

## Pilestredet park – krav til gjenbruk og konsekvens for betong

Stefan Jacobsen, Institutt for konstruksjonsteknikk, NTNU  
Torleif Harrysson, PEAB

### 1. Innledning

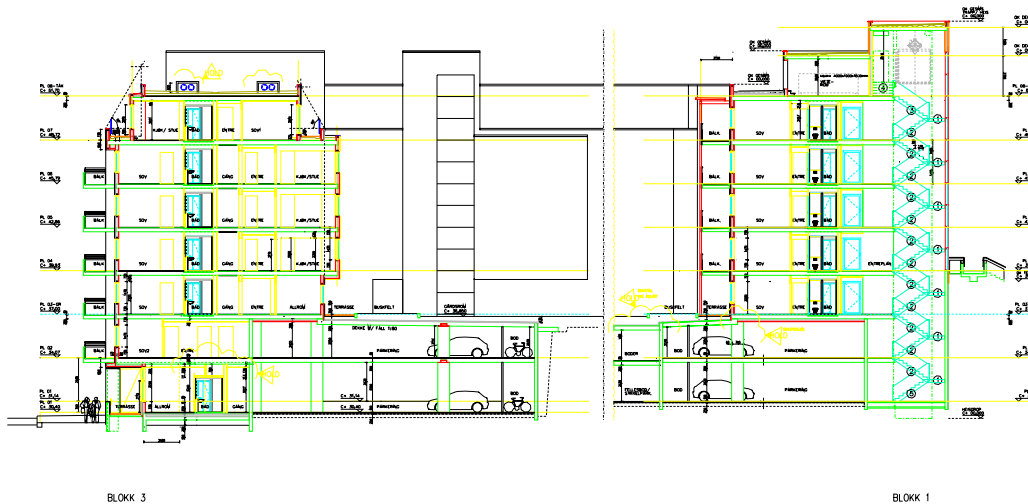
Pilestredet park er en ny bydel som siden 1997 har vært under oppføring på det gamle Rikshospitalsområdet i Oslo. I et eget Miljøoppfølgingsprogram (MOP) som er utarbeidet av Statsbygg og Oslo kommune [1] er det gitt omfattende miljømål for utbyggingen av området, bla at det skal brukes minst 25 vekt-% resirkulerte materialer i bygninger, utvendige dekker, konstruksjoner etc. Gjennomføringen av miljømålene er ”privatisert” ved at det er utbyggerne av de ulike delområdene som i praksis følger opp MOP. I et av delområdene utvikler og oppfører PEAB AS nye boliger i prosjektet Pilestredet Park Utsyn. Den nye konstruksjonen utføres med plasstøpt betong og platendekker. I samarbeide med bla betongleverandøren Unicon og deres materialleverandører arbeides det med å oppnå gjenbruksmålet i MOP. Resirkulerte delmaterialer benyttes i den plasstøpte betongen i praktisk talt hele den ca 16000 tonn tunge betongkonstruksjonen for å nå målet i [1]. Selv om det store omfanget av gjenbruksmaterialer i konstruksjonen representerer noe nytt, er ikke gjenbruksmaterialer i betong noe nytt. Både i Norge og internasjonalt er det gjennomført forskning, og standarder og retningslinjer er etablert på dette [2-7]:

- Bindemiddel: dagens standardsement på det norske markedet, Norcem std FA, inneholder 20 vekt-% (resirkulert) flyveaske [8]. Videre er silikastøv et (resirkulert) materiale som, som kjent for de aller fleste i betongbransjen, i mange år har vært i vanlig bruk i betong. Både flyveaske og silikastøv er i dag standardiserte bindemidler for betong [9,10].
- Tilsetningsstoff: lignosulfonat er et industrielt biprodukt på samme måte som flyveaske og silika selv om det vektmessig utgjør svært lite.
- Gjenbruk av blandevann: dette er standardisert og utprøvd [5,11,12] og et viktig bidrag fordi store deler av vannet vil inngå i herdet betongs faststoff og som fysisk bundet vann selv ved lave relative fuktigheter.
- Når det gjelder tilslag finnes mye erfaring internasjonalt og også her i Norge på ulike gjenbruksmaterialer i betong som f.eks glass, glassfiller, knust betong, murverk etc. I tillegg kan tilslag fra fersk betong brukes [11]. Det er utarbeidet regelverk [4] som supplement til konstruksjonsstandarden [13] slik at det er mulig med gjenbruk av betong i konstruktiv betong. I tillegg til Norsk betongforenings arbeid [4] har Kontrollrådet for betongprodukter utarbeidet forslag til sertifiseringsordning for resirkulert tilslag som inkluderer andre materialer enn bare ren betong [14]. I et foreliggende utkast til tillegg til europeisk standard for betongtilslag [15] kan opptil 10 % andre materialer enn betong inngå i resirkulert betongtilslag.

