

TUTKIMUSSELOSTUS B-2164

Uusiokiviaineksen käyttö siltojen betonirakenteissa. Esitutkimus.



CONTESTA

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

**UUSIOKIVIAINEKSEN KÄYTTÖ SILTOJEN BETONIRAKENTEISSA.
ESITUTKIMUS****SISÄLLYSLUETTELO****TIIVISTELMÄ****ABSTRACT**

1	JOHDANTO	1
2	BETONIN KIERRÄTYS JA UUSIOKIVIAINES	1
3	UUSIOKIVIAINEKSEN KÄYTÖN EKOLOGISUUS	4
4	UUSIOKIVIAINEKSEN KÄYTÖN TALOUDELLISUUS	6
5	UUSIOKIVIAINEKSEN KÄYTTÖKOHTEITA	8
5.1	Uusiokiviaineksen käyttökohteita Suomessa	8
5.2	Uusiokiviaineksen käyttökohteita ulkomailla	8
6	UUSIOKIVIAINEKSEN KÄYTTÖ SILLOISSA	11
7	SUUNNITTELUOHJEIDEN JA STANDARDIEN TILANNE	15
8	JATKOTUTKIMUSSUUNNITELMA	18
9	YHTEENVETO	19
	LÄHDELUETTELO	20

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

TIIVISTELMÄ

Tässä esitutkimuksessa tarkasteltiin uusiokiviaineksen käyttömahdollisuuksia siltojen betonirakenteissa. Uusiokiviainesta käytetään jo useissa teollisuusmaissa, myös Suomessa, maa- ja tienrakentamisessa. Sen käyttö betonirakenteissa on vielä ollut paljon vähäisempää ja sillanrakentamisessa sitä on käytetty ainakin koerakentamisessa Saksassa ja Espanjassa. Myös talonrakentamisessa sitä on käytetty koekohteissa Saksassa, Itävallassa ja Sveitsissä. Suomessa on käytetty ontelolaattojen jätöpaloista murskattua kiviainesta ontelolaattojen valmistuksessa. Sen käyttö betonirakenteissa (myös silloissa) on periaatteessa sallittu EU:ssa. EU:ssa standardointityö tällä alueella jatkuu. Tällä hetkellä on uusiokiviainesten käyttöä ohjaamassa muutamissa maissa EU:n alueella vielä runsaasti maakohtaisia standardeja ja ohjeita.

Betonirakenteessa kiviaineksen korvaus ≤ 20 %:lla luokiteltua uusiokiviainesta on todettu turvalliseksi jo nyt. Tällöin ei betonirakenteen ominaisuudet vielä muutu merkittävästi. Sitä suurempien uusiokiviainesosuuksien hyväksyntä betonirakenteissa on vielä harvinaista.

Uusiokiviainesta voidaan käyttää Suomessakin jo siltoihin liittyvässä maarakentamisessa. Ennen laajamittaista uusiokiviaineksen käyttöä Suomessa siltojen betonirakenteissa on tarpeen mm. rakentaa koesilta, jossa sitä käytetään joissakin sillan osissa kuten peruslaatoissa sekä pääty- ja välituissa.

Johtuen kohoavista kuljetuskustannuksista ja luonnonpyöreän kiviaineksen ottoaikojen siirtyessä kauemmaksi asutuskeskuksista uusiokiviainesten käytön taloudellisuuden kannalta aivan keskeistä on uusiokiviainesten kuljetusten minimointi. Uusiokiviaineksen käytön taloudellisuuden ratkaisee usein sen kuljetusmatkan pituus. Kuljetuskustannusten ollessa yhtä suuret voi uusiokiviainesbetoni silti säästää jopa 60 % sillan betonirakenteiden kiviaineksen hinnasta verrattuna murskattuun kiviainekseen. Vastaava hintaero verrattuna luonnonpyöreään kiviainekseen jää pieneksi. On myös otettava huomioon, että aina ei uusiokiviainestakaan ole saatavissa.

Uusiokiviaineksen käytössä sillan betonirakenteissa on kysymys myös sillan rakentamisen kestävästä kehityksestä ja ekologiasta. Näitä molempia uusiokiviaineksen käyttö sillan betonirakenteissa edistää merkittävästi. Sillan elinkaari- ja ekotaselaskelmilla sekä infrarakentamisen investointien ekotehokkuuden laskennalla voidaan näitä todentaa.

Jatkotutkimuksissa on tarpeen ensin varmistaa muutamit Suomessa silloissa erityisen tärkeät uusiokiviainesbetonin ominaisuudet kuten suolapakkaskestävyys. Sillan, jossa käytetään betonirakenteissa uusiokiviainesta, suunnittelua ja toteutusta varten on laadittava ohjeet. Jatkotutkimuksia varten on tässä esitutkimuksessa laadittu jatkotutkimussuunnitelman perussisältö.

