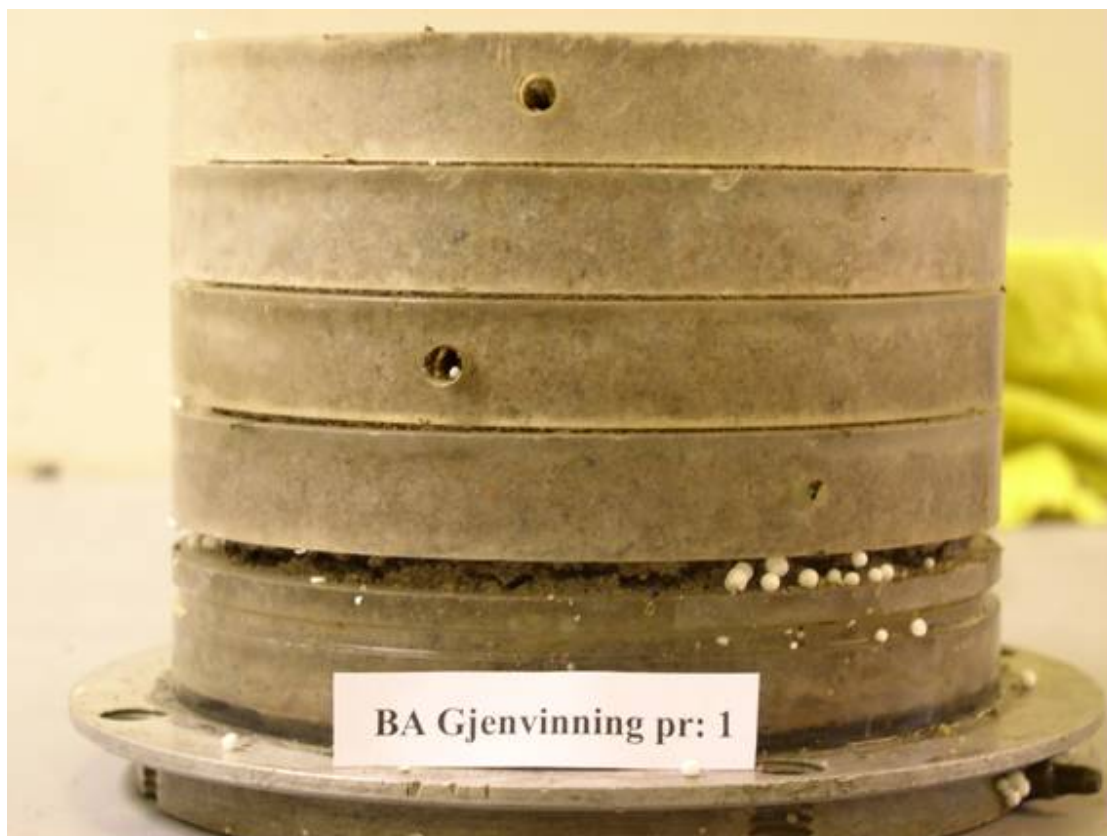
F) Mellomlagrede ("herdede") prøver:



Melhus betong, markert telehiving



Klæbu silt, markert telehiving



BA Gjenvinning prøve nr 1, tydelig telehiving



BA Gjenvinning prøve nr 2, tydelig telehiving

GJENBRUKSPROSJEKTET



VEDLEGG 4: DELPROSJEKT 3 "GJENBRUK AV BETONG"

Overordnet mål for DP3 er å formulere et forslag til anvendbare retningslinjer for bruk av resirkulert tilslag til vegformål og på denne måten gjøre det enklere for bestiller å ta i bruk materialet. Samtidig vil produsenter av resirkulert tilslag vite hvilke kvalitetskrav som gjelder. I tillegg skal også en deklarasjonsordning foreslått gjennom RESIBA-prosjektet utprøves.

En egen aktivitet i delprosjektet vil bli knyttet til resirkulert tilslag til ny betong, selv om det trolig er lite aktuelt å bruke vesentlige mengder resirkulert tilslag i bruer og kaikonstruksjoner. Tidligere prosjekter har vist at fasthet og egenskaper av fersk betong ikke er særlig påvirket av resirkulert tilslag brukt i grovere fraksjoner. Bestandighetsrelaterte egenskaper er lite undersøkt.

