

Återvunnen betongs kvalitet och möjligheter

Christer Molin
Tekn. dr

Förord

Projektet har finansierats av SBUF. Projektnummer är 11444.

Referensgruppen bestående av

Håkan Arvidsson, VTI

Peter Dittlau, Vägverket

Göran Klevbo, CBI

tackas för värdefulla synpunkter.

Stockholm den 21 januari 2005

Lars-Olof Dahl, Lodab
Projektledare

Christer Molin, Carl Bro Barab
Utredningsman

Kjell Larsson, Kellek
Utredningsman

Innehållsförteckning

Förord.....	1
Bakgrund, syfte och avgränsning.....	4
Användningsområden	4
Rekommendationer	5
Allmänt.....	5
Anvisningar och kommentarer	6
Referenser	7

Bilagor

1. Förkortad genomgång av relevanta bidrag vid ”International Rilem Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures.
2. Föredrag om “Återvunnen betongs kvalitet, inverkan av hållfasthet, kontaminering och krossningsmetod”, konferensversionen.

Bakgrund, syfte och avgränsning

Armerad betong utgör en stor andel av de byggnader som rivs eftersom den bärande stommen, grund- och markkonstruktioner oftast består av betong. Dessa stora mängder fullgott byggnadsmaterial bör inte hamna på tipp.

Den armerade betongen visar sig ha god potential för återvinning.

Denna studie syftar till att belysa återvunnen betongs kvalitet och möjligheter sammanfattade i rekommendationer användbara vid upphandling.

Förtillverkade betongelement kan återanvändas i nya byggnader. Denna möjlighet berörs inte i denna rapport bl.a. därför att den platsgjutna betongen volymmässigt är mycket större.

Användningsområden

Den platsgjutna betongen rivs med lämplig rivningsmetod. Idag är hydraulsaxar som både kan klippa och tugga sönder betongen samt kapa armeringen vanliga. Lämpliga bitar kapas direkt till för bearbetning i betongkross där armeringen avskiljs med en kraftig magnet.

Det är vanligt att nya byggnader, vägar m.m. uppförs på rivningsplatsen. Idealiskt är det då att återanvända den krossade betongen på plats så mycket som möjligt.

Kan betongen inte omhändertas på platsen skickas den i styckat eller krossat skick till en återvinningscentral.

Den separerade armeringen smälts ned i ett stålverk till nytt konstruktionsstål.

Ett uppenbart lämpligt användningsområde för den återvunna betongen är för bär- och förstärkningslager i vägar och planer. Mycket goda erfarenheter i mer än tio år finns från Tyskland, Nederländerna, Danmark och Finland. Utvärdering med triaxialprovning och fältprovning visar att krossad betong ofta ger mer bärkraft och mindre sättningar än vanlig stenkross. I Sverige tillåter Vägverket krossad betong i förstärkningslager, skyddslager och underbyggnad.

Ett annat gynnsamt användningsområde är att ersätta en viss del av den jungfruliga stenballasten med krossad betong vid tillverkning av ny betong. Man kan ersätta upp till 30 % av ballasten med en kornstorlek större eller lika med 4 mm utan att kvaliteten nämnvärt ändras.

Det är ännu bättre om all krossad betong, även den del med kornstorlek mindre än 4 mm, återvinns.

Det är enkelt att tillverka betong med enbart krossad betong som ballast. Men då måste tillsatsmedel användas, annars blir konsistensen hos den färska betongen mycket trög och vattenbehovet stort. Kvaliteten blir inte så hög, men tillräckligt hög för många enklare ändamål: grovbetong, golv på mark, fundament, sulor m.m.

Ursprungshållfastheten för betongen har inte så stor betydelse, om man bortser från så låga hållfastheter som 10 MPa och lägre. Så låg hållfasthet är emellertid mycket ovanlig i våra byggnader.

Rekommendationer

3 Allmänt

Det krävs en rivningsanmälan, rivningsplan och tillsättande av kvalitetsansvarig vid rivning och återvinning. Till den skriftliga anmälan fogas en beskrivning av projektets art och omfattning.

Beskrivningen bör innehålla:

- Byggnadstyp och dess storlek, läge och ålder
- Huvudsaklig nuvarande och tidigare användning
- Gjorda byggnadsändringar
- Grundläggning och stomme
- I stora drag material och installationer, särskilt anges förekomst och lokalisering av farliga ämnen och material
- Förtydliganden i erforderlig utsträckning görs med ritningar och fotografier.