ABSTRACT

In this preliminary study the possibilities to use recycled aggregate in concrete constructions of bridges are studied. Recycled aggregate is already widely used in many industrial countries, also in Finland, in earth and road construction. Its use in concrete constructions has still been much lesser and in bridge construction it has been used at least in experiment bridges in Germany and Spain. It has been used also in house building in experiment houses in Germany, Austria and Switzerland. Recycled aggregate made from waste product pieces of hollow-core slabs has been used in hollow-core slab production in Finland. Its use in concrete constructions (also in bridges) is in principle allowed in EU. Standardizing work in this area goes on in EU. At present guides the use of recycled aggregates in some countries in EU still plenty standards and instructions of single countries.

Replacing of aggregate with ≤ 20 % by classified recycled aggregate has been found safe already at present. Then properties of concrete construction do not still change notably. Approval of bigger shares of recycled aggregates than that is still unusual.

Recycled aggregate can be used also in Finland already in earth building with bridges. Before large use of recycled aggregate in Finland it is useful to build for example an experimental bridge, in which it will be used in some parts of the bridge like in base slabs and in gable and partition supports.

Due to rising transport costs and due to moving of excavating places of natural round aggregate to greater distance from cities it is very important for economy of the use of recycled aggregate to minimize the transportations of recycled aggregates. Length of the transport distance solves often the economy of the use of the recycled aggregate. When the transport costs are equal, can the recycled aggregate yet save even 60 % from the price of the aggregates of the concrete constructions of a bridge compared to crushed aggregate. Same price difference compared to natural round aggregate is small. It shall also be taken in consideration, that the recycled aggregate is not always available.

In use of the recycled aggregate in concrete constructions of a bridge it is also a question of sustainable building and ecology of building a bridge. Both of these will be notably promoted by using recycled aggregate in concrete constructions of a bridge. These can be demonstrated by life-cost and ecology-balance calculations and by ecology efficiency calculations of investments of infra building.

In the next step, the some in Finland in bridges very important properties of the recycled aggregate concrete like salt-frost resistance should be studied. For a bridge, in which recycled aggregate will be used in concrete constructions, for planning and building are guides needed. In this preliminary study it has been made the base content for the plan of the next step of research.

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

UUSIOKIVIAINEKSEN KÄYTTÖ SILTOJEN BETONIRAKENTEISSA. ESITUTKIMUS

1 JOHDANTO

Vanhoista betonirakenteista tehdään nykyisin uusiokiviainesta mittavia määriä ja sitä käytetään Suomessa yleensä maa- ja tienrakentamiseen. Ontelolaattatehtaissa käytetään laattojen jätetalasista murskattua kiviainesta uusien ontelolaattojen valmistuksessa. Keski-Euroopassa on käytetty uusiokiviainesta myös sillan betonirakenteissa. Silloissa on kysymys todella suurista kiviainesmääristä, jolloin jo sen pienilläkin prosenteilla on suuria taloudellisia ja ekologisia merkityksiä. Uusiokiviaines korvaa usein noin 10...30 % uudesta kiviaineksestä. Tällöin eivät betonin perusominaisuudet vielä merkittävästi muutu.

Standardointi tällä alueella on edennyt jo EN-standardienkin osalta melko pitkälle. Perusohjeet murskatun jätteen käytöstä on jo Suomessakin. Uusiomateriaalin hyödyntäminen rakenteissa on kuitenkin pitkä prosessi. Koko ketju materiaaleista tuotantomenetelmiin, mitoittamiseen ja ohjeistukseen sekä varastoinnista laadunvarmistukseen pitää olla hallittu, ennen kuin menetelmästä syntyy kilpailukykyinen. Kysymys on uusiokäytön taloudellisuudesta ja rakenteen ekotaseesta. Näin on mahdollisuus säästää uusiutumattomia luonnonvaroja siltojenkin rakentamisessa.

Lainsäädäntö voi tulevaisuudessa myös pakottaa entistä runsaampaan uusiomateriaalien käyttöön. Samaan suuntaan vaikuttaa myös luonnonkiven aina vaan vaikeampi saatavuus ja hintojen nousu kuljetusmatkojenkin pidentyessä erityisesti suurissa asutuskeskuksissa.

2 BETONIN KIERRÄTYS JA UUSIOKIVIAINES

Betonijäte voidaan murskata ja ottaa hyötykäyttöön. Murskatusta betonista tehtyä uusiokiviainesta ja sen käyttöä on tutkittu kansainvälisesti jo yli 30 vuotta. Siitä on tullut sekä Suomessa että ulkomailla merkittävää liiketoimintaa. Suomessa syntyy vuosittain noin 1,5 miljoonaa tonnia kivipohjaista rakennusjätettä. Vuonna 2004 tästä kierrätettiin jo noin 300 000 tonnia ja määrät ovat kasvussa. USA:ssa murskataan nykyisin vuosittain noin 140 miljoonaa tonnia betonia uusiokiviainekseksi. Englannissa vastaava luku on 60 miljoonaa tonnia betonia.