Delprosjekt 3 "Gjenbruk av betong" er delt inn i 7 aktiviteter:

- DP3-1 Uttesting av deklarasjonsordning
- DP3-2 Mekaniske egenskaper
- DP3-3 Kjemisk nedbrytning
- DP3-4 Frostnedbrytning
- DP3-5 Finstoffets betydning
- DP3-6 Bunden bruk
- DP3-7 Feltprøving

DP3-1 Uttesting av deklarasjonsordning

RESIBAs forslag til deklarasjonsordning for resirkulert tilslag ønskes utprøvd på resirkulert tilslag tilgjengelig på markedet. På den måten får man kjennskap til materialenes egenskaper samtidig som vi skaffer erfaring med laboratorieprøving av slike materialer.

DP3-2 Mekaniske egenskaper

Tradisjonelle laboriemetoder for testing av mekaniske egenskaper av steinmaterialer er ikke optimale for resirkulert tilslag. Målet med aktiviteten er å beskrive mekanismer som fører til mekanisk nedbrytning, beskrive aktuelle testmetoder og vurdere hvilke krav som bør stilles til resirkulert tilslag.

DP3-3 Kjemisk nedbrytning

Aktiviteten tar for seg nedbrytning av resirkulert tilslag på grunn av gjennomstrømning av vann. Målet er å vurdere om dette er et problem ved bruk av resirkulert tilslag i vegbygging, å vurdere hvilke materialegenskaper som best beskriver kjemisk nedbrytning og å vurdere hvilke krav som bør stilles til materiale og bruksmåte.

DP3-4 Frostnedbrytning

Motstand mot frostnedbrytning er viktig for resirkulert tilslag. Metoder for testing av frostegenskaper av vanlige steinmaterialer har vist seg å være for tøffe for resirkulert tilslag i forhold til realistiske eksponeringsforhold. Målet er å foreslå passende testmetode og realistiske krav til frostbestandighet.

DP3-5 Finstoffets betydning

Overordnet målsetting for denne aktiviteten er å beskrive og vurdere finstoffets sammensetning og dets betydning for oppførselen til resirkulert tilslag i vegkonstruksjoner, så som stivhetsøkning pga etterbinding, utvasking osv. Til slutt ønskes det å formulere et forslag til krav mht finstoffinnhold.

DP3-6 Bunden bruk

Bruk av resirkulert tilslag som tilslag i ny betong er ikke det største bruksområdet for resirkulert tilslag i Statens vegvesen, men man ønsker å supplere erfaringer fra RESIBA-prosjektet med bestandighetsrelaterte egenskaper. Aktiviteten er knyttet til bygging av Vegdirektoratets kontorbygg på Alnabru i Oslo.

DP3-7 Feltprøving

Overordnet målsetting er å ta vare på og systematisere erfaringer fra utførte prosjekter med gjenbruksmaterialer, bl.a. med tanke på innspill til feltforsøk i DP 6. For bedre oppfølging av prosjekter med gjenbruksmaterialer er det utviklet en database med kortfattet informasjon om utførelser med gjenbruksmaterialer, tilhørende laboratorie- og feltmålinger, rapporter, bilder m.v.

Delprosjektgruppen for DP3 "Gjenbruk av betong" består av:

- Geir Berntsen, Statens vegvesen (delprosjektleder)
- Nils Uthus, Franzefoss Pukk AS (nå Statens vegvesen)
- Edgar Dønåsen, Veidekke ASA
- Joralf Aurstad, Sintef (nå Statens vegvesen)
- Brit Sylte, Statsbygg (fram til 2003)
- Jacob Mehus, Norges byggforskningsinstitutt, NBI (nå Standard Norge)
- Jan Erik Dahlhaug, Statens vegvesen
- Jostein Aksnes, Statens vegvesen
- Øystein Myhre, Statens vegvesen
- Gordana Petkovic, Statens vegvesen