Rivningsplanen skall ange hur rivningsmaterialet kommer att hanteras och rivningen skall ske på sådant sätt att material kan tas om hand vart och ett för sig enligt planen

Planen bör ange följande:

- Demonterings och rivningsmetoder för installationer, material och stomme
- Skyddsåtgärder avseende arbetsmiljön mot buller, damm, fallande föremål m.m.
- Återanvändning, återvinning, energiåtervinning, utfyllnad och deponi
- Metoder för hantering och särbehandling av riskmaterial och avfall.

Provtagning i misstänkta konstruktioner och kringliggande mark bör göras generöst för att undvika obehagliga överraskningar, t.ex. oljeindränkta golv, tungmetaller eller kresotförorenad kringliggande mark. Sanering av förorenade partier görs innan rivningen påbörjas; avbrott vid senare upptäckt leder lätt till stora extrakostnader.

Sträva efter så hög förädlingsgrad som möjligt enligt följande steg:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Återanvänd | Förtillverkade element och utsågade konstruktionsdelar (behandlas ej i denna rapport) |
| <input type="checkbox"/> Återvinn krossad betong | Bär- och förstärkningslager i vägar, planer m.m. men även som ballast i färsk betong. Armering separeras med magnetavskiljare |
| <input type="checkbox"/> Återvinn | Fyllnadsändamål, helst störst längd 0,5 m och kapad armering |
| <input type="checkbox"/> Energiåtervinn | Ej möjligt |
| <input type="checkbox"/> Deponera | Undvik deponi; istället lagring för framtida bruk. |

4 Anvisningar och kommentarer

- a) Gör en statusbedömning av byggnaden
- Okulärbesiktiga och granska äldre ritningar och beskrivningar. Intervjua personer med lång erfarenhet av byggnaden
 - Då speciella krav ställs, ta ut cylindrar för hållfasthetsprovning, porositet m.m.
 - Om betongens basiska egenskaper efterfrågas är det värdefullt att kontrollera karboniseringsgraden med hjälp av fenolftaleinindikering
 - Kloridhalten bör bestämmas för parkeringsdäck o.d., konstruktioner som utsatts för mycket salt, så att kontaminering av den nya betongen undviks
 - Betong som utsatts för trafikavgaser, industriföroreningar, asbesthaltigt lim m.m. behöver analyseras avseende farliga ämnen. Grundämnesanalys kan utföras för tungmetaller och gaskromotografi för oljor och andra föroreningar. Kontaminerade skikt omhändertas selektivt.
- b) Information om krossningsanläggningar finns i Molin et al /1996/, se Referenser. Både käftkross och rotations-/slagkross är acceptabla enligt Molin et al /2003/, se Referenser.
- c) Siktning av krossad betong till önskad kornstorleksfördelning kan utföras på platsen med mobilt sorteringsverk eller på en återvinningsstation. Aktuella fraktioner är 0–4, 0–8, 8–16, 16–32, 0–32, och 0–64 mm.
- d) Krossad betong kan med fördel användas till vägbyggnad. För statliga vägar är för närvarande användning av krossad betong i vägens bärlager inte tillåten. Men användning i förstärknings- och skyddslager samt underbyggnad är tillåten. Vägverket ställer bl.a. följande krav:
- Ingående material skall ha sådana egenskaper att överbyggnadskonstruktioner i allt väsentligt behåller sina hållfasthetsegenskaper
 - Dessa skall vara volymbeständiga och får inte visa tendenser till sönderfall
 - Restprodukten är acceptabel ur miljö- och hälsosynpunkt
 - Inte ge några miljöproblem vid återanvändning, deponering eller destruktion
 - Restprodukten skall analyseras med avseende på kemisk sammansättning och risk för urlakning.
- Vägverkets publikation 2004:11, krossad betong i vägkonstruktioner, öppnar för direkt användning av betong i vägkonstruktioners förstärkningslager, skyddslager och underbyggnad.
- Även om Vägverkets krav inte uppfylls helt kan den krossade betongen med fördel användas till vissa enskilda vägar, tillfartsvägar, cykelbanor, parkeringsplatser m.m.