I det etterfølgende presenteres den aktuelle betongkonstruksjonen, utfordringer og muligheter med betongmaterialet og noen videre undersøkelser rundt dette i et pågående forskningsprosjekt i samarbeid mellom PEAB og NTNU.

### 2. Betongkonstruksjonen

Pilestredet Park Utsyn består av 138 leiligheter i 6 etasjer med parkering i under- og første etasje og boliger i de øvre etasjene. Hele konstruksjonen veier ca 16000 tonn hvorav rundt 80 % er betong. Figur 1 viser snitt av en del av konstruksjonen.



Figur 1 Snitt av Pilestredet Park Utsyn

Konstruksjonen er utført med tradisjonelle plastøppte bærende betongvegger. Dekkene består av (prefabrikerte) platendekker i alle etasjeskillere. Det brukes både slakkarmerte og forspente platendekker som er hhv 50 og 80 mm tykke. De slakkarmerte dekkene brukes i opp til ca 7 m spenn, mens de spennarmerte brukes i opp til 10 m spenn. Fabrikkblandet betong (med resirkulerte materialer) støpes på disse til en total dekketykkelse på 280 mm. PEAB har god erfaring med produksjon av denne typen konstruksjon fra Marienlyst Park i Oslo før oppstart av Pilestredet Park Utsyn. Det ble derfor besluttet å bruke resirkulerte materialer i den plastøppte betongen for å nå gjenbruksmålet i MOP [1].

I tidligere erfaringer med betong og gjenbruk i Pilestredet Park er det brukt hulldekker med resirkulert betong [5,16] og stål i bæresystemet. I Pilestredet Utsyn er bærende deler av konstruksjonen i all hovedsak utført i betong. Derfor utgjør betong en større andel av konstruksjonens vekt enn i tidligere konstruksjoner i Pilestredet Park. For å oppnå mål om 25 vekt % resirkulerte materialer hadde det enkleste vært å benytte så høy andel resirkulert materiale som mulig i veggene fordi det beregningsmessig ville ha liten betydning sammenlignet med mulige effekter av nedbøyninger i dekker [17]. Imidlertid inneholder dekkene et vesentlig høyere betongvolum enn veggene. For å kunne oppnå gjenbruksmålet for betong alene må derfor utvidede beregningsregler i [4] for betong med høy andel resirkulert betongtilslag benyttes flere steder i dekkene. Utfra usikkerhet, særlig rundt materialets deformasjonsegenskaper og dermed nedbøyninger, ble det besluttet å begrense andelen resirkulert tilslag vesentlig i betongen i dekkene inntil bedre materialdata er etablert. Et forskningsprosjekt er igangsatt [18] for å undersøke dette.

### 3. Betongmaterialet

#### 3.1 Oppnåelig gjenbruksandel med dagens marked og regelverk

Mengden gjenbruksmaterialer i vekt % av betong som er praktisk oppnåelig i dag for kommersiell betong i Norge er bestemt av markedstilgang på de foran nevnte gjenbruksmaterialer samt hva standarder og regler [4, 8-15] tillater. Videre er det en praktisk terskel at beregningsgrunnlaget for en armert betongkonstruksjon ikke endres [4] så lenge andel resirkulert tilslag er lavere enn rundt 15 – 20 % av tilslagsvekten. Tabell 1 viser en

enkel oversikt over forventet variasjonsområde for praktisk oppnåelig gjenbruksandel i en ”byggbetong” uten endret prosjektering iht [4] med materialer tilgjengelige i Oslo-området.