GJENBRUKSPROSJEKTET



VEDLEGG 5: RAPPORTOVERSIKT STATENS VEGVESENS GJENBRUKSPROSJEKT 2002-2005

Prosjekt-rapport nr.	Intern rapport nr. ¹⁾	Tittel	Del-prosjekt	Utarbeidet av
1	2309	Gjenbruksprosjektet. Prosjektrapport nr 1: Gjenbruk av knust betong og tegl i vegbygging Testing av mekaniske egenskaper – Erfaringsinnsamling	DP3	Joralf Aurstad, SINTEF
2	2310	Gjenbruksprosjektet. Prosjektrapport nr 2: Bruk av bildekk i støyvoller – Livsløpsvurdering	DP2 / DP5	Karin Synnøve Østby, stud. techn. NTNU
3	2350	Gjenbruksprosjektet. Prosjektrapport nr 3: Varm asfaltgjenvinning i verk	DP4	Olav Ruud, ATI et al.
4	2351	Gjenbruksprosjektet. Prosjektrapport nr 4: Kontroll og dokumentasjon av returafalt	DP4	Olav Ruud, ATI
5	2357	Gjenbruksprosjektet. Prosjektrapport nr 5: Gjenbruk av bildekk i vegbygging – Tekniske og miljøtekniske vurderinger	DP5	Arnt-Olav Håøya, Rambøll AS og Roald Aabøe, Statens vegvesen
5A	2375	Gjenbruksprosjektet. Prosjektrapport nr 5A: Miljøovervåkning av 3 pilotprosjekter med oppkuttete bildekk 2001-2003	DP5	Arnt-Olav Håøya og Guro Thue Unsgård, Rambøll AS
6	2408	Erfaringer fra feltstrekninger med kaldblandet gjenbruksasfalt - Vurdering av tilstandsutvikling og dekkelevetid	DP4	Joralf Aurstad, SINTEF et al.
7	2420	Materialegenskaper for kaldblandet gjenbruksasfalt - vannfølsomhet og styrkeparametere	DP4	Johnny Stenshagen, Mesta as, Øivind Moen, Veidekke ASA et al.
8	2421	Feltforsøk med ubundet asfaltgranulat - Avsluttende undersøkelser på forsøksstrekningene på Fornebu	DP4	Ragnar Bragstad, ATI et al.
9	2410	Materialstrøm for gjenvunnet asfalt	DP4	Ragnar Evensen, Via Nova et al.
10	2411	Frostbestandighet av resirkulert tilslag	DP3	Synnøve A. Myren, Statens vegvesen og Jacob Mehus, NBI /Standard Norge
11	2422	Gjenbruk av knust betong i vegbygging. Mekaniske egenskaper og testmetoder for resirkulert tilslag	DP3	Joralf Aurstad, SINTEF et al.
12	2423	Gjenbruksvegen E6 Melhus	DP6	Jostein Aksnes og Dag Atle Tangen, Statens vegvesen
13	2431	Materialdeklarasjon av resirkulert tilslag. Uttesting av deklarasjonsordning	DP3	Synnøve A. Myren, Statens vegvesen og Jacob Mehus, NBI /Standard Norge
14	2432	Miljøpåvirkning fra gjenbruksmaterialer i vegbygging	DP2	Gordana Petkovic, Statens vegvesen et al.
14A	2433	Miljøpåvirkning fra gjenbruksmaterialer i vegbygging – sementbaserte materialer	DP2	Christian J. Engelsen, NBI /Sintef Byggforsk et al.
14B	2434	Miljøpåvirkning fra gjenbruksmaterialer i vegbygging – asfalt	DP2	Torbjørn Jørgensen, Statens vegvesen et al.
14C	2435	Miljøpåvirkning fra gjenbruksmaterialer i vegbygging – oppkuttete bildekk	DP2	Arnt-Olav Håøya, Rambøll AS et al.
14D	2436	Miljøpåvirkning fra gjenbruksmaterialer i vegbygging – Skumglass	DP2	Arnt-Olav Håøya, Rambøll As et al.
15	2437	Finstoffinnhold i gjenbruksbetong	DP3	Joralf Aurstad, Statens vegvesen et al.

16	2438	Kjemisk nedbrytning av resirkulert tilslag. Forsøk med akselerert vanngjennomstrømming	DP3	Christian J. Engelsen, NBI /SINTEF Byggforsk et al.
17	2439	Konstruksjonsbetong med resirkulert tilslag	DP3	Synnøve A. Myren, Statens vegvesen og Jacob Mehus, NBI /Standard Norge
17A	2440	Støttemur ved E6 Taraldrud. Anleggstekniske erfaringer med bruk av knust betong i nye betong	DP3 /DP6	Dag Atle Tangen, Brobyggern AS /Statens vegvesen
18	2441	Gjenbruksvegen E6 Klemetsrud – Assurtjern	DP6	Dag Atle Tangen, Brobyggern AS /Statens vegvesen
19	2442	Reelle muligheter for gjenbruk – status ved avslutning av Gjenbruksprosjektet	DP7	Gordana Petkovic, Statens vegvesen
20	2377	Utradisjonelle gjenbrukstiltak – Eksempelsamling	DP8	Dag Atle Tangen, Brobyggern AS /Statens vegvesen
21	2445	Gjenbruk av avfallsglass som granulert skumglass i vegkonstruksjoner	DP5	Roald Aabøe, Statens vegvesen et al.
22	2446	Flyveaske fra papirproduksjon brukt i kalksementpeler	DP5	Guro Brendbekken, Optimal geoteknikk et al.

¹⁾ Teknologivdelingens rapportserie (Internrapporter, fra juni 2005 Teknologirapporter)