- e) Vattning i samband med vältning och vibrering av bär- och förstärkningslager har betydligt större betydelse än vid gängse grusmaterial (t.ex. krossat berg).
- f) Försök att använda den krossade betongen till ballast (100 %) i enkel betong tillverkad i mobil betongblandare på platsen för återbruk i närområdet. Lämplig användning kan vara: grovbetong, fundament, sulor, golv på mark m.m. Man får en billig betong med minimerat behov av tunga materialtransporter.
- g) Materialspecifikation för betong med återvunnen ballast finns i en Rilem-rekommendation /1993/. Man talar här om tre typer av återvunnen ballast med kornstorlek större eller lika med 4 mm.
- Typ I ballast huvudsakligen från krossat tegel. Högsta hållfasthetsklass C16/20, som ungefär motsvarar K20
 - Typ II ballast huvudsakligen från krossad betong. Högsta hållfasthetsklass C50/60, som ungefär motsvarar K60
 - Typ III ballast från krossad betong och tegel. Högst 20 volymprocent och naturlig ballast för övrigt. Ingen övre hållfasthetsgräns.
- h) Det finns också nationella rekommendationer främst i Holland, Tyskland och Danmark.

Referenser

Molin C, Larsson K, van Meer P. Rivning av betong med tanke på återanvändning, steg 3. SBUF projekt 5044, Stockholm 1996.

Molin C, Larsson K, Dahl L-O. Återvunnen betong, krossningsmetodens inverkan på den krossade betongens kvalitet. SBUF projekt 11128, Stockholm 2003.

Molin C, Larsson K, Dahl L-O. Betongrivning i stadsmiljö, rivning av ett parkeringshus i Stockholm city. SBUF projekt 1006, Stockholm 2001.

Molin C, Wahlström P. Återvunnen transportminimerad betong tillverkad och brukad på plats. SBUF projekt 6089, Stockholm 1997.

Boverket. Betong i vägar – materialstudie, om möjligheten att återvinna betong från husrivning. Karlskrona 2000.

Vägverket. Krossad betong i vägkonstruktioner, allmän teknisk beskrivning. Publikation 2004:11, Borlänge 2004.

Rilem Recommendation 121-DRG Guidance for Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, specification for concrete with recycled aggregates. Materials and Structures 557-559, 1994.

Genomgång av litteratur i Rilems konferens om användning av återvunna material år 2004 i Barcelona

Genomgången avser endast bidrag inriktade på betongåtervinning och praktiskt användbar information.

Presentationerna anges med sin engelska titel för att underlätta spårbarheten.

Test methods adapted to alternative aggregate, Björn Schouenborg et al.

Krossad betong och andra alternativa material kan ofta användas vid markkonstruktioner. För att de skall kunna användas på en rutinbasis krävs relevanta standardiserade provningsmetoder för att kunna bedöma deras lämplighet.

Några av de mest använda metoderna är partikeldistribution, nötningsmotstånd, vattenabsorbtion och densitet.

Gradering är den vanligast förekommande verifierade egenskapen i produkt- och produktionskontroll. Nötningsmotstånd används ofta som en allmän kvalitetsparameter vid vägbyggnad. Vattenabsorbtion används för att bedöma frostbeständighet, preparera betongrecept m.m.

Det står klart efter genomförda studier att alla dessa metoder måste modifieras eller ersättas för att verkligen kunna verifiera de krossade alternativa materialen.

Framework for environmental assessment of using industrial by-products and used building materials, Liselott Roth och Mats Eklund.

Miljöutvärderingar i exploateringsprocessen utförs mest utifrån ett trångt materialperspektiv, dvs. på materialnivån. Man föreslår ett ramverk baserat på fyra olika nivåer, (i) materialnivån, (ii) lokala områdesnivån, (iii) begränsad livscykelnivå, (iv) industriell systemnivå.

De olika nivåerna är inriktade på olika frågor. Urlakningstester används på materialnivån. Flödesanalyser kan illustrera relevanta flöden och upplagringar i närområdena. En begränsad livscykelanalys tillför icke geografisk livscykeldata. Slutligen på den industriella systemnivån kan t.ex. strategiska miljöutvärderingar eller omfattande livscykelanalyser användas

Om man använder detta breda angreppssätt erhålls en bra styrning av miljöfrågorna t.ex. ersättning av naturliga tillgångar, påverkan på den lokala miljön, storskaliga effekter och globala aspekter som klimatförändringen.