Tabell 1 Praktisk oppnåelig andel resirkulerte materialer i ”bygg-betong” ved enkleste utnyttelse av tilgjengelige resirkmaterialer og eksisterende regelverk

<b>Delmateriale</b>	Typiske mengder (kg/m <sup>3</sup> )	Mengde resirk (kg/m <sup>3</sup> )	<b>Vekt-% resirk</b>
Flyveaskesement	300 - 400	60 - 80	20
silikastøv	0 - 20	0 - 20	100
Resirkulert vann	180 - 240*	90 – 128**	100
Lignosulfonat (tørrstoff)	1	1	100
Tilslag	1800	270 – 360***	15 – 20
<b>Betong</b>	Ca 2400	420 - 588	<b>18 - 25</b>

\*: v/b = 0,60, \*\*: kjemisk og fysisk bundet vann tilsvarende v/b = 0,30

\*\*\*: ikke begrensning, men krever ingen ekstra prosjektering iht [4]

Pr i dag er resirkulert tilslag og resirkulert vann minst tilgjengelig og minst innarbeidet slik at gjenbruksandelen i betong i praksis oftest begrenses til bruk av flyveaskesement, silikastøv og lignosulfonat. Det er derfor pr i dag helt klart en utfordring å produsere en betongkonstruksjon med 25 vekt % gjenbruksmaterialer.

### 3.2 Krav til renhet av betongtilslag

Tilslaget utgjør den største vektandelen av betongen og får derfor en del oppmerksomhet. Tabell 2 gir en forenklet oversikt over regelverket for ”forurensninger”, dvs materialer som ikke er betong (tegl, lettklinker, asfalt etc.). Sammenlignet med [4] foreslås i [14, 15] å tillate økt andel av andre materialer enn betong.

Tabell 2 Sammenligning av noen krav til resirkulert tilslag (vekt-% hvis ikke annet angitt)

Bestanddel	Type / Dokument		
	Type II/ [4]	Type 1A / [14]	RCA1/[15]
Betong, stein og murverk	> 99	> 94 (tegl < 5)	≥ 90 ≤ 10
asfalt	< 1 (tot.ikke-min.)	< 5	≤ 5
Ikke-min. inkl glass		< 1	≤ 0,5 (andre fr mtrl.)
Isolasj. mtrl (vol-%)	< 0,1	< 0,1	-
Organisk mtrl (vol-%)	< 0,1	< 0,1	-
LW Mtrl (<1000 kg/m <sup>3</sup> )	-	-	≤ 0,5
Densitet - ovns tørr	> 2000 kg/m <sup>3</sup>	> 2000 kg/m <sup>3</sup>	-
- vannm overfl t	> 2100 kg/m <sup>3</sup>	> 2100 kg/m <sup>3</sup>	-
Abs. (m-% ovns tørr)	< 10	< 10	-

Fra tabell 2 konkluderer vi foreløpig med at Norsk Betongforenings publikasjon er strengest og at den aksepterer lite annet en betong i betong (!). Kontrollrådet for betongprodukter [14] og forslag til tillegg til den europeiske betongtilslagsstandard [15] tillater økende andel av andre materialer enn betong i betong. Dersom [14, 15] innføres i [4] vil det trolig øke tilgangen på resirkulert tilslag som tillates brukt i betong.

### 3.3 Materialeegenskaper

#### 3.3.1 Betongsammensetning og fersk betong

Unicon produserte innledningsvis 4 resepter for Pilestredet Park Utsyn som med resirkulert vann har 20 – 39 vekt-% resirkulert materiale [19]. Etter innledende erfaringer i Pilestredet

Park Utsyn utføres PEABs produksjon av betongkonstruksjonen i dag i all hovedsak basert på to betongresepter fra Unicon, se tabell 3. Disse bruker ikke resirkulert vann.