Recycling waste in cement based materials. A studying method, Martin Cyr et al.

En studiemetod presenteras för återvinning av sekundära råmaterial i cementbaserade material som används i mark- och byggsammanhang. Angreppssättet innefattar två delar som görs samtidigt:

- (i) en teknisk del som avser utvärdering av effekter av sekundmaterialen på kemiska, fysikaliska och mekaniska egenskaper hos den färska och hårdnande betongen

- (ii) en miljödel, som huvudsakligen baseras på lakningstester, för att utvärdera miljöpåverkan av sekundärmaterial i betongmaterial.

Efter analys av resultaten, hänsynstagande till tillgängliga erfarenheter, standarder och bestämmelser finns det två möjligheter: utnyttjande för markuppbyggnad ofta kombinerad med stabiliseringsåtgärder eller återanvändning i vägarbeten, byggnader o.d. Metoden illustreras med ett antal praktikfall för olika sekundära material och avfallsprodukter.

Use of industrial waste materials in road construction in Poland, Dariusz Sybilski et al.

För att öka användningen av sekundära material i Polen har Väg- och broforskningsinstitutet tagit fram en katalog för vägändamål. Både tekniska och miljömässiga specifikationer kommer att ingå. Aktuella material är slagg, aska, krossad betong, gruvmaterial och kemiskt sekundärt material. En omfattande presentation av möjliga material vid vägbyggnad görs.

Criteria for the use of fine recycled concrete aggregates in concrete production, Luis Evangelista and Jorge de Brito.

I många forskningsprogram visas att återvunnen betong är utmärkt som ballast. Men i nästan alla dessa avses endast grovdelen av den krossade betongen. Man har tagit för givet att findelen är mer eller mindre olämplig. I forskningsprogrammet ersätts den jungfruliga ballasten med 10 %, 20 %, 30 %, 50 % och 100 %.

Resultaten som erhållits indikerar att ersättning av naturlig ballast med findelen av återvunnen krossad betong är fördelaktigt eftersom

- tryckhållfastheten ändras inte
- krympning påverkas inte om andelen är 30 % eller mindre
- man kan konkludera att det är säkert att ersätta 30 % eller mindre om graderingskurvan är lika

Influence of recycled aggregate quality on concrete properties, Marta Sanchez de Juan and Pilar Alaejos Gutierrez.

Nästan alla studier och experiment med återvunnen krossad betong bekräftar att finfraktionen inte bör användas vid beständighetskrav eller vid stomkonstruktioner.

Den här studien syftar till att undersöka olika procentsatser av återvunnen betongs inverkan på betongegenskaperna. Man väljer att studera inblandning av 20, 50 och 100 % återvunnen betong. De väsentligaste egenskapernas förändring provas.

Resultaten antyder att utvald återvunnen krossad betong kan ogynnsamt påverka betongegenskaperna i större utsträckning än vad som tidigare redovisats. Störst blir inverkan på elasticitetsmodul och krympning.

Influence of recycled concrete aggregates on concrete durability, Arlindo Goncalves et al.

Betong i bärande konstruktioner med återvunnen ballast kan få sämre kvalitet på grund av hög vattenabsorbktion. Följande slutsatser kan bl.a. dras.

- Full ersättning av ballastens grovdel leder som mest till en 16 % hållfasthetsminskning
- Ersättning med 50 % i blandningar med 350 kg/m³ cement leder till en hållfasthetssänkning med som högst 50 %.

The Delft ladder, Ch. F. Hendriks.

Följande prioriteringssteg anges på kretslopps-/miljöstegen:

- Prevention
- Återanvändning av hela konstruktioner
- Återanvändning av element
- Återvinning av material
- Nyttig användning av restprodukter
- Onyttig användning av restprodukter
- Förbränning för uppvärmning
- Förbränning
- Dumpning.

INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN BUILDING AND STRUCTURES

Christer Molin (1), Kjell Larsson (2), Håkan Arvidsson (3)

(1) Carl Bro Barab AB, Sweden

(2) Kellek AB, Sweden

(3) Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), Sweden

Abstract ID Number: 199

Author contacts

Authors	E-mail	Fax	Postal address
Christer Molin	christer.molin@barab.se	+ 46 8 644 50 97	Smedjegatan 8, SE-131 34 Nacka
Kjell Larsson	kellek@swipnet.se	+ 46 63 13 79 33	Eriksbergsvägen 11, SE-831 42 Östersund
Håkan Arvidsson	hakan.arvidsson@vti.se	+ 46 13 14 14 36	SE-581 95 Linköping

Contact person for the paper: Christer Molin

Presenter of the paper during the Conference: Christer Molin

Total number of pages of the paper (this one excluded): 6

QUALITY OF REUSED CRUSHED CONCRETE STRENGTH, CONTAMINATION AND CRUSHING TECHNIQUE

Christer Molin (1), Kjell Larsson (2), Håkan Arvidsson (3)

(4) Carl Bro Barab AB, Sweden

(5) Kellek AB, Sweden

(6) Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), Sweden

Abstract

Crushed concrete has a rather big quality range. In the presented study we consider three relevant quality factors.

- The compression strength varies between 10 and 80 MPa. Today no test is carried out.
- Most concrete is not contaminated.
- The crushing technique is said to effect the quality.

The aim of this study is to highlight some relevant factors influencing the quality of reused crushed concrete.

Traffic load can be simulated with Cyclic load triaxial test. Concrete qualities over 30 Mpa have shown excellent results. Strength beneath 10 Mpa has however shown mediocre results.

Heavy metals from traffic usually contaminate a small part of the surface of the concrete structures, mostly less than 5 mm deep.

Cyclic load triaxial tests on the two main crushing techniques (jaw crusher and rotation crusher) indicate that both methods are acceptable. The jaw crusher is somewhat better than the rotation crusher.

1. INTRODUCTION

Reinforced concrete is the biggest part of all materials in buildings which will be demolished due to the reason that most structures in Sweden are made of concrete. These great amounts of good quality building material should not be left at a disposal site, especially not unsorted together with other materials.

Many studies and practical experiences show that concrete has a good potential for recycling.

Concrete precast units can be reused as elements. But it is not so common and easy to perform.

Normally concrete buildings are crushed and the reinforcement separated in a crusher with magnetic separation. Sieves make it possible to get appropriate aggregate size distribution, which is necessary for example when crushed concrete is used as aggregate in fresh concrete.

The strength of old concrete varies a lot. Studies show that values varies between 10 to 80 Mpa with drilled out cores in compression.

Crushed concrete is usually clean but it can be contaminated with other materials or absorbed compounds in cement paste.

Crushers work either with jaw crushing technique (compression) or rotating (percussion) technique.

2. OBJECTIVE

The aim of the study is to highlight some relevant factors influencing the quality of reused crushed concrete.

3. QUALITY CRITERIA

4.1 Strength

Three different concretes were chosen from ordinary buildings; very low 7 Mpa (1920), normal 30 Mpa (1960) and high 73 Mpa (1980). These values were determined with 100 mm drilled-out cores. The compression test was carried out according to Swedish Standard SS 13 72 30.

The load bearing capacity of a road is best determined with Cyclic load triaxial test (VTI version in this case). A cylindric test specimen is subjected to vertical static and pulsating load and horisontal confined pressure. The test makes it possible to decide mechanical properties as resilience and stability, see figure 1. All tests were carried out with 0-32 mm parical size distribution.

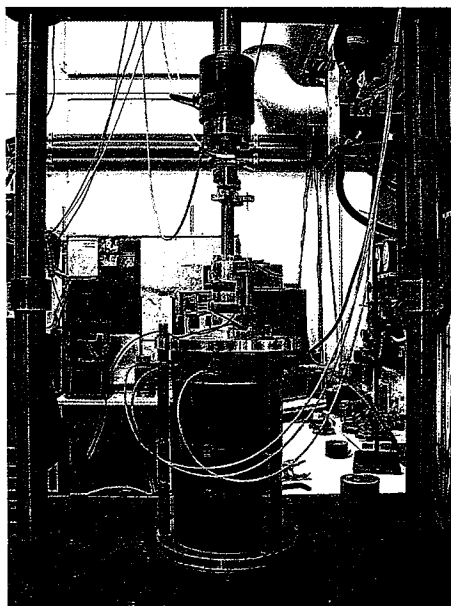


Figure 1: Cyclic load triaxial test equipment (VTI).

Higher resilience means better load distribution capacity. Stability can be described as resistance against permanent deformation.

The dynamic load is increased from 100 to 1200 kPa in eight stages. The confined pressure is either 60 or 120 kPa. Relevant stress levels for ordinary road structures can be said to be not higher than 800 kPa.

In figure 2 the resilience is presented as a function of the total stress for three different concrete strengths and a normal crushed rock material (reference).

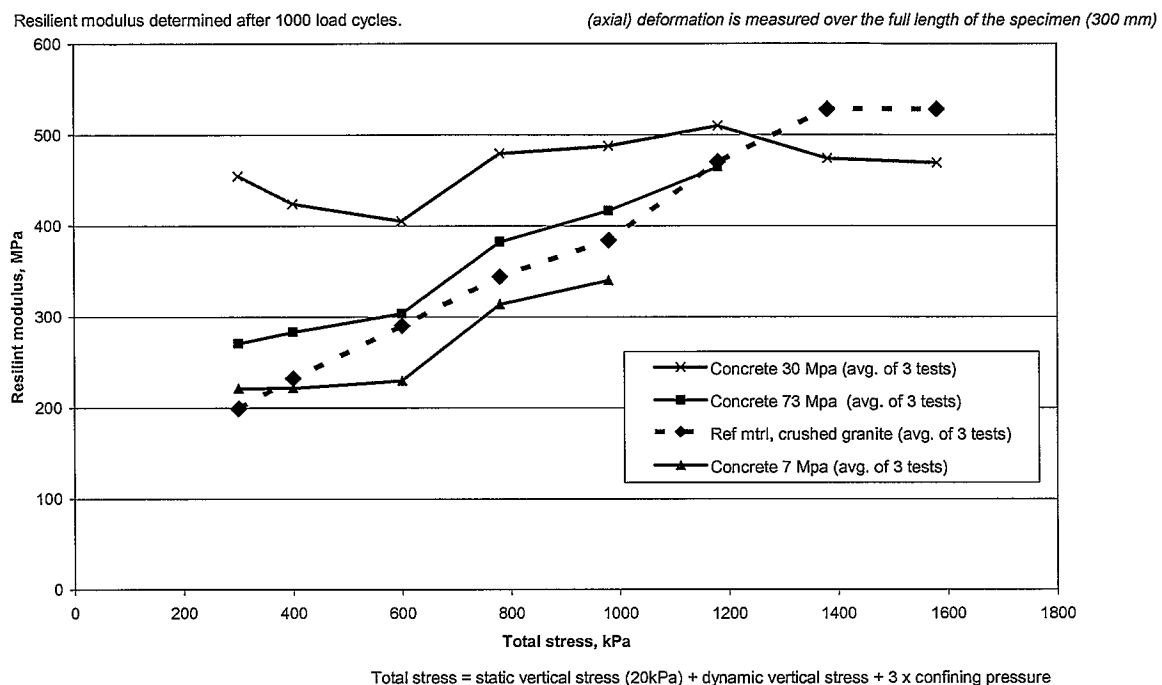


Figure 2: Resilience as function of concrete strength and stress.

On relevant stress levels only the lowest strength concrete has lower resilience values than the reference material.

The highest strength concrete performs similar to the reference material but it fails earlier.

The normal (30 MPa) concrete shows excellent values for relevant stress levels and is not stress level dependent.

In figure 3 the permanent deformation is presented as function of number of loadings. For the sake of simplicity only one stress level, 600/120 (dynamic stress/containing pressure), is shown.