Tabell 3 Betong sammensetning fra UNICON (kg/m<sup>3</sup> hvis ikke annet angitt)

Delmateriale	B30M60 (vegg)	B35M40 (dekke)
Norcem std FA	239	402
Norcem Anlegg	97	-
Silika støv	10	17
Sand 0-8	977	901
Pukk 8-16	473	515
RCA 8-22	316	308
Tilsetningsstoff	1,68P <sup>1</sup> +2,2SP <sup>2</sup>	3,2P <sup>1</sup> +4,8SP <sup>2</sup> +1,6L <sup>3</sup>
Tilsatt vann	182	166
Densitet	2299	2318
Vekt % resirk tilslag (% tot /% > 4 mm)	33 / 55	35 / 51
Silikastøv % betongvekt	0,4	0,7
Flyveaske % betongvekt	2,1	3,5
Resirkulert betongtilslag % ny betong (Resirkulert vann % betong <sup>4</sup> )	13,7 (4,4)	13,3 (5,3)
ΣResirkulerte materialer % betong <sup>5</sup>	16,3	17,5
Levert fra Unicon okt-04-1.okt 05	2744 m <sup>3</sup>	987 m <sup>3</sup>

P<sup>1</sup>:MBT P Deg, SP<sup>2</sup>: Glenium 151, L<sup>3</sup>:Micro air 100 Deg <sup>4</sup>: kun forsøk med resirk. vann, <sup>5</sup>: vann ikke inkl.

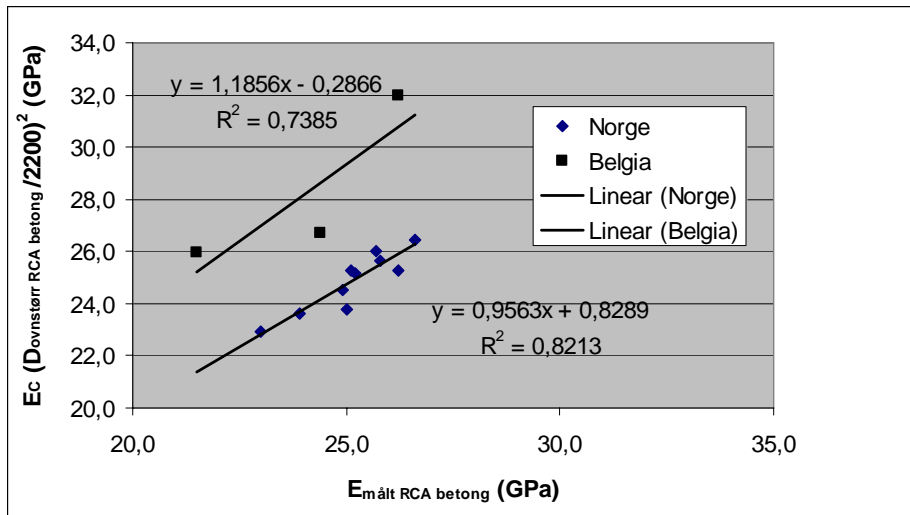
Produksjonen med disse reseptene er ikke uten praktiske problemer, bla pga variasjon både i tilslagets absorpsjon og fuktinnhold. Iflg Unicon har absorpsjonen variert mellom 6,5 og 9 % med 8 % som en praktisk verdi, mens fuktinnholdet har variert fra 13 % helt i starten til 6-7 %. I 1 m<sup>3</sup> betong er dermed variasjonen i absorpsjon opptil (0,09-0,065)\*~300 = 7,5 kg mens variasjonen i fuktinnhold er opptil (0,13-0,06)\* ~300=21 kg. Dette kan forårsake variasjon i effektiv v/b på opp mot 0,07. Med slike variasjoner er en forutsigbar og stabil konsistens vanskeligere (umulig?) å oppnå sammenlignet med ND betong [20]. På byggeplassen har man kommentert at det har vært større konsistenstap enn med ordinær byggbetong og etterdosering av tilsetningsstoff har vært flittig brukt. Et område som derfor vil undersøkes nærmere er hvordan varierende fuktinnhold i tilslaget påvirker konsistens og –tap og også effekten av ulike typer tilsetningsstoff.