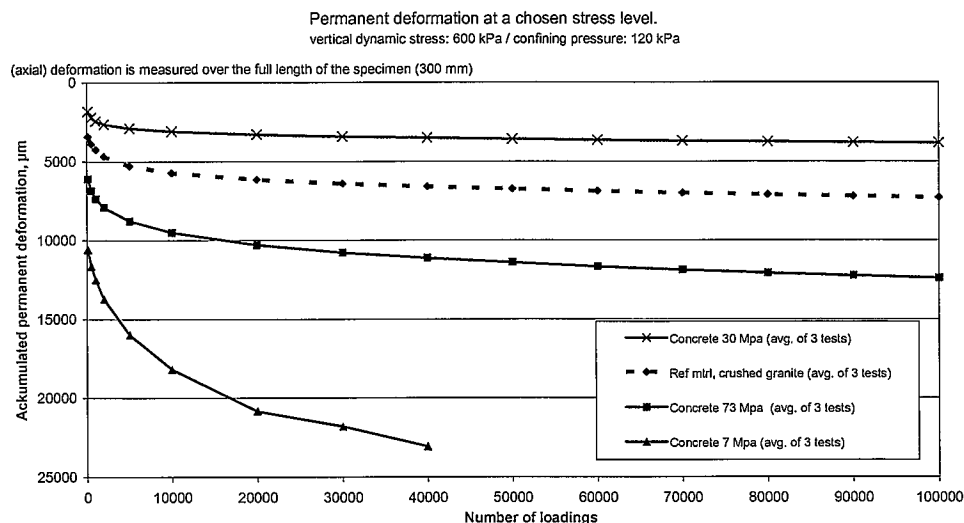


Figure 3: Permanent deformation as function of concrete strength and number of loadings.

The lowest strength concrete deforms much more than the other materials. Normal concrete is quite similar to the reference material. The high strength concrete shows somewhat more deformation than the reference material.

4.2 Contamination

A major part of all concrete has not any contamination. Some concrete can however contain chlorides, sulphates, aliphatic, hydrocarbons, heavy metals etc.

Three Swedish buildings in the Stockholm area have been tested a few years ago with Plasma emission spectrometri ICP-AES and Plasma mass spectrometri ICP-MS on pulverized concrete, drilled out on different levels.

All buildings have had a lot of traffic during 30-40 years. The result is presented in table below.

Table 1: Contamination of 30 years old buildings exposed to traffic (mg/kg).

Heavy metal	Bridge		Multi storey car parking		Multi storey car parking	
	On surface 0-5 mm	In structure	On surface 0-5 mm	In structure	On surface 0-5 mm	In structure
Cd	-	-	-	-	0,174	0,0051
Co	24,7	6,0	-	-	-	-
Pb	41,3	6,4	376	11	22,5	9,23
Zn	1049,0	31,0	-	-	-	-
Number of samples	3	3	4	4	1	1

The result is an indication that only the outer layer 0-5 mm normally is contaminated by heavy metals. This hazardous layer should be removed before recycling.

4.3 Crushing technique

We have tested the two main types of crushing techniques, jaw and rotation crushing with respectively 45 and 100 mm opening.

Some relevant results regarding resilience and deformation of the Triaxial test is presented in the two following diagrams. All tests were carried out with 0-32 mm partial size distribution.

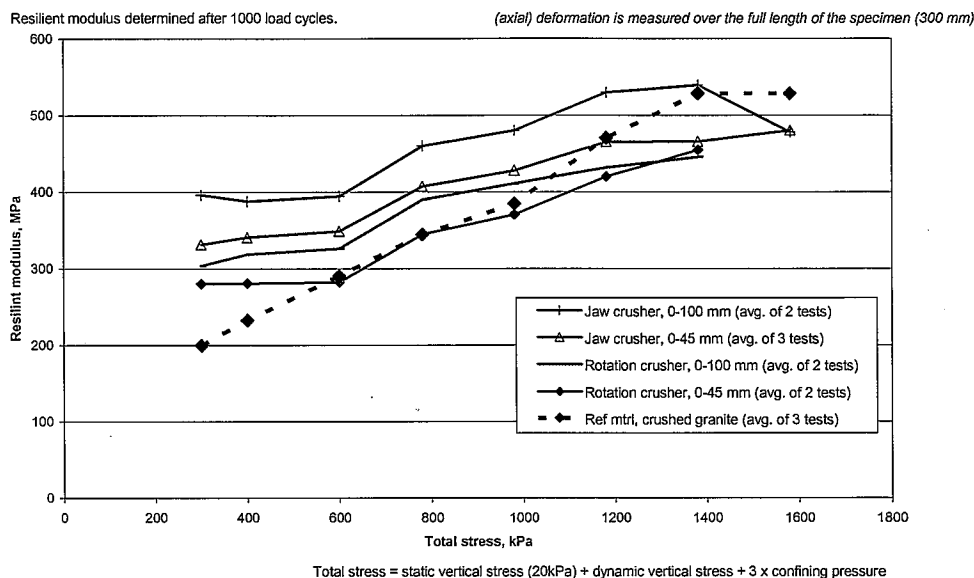


Figure 4: Resilience as a function of different crushing techniques and stress.

All four types have high resilience. Jaw crushing is somewhat better than rotation crushing and a big opening is slightly better than a smaller one.

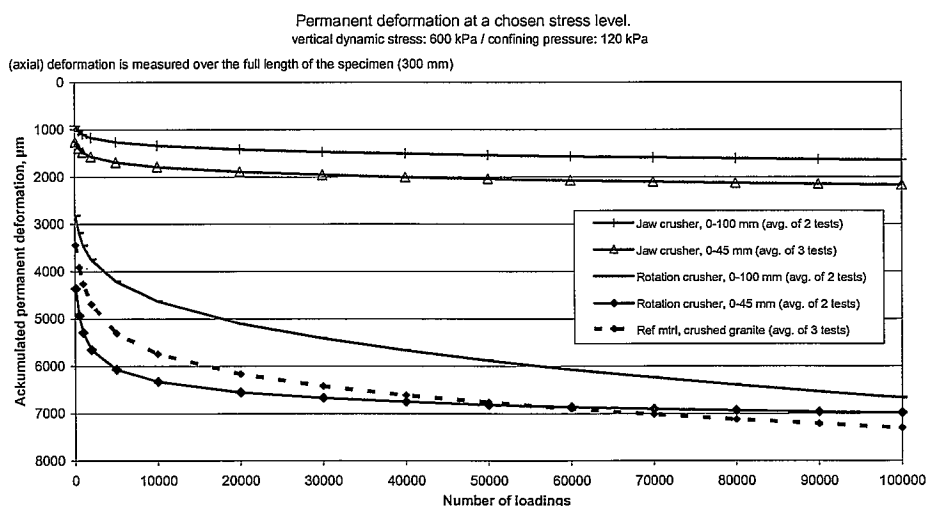


Figure 5: Permanent deformation as a function of different crushing techniques and number of loadings.

All four types have small deformation. Jaw crushing is somewhat better than rotation crushing and a big opening is slightly better than a smaller one.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

The correlation between the compression strength and the Triaxial test is low. But the compression test gives an indication if the material in question is feasible or not for recycling. Considering this study concrete strength lower than 10 MPa should be avoided at least for construction of road bearing layer (base and sub base). Compression strength over 30 MPa seems however to be feasible for that use. Uncertainty prevails for values between 10 and 30 Mpa. However it is probable that most crushed concrete in this grey zone can be accepted if the aggregate of the original concrete is crushed rock.

Most concrete paste is not contaminated. But it is important to check structures and buildings that partly have been contaminated for example by traffic. The investigation indicates that heavy metals only can be found in the surface and can therefore easily be removed before recycling. The test procedure is practical and not too expensive.

The scarce data in litterature tells that the jaw crusher gives a worse material than rotation crusher. This is explained with the assumption that compression by the jaw crusher imposes more micro cracks than percussion from the rotation crusher. Futhermore it is said that the rotation crusher decreases weaknesses in the original concrete paste.

The study indicates that the above statements are not correct at least not for Swedish concrete which often contains high quality gravel.

Both crushing techniques are feasible for road building purposes. According to this study the jaw crusher performs slightly better than the rotation crusher.

Studies, litterature and practical experience confirm that recycled crushed concrete is an excellent material for road building and similar purposes.

ACKNOWLEDGEMENTS

The research work has been possible to carry out due to support från Lars-Olof Dahl, Lodab AB (a demolishing recycling contracting company in Sweden).

The work has mainly been financed by the Swedish Construction Industri's Organisation for Research and Development (SBUF).

REFERENCES

- (1) Molin, C., Larsson, K. and van Meer, P. "Demolition of Concrete regarding reuse, step 3", Swedish Construction Industri's Organisation for Reasech and development projekt No 5044, 1996. (In Swedish).
- (2) Molin, C., Larsson, K. and Dahl, L-O. "Reused concrete, effect of crushing technique", Swedish Construction Industi's organisation for Research and Development (SBUF) project No 11128, 2003. (In Swedish).
- (3) Molin, C., Must A. "Control of contamination on concrete by traffic". Skanska and Carl Bro Barab. Stockholm, 1995. (in Swedish).
- (4) Ydrevik, K., Hellström, V. and Molin, C. "Crushed concrete as a road construction material", Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), Linköping 1996. (In Swedish).