### 3.3.2 E-modul og volumstabilitet

Betongens E-modul, svinn- og krypegenskaper er bestemmende ved beregning av deformasjoner i dekke. Når andelen resirkulert tilslag økes til mer enn ca 20 % av tilslagets vekt (ca 15 % av betongens vekt), noe varierende avhengig av ny betongkvalitet og tilslagets kornstørrelse, brukes beregningsreglene i [4]. Disse er basert på at E-modulen i betong med resirkulert tilslag,  $E_{c\text{RCA}}$ , reduseres på samme måte som i lettbetong [13]:

$$E_{c\text{RCA}} = E_c(D_{\text{ovnstørr RCA betong}}/2200)^2 \quad (1)$$

Her er  $E_c$  E-modul i betong uten resirkulert tilslag og  $D_{\text{ovnstørr RCA betong}}$  er ovnstørr densitet til betong med resirkulert tilslag. I Figur 2 er beregnet E-modul sammenlignet med E-modul målt i laboratoriet [21, 22] på betongblandinger med ulike andeler av tilslaget erstattet med resirkulert betong. De norske dataene [21] er basert på den samme produsenten av RCA som Unicon og PEAB nå bruker (BA Gjenvinning).

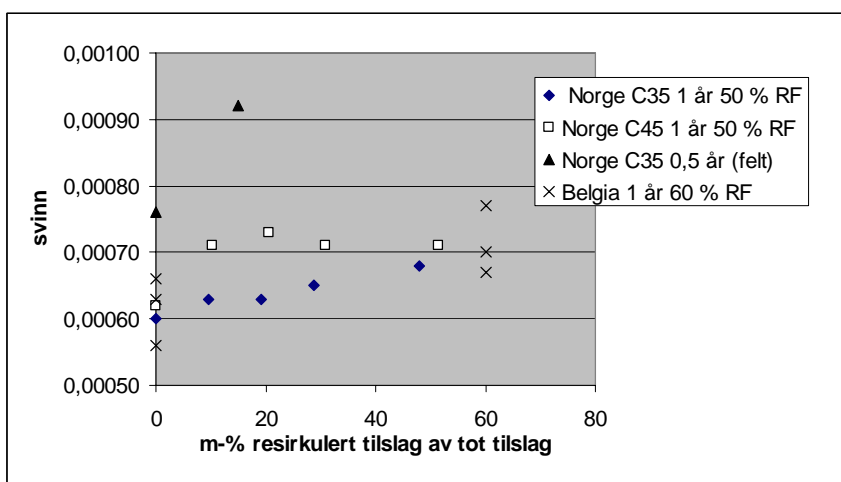


Figur 2 Sammenligning av målt og beregnet E-modul i betong med 20 – 100 % av grovt tilslag (> 11 mm) erstattet med resirkulert betong, data fra Lahus et al og dePauw et al [21,22]

Figur 2 viser at E-modul beregnet iht [4, 13] er 0,95 – 1,2; litt lavere enn laboratoriemålingene for de norske dataene mens de belgiske data gir litt for høye beregnede verdier, men her er spredningen veldig stor og det er kun tre punkter. Merk at de to forsøksseriene var ulikt utformet ved at den norske serien består av to ulike v/c tall med varierende andeler av det grove tilslaget (> 11mm) byttet ut med resirkulert pukk tilsvarende 8 – 48 % av alt tilslag. I den belgiske serien er ”alt grovt” tilslag, tilsvarende ca 60 % av alt tilslag, byttet ut med ren knust betong i alle de tre seriene. I de norske betongene ble effektivt v/c tall korrigert for 1-times absorpsjon og var konstant lik hhv 0,52 for C45 og 0,60 og C35. I de belgiske betongene var effektiv v/c ikke korrigert slik at densiteten varierer fordi v/c og sementmengde varierer mens andelen RCA var konstant lik 60 %. Densiteten i de norske betongene, derimot, varierer hovedsaklig fordi andel resirkulert tilslag varierer.

### 3.3.3 Svinn

Figur 3 viser svinn etter 1 år for betongene i figur 2 samt etter ½ år på en serie støpt i felt.



Figur 3: Svinn i betong med resirkulert tilslag, data fra Lahus et al. og dePauw et al [21, 22]

Figur 3 viser kun en liten økning i svinn med økt innblanding av betong i betong når vanntilsetning kompenseres for absorpsjonen i tilslaget slik at man sammenligner like effektive v/c (C35 og C45 etter 1 år). Disse betongene sammenligner også proporsjonalt økende volumandeler resirkulert tilslag (med noenlunde like fuktinnhold) i like prøvestykker med lik herding. For de øvrige betonger sammenligner plottet ”epler og pærer” fordi C35 og C45 1 år ble vannlagret i 28 døgn før svinnmålinger i 50 % RF startet [21], den belgiske betongen ble eksponert i 60 % RF allerede etter avforming ved 24 timer [22] mens forbehandlingen for C35 0,5 år er noe uklar. Også prøvestykkenes geometri og volumandel av resirkulert tilslag var forskjellige. De sistnevnte dataene gir dermed kun en indikasjon på i hvilken størrelsesorden man kan forvente seg at svinnet vil være i betongprismer med v/c i størrelsesorden 0,52 – 0,68 med 0 og 60 % RCA og uten kontroll med effektiv v/c.

### 3.3.4 Kryp

Krypmålinger ble foretatt på de belgiske betongene med 0 og 60 % grovt resirkulert betongtilslag ved 1/3 av bruddlast. Tabell 4 nedenfor viser beregnede kryptall ut fra måledata for kryp-, svinn og E-moduler som er gitt i [22].

Tabell 4: kryptall etter 1 år ( $\varphi_{1\text{ år}}$ ) i betong med 0 og 60 % grovt resirkulert tilslag beregnet med måledata fra dePauw et al [22]

Sement (kg/m <sup>3</sup> )	0 % RCA	60 % RCA
350	0,8	1,2
300 SP-stoff	0,8	1,4
300	1,0	1,3

Tabell 4 viser at kryptall øker med 0,3 – 0,5 når alt det grove tilslaget, rundt 60 % av tilslagsvekten, erstattes med resirkulert betong i denne typen betong. Derfor foreslås følgende ca kryptallsberegning for betong med resirkulert tilslag [19] basert på middel av de tre kryptallene i siste kolonne i tabell 4 og lineær interpolering ved lavere innblanding enn 60 % (n: resirkulert tilslag i vekt-% av total tilslagsvekt):

$$\varphi_{RCA1\text{ år}} = \varphi_{ND1\text{ år}} + n/150, n < 60 \quad (2)$$

(2) kan vurderes grovt ut fra de faktorer som påvirker kryp. I tillegg til tilslagets egenskaper er last og –historie (alder ved pålastning, størrelse etc), v/c og pastavolum, klima og konstruksjonens geometri bestemmende. Beregning iht håndregnemethoden i [23] gir  $\varphi_{ND1\text{ år}} \approx 1,9$  for tilsvarende normalvektbetong, klima, geometri etc som i forsøkene i [22]. Verdiene i tabell 4 for 0 % RCA er altså litt lave, men den relative endringen i kryp er trolig realistisk; dvs at kryptallet øker med innblanding av RCA. Merk at [4] ikke er i overensstemmelse med disse observasjonene av øket kryp i betong med RCA, noe som kan indikere behov for revisjon av [4].

### 3.3.5 Bestandighet, fukt etc

I Unicons betongproduksjon er muligheter for alkalireaksjoner parert ved kontroll av totalt alkaliinnhold og bruk av pozzolaner. Betong til dekker er luftinnblandet med tanke på frost. Fukttilstand er en viktig parameter for de fleste betongegenskaper; fersk betong (tilslagets fukttilstand), mekaniske/volum egenskaper (fasthet, E-modul, kryp, svinn), bestandighet mm. I de undersøkelsene som er under oppstart er fuktinnholdet i det porøse tilslaget en viktig variabel og det planlegges en del uttørkingsforsøk i tillegg til undersøkelser av fukttilstandens betydning for ferske og mekaniske egenskaper.

#### 4. Oppsummering

I Pilestredet Park Utsyn er et mål å produsere en betongkonstruksjon med 25 vekt-% gjenbruksmaterialer. Dette er en stor utfordring i dagens marked og fasit for denne konstruksjonen vil foreligge først etter at produksjonen er avsluttet. Beregningsregler for høyere andel resirkulert tilslag er ikke utnyttet i pilestredet pga usikkerhet om materialets langtidsoppførsel samt at man nok har tatt i betraktning de variasjoner som eksisterer i absorpsjon, fuktinnhold etc. Tilsvarende forklaringer kan muligens finnes for gjenbruk av vann hvor det også finnes fullskala erfaring og standardisering [5, 12]. I praksis er derfor i dag vektandel gjenbruksmaterialer i betong beskjedent sammenlignet med Statsbyggs mål i MOP [1] og begrenset til bindemiddel med bruk av flyveaskesement, silika og lignosulfonat tilsetningsstoff. Et viktig spørsmål for betongbransjen videre i denne sammenhengen blir dermed om byggherrer og prosjektutviklere i fremtiden vil ha høy andel gjenbruksmaterialer som mål for nye konstruksjoner og om betong i så fall ønsker å konkurrere i dette markedet. I så fall kan NTNU tilby undervisning og forskning som kan bidra til dette.

#### 5. Henvisninger

1. Miljøoppfølgingsprogram for Pilestredet park, Statsbygg (1999) 39 p. (Norw.)
2. Karlsson, M. "Materialgjenvinning av betong – erfaringer RIT 2000", NBdag (1999) 4 s.
3. Mehus J. mfl Bruk av resirkulert tilslag i bygg og anlegg – status 2000 (Resiba prosj.rapp 01/2000, NBI prosjektrapport 287 (2000) 64 s.
4. Norsk betongforening publ.26 Materialgjenvinning av betong og murverk for betongproduksjon (2003) 11 + 8 s.
5. Linja. A, Helland S.: Pilestredet park – resirkulert materiale i ny produksjon, Norsk betongdag (2001) 18s. (inkl. kopi fra Betongindustrien 4/2000 s.14-15: Johansen K., Dahl P.A, Injar J.: Hulldekker med resirkulert pukk – unngå spor av tegl)
6. Hansen T.C, Recycling of demolished concrete and masonry, Rilem r6 TC37DRC (1992)
7. Sustainable construction; Use of Recycled Concrete Aggregate (RCA), Thomas Telford, London ISBN 0 7277 2726 5 (1998) 525 s.
8. [www.norcem.no](http://www.norcem.no)
9. NS-EN 197-1 Sement del 1: Sammensetning, krav etc (2004)
10. NS 3045 Silikastøv for betong (1992) 6 s.
11. NS EN 206-1 Betong del 1 (2001) 90 s.
12. NS-EN 1008 Blandevann for betong, medregnet gjenvunnet vann (Tillegg A) (2002) 15 s.
13. NS 3473 Prosjektering av betongkonstruksjoner (2003) 124 s
14. Kontrollrådet for betongprodukter – forslag deklarasjonsordning res tilsl (2003) 11+3 s.
15. CEN TC 154/SC 2 N 195 E, Rev. forslag tillegg (AMD) til EN 12620 Feb.7 (2005) 15 s.
16. <http://www.contiga.no>
17. pers komm Helge Seim, Seim & Hultgreen, feb 2005
18. Skattefunnprosjekt Peab-NTNU (2005)
19. Jacobsen S., Harrysson T., Skaattun F., Seim H.; Production of concrete structure with recycled materials, Proceedings NCR Sandefjord, Norsk Betongforening (2005) 197-199
20. Pers komm O.Jørgensen, F.Skaattun, Unicon sept.2005, J.Wallevik, NTNU, okt.2005
21. Lahus O., Lillestøl B. et al, Bruk av resirkulert tilslag i sementbaserte produkter, Resiba prosj.rapp 07/2002, NBI prosjektrapport 331 (2002) 60 s.
22. DePauw C. et al., Shrinkage and creep of concrete with recycled materials as coarse aggregates, ref som [7], s.213-225
23. Herholdt A.D. mfl Betonbogen 2. utg (1985) 731 s.