Murskatusta betonista voidaan valmistaa uusiokiviainesta samoina kokoluokkina kuin luonnonkiviainekin tai kalliosta tehty murske ja sitä myös käytetään periaatteessa samalla tavalla. Uusiokiviainesten käyttöä varten on laadittu jo standardejakin kuten Suomessakin vuonna 2003 hyväksytty ja käytössä oleva eurooppalainen standardi SFS-EN 12620 Betonikiviainekset.

Betonimurskeet on jaettu neljään eri luokkaan (BEM I-IV) teknisten ominaisuuksien perusteella, joita ovat raaka-ainelähde, rakeisuus, routivuus, puristuslujuus, tiilen maksimi osuus, muiden materiaalien maksimi osuus ja kevyen orgaanisen materiaalin osuus. Taulukosta 1 näkyy eri luokkiin vaadittavat ominaisuudet.

Taulukko 1. Betonimurskeen kansainvälinen laatuluokitus / 26 /.

Ominaisuus	BEM I	BEM II	BEM III	BEM IV
Raaka-ainelähde	Betoniteollisuus	Purkutyömaa tai vastaava	Purkutyömaa tai vastaava	Purkutyömaa tai vastaava
Rakeisuus	1)			Vaihtelee
Routivuus	Routimaton	Routimaton	Routimaton	Vaihtelee
Puristuslujuus, MPa	≥ 1,2	≥ 0,8	-	-
Tiilen maks. osuus, paino-%	0	10	10	30
Muiden mater. maks osuus 2), p-%	0,5	1	1	1
Kevyt orgaaninen materiaali 3), p-%	ei haitallista määrää	ei haitallista määrää	ei haitallista määrää	ei haitallista määrää

1) Täyttää julkaisun InfraRYL 2006 osan 1 kuvassa 21310:K2 esitetyt sitomattoman kantavan kerroksen murskeen 0/45 rakeisuusvaatimukset

2) Puu, muovi yms.

3) Esim. solumuovit, mineraalivilla

Suomessa myydään betonimursketta maarakentamiseen mm. taulukon 2 mukaisella luokituksella. Sillanrakentamista varten olisi hyvä tuotteistaa omat uusiokiviainestyytit, joiden ominaisuudet perustuvat siltabetonin kiviaineksille asetettuihin vaatimuksiin.

Uusiokiviaineksen käyttö on melko helppoa silloin, kun se valmistetaan ominaisuuksiltaan hyvästä betonista. Sellaista voivat olla purettavan sillan tai elementtitehtaan hylkytuotteen betoni. Jos uusiokiviainesta käytetään tällöin noin 10...30 % kiviaineksesta, betonin perusominaisuudet eivät muutu oleellisesti. Joissakin tapauksissa on kuitenkin mahdollista korvata koko kiviaines uusiokiviaineksella.

Taulukko 2. Betoroc-murskeiden laatuluokitus / 1 /.

	Rakeisuus	E-moduuli MPa	Lujittuminen	Routivuus
Betoroc I	0 - 45 mm	700	Lujittuu	Routimaton
Betoroc II	0 - 45 mm	500	Lujittuu	Routimaton
Betoroc III	0 - 45 mm	300	Epävarmaa	Routimaton
Betoroc IV	Vaihtelee	-	Ei lujitu	Vaihtelee
	Raaka-aine	Tiilen maksimiosuus (paino-%)	Muiden materiaalien* maksimiosuus (paino-%)	
Betoroc I	Betonituoteteollisuus	0	0,5	
Betoroc II	Purkutyömaa yms.	10	1	
Betoroc III	Purkutyömaa yms.	10	1	
Betoroc IV	Purkutyömaa yms.	30	1	

* puu, muovi, yms.

Betonin murskauksessa syntyvä hieno kiviaines raekooltaan 0 – 2 mm on osoittautunut vaikeasti hyödynnettäväksi. Sitä ei yleensä käytetä uusiokiviaineksena betonissa. Saksassa on viime aikoina tutkittu sen käyttöä sementin valmistuksessa. Tällöin olisi teoriassa mahdollista päästä ainakin 2 %:n energiansäästöön ja CO₂-päästöjen merkittävään vähennykseen / 12 /. Ongelmana tälle hienorakeisen uusiokiviaineksen hyö-

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

dyntämiselle sementin valmistuksessa on ollut tämän uusiokiviaineksen lajitteen usein sisältämät epäpuhtaudet. Tälle hienorakeiselle uusiokiviainekselle on löytynyt käyttöä myös tien pohjarakenteiden parantamisessa. Sekoitettuna pohjamaaperään se toimii kuivaavana materiaalina parantaen heikon maaperän kantavuutta. Tällöin on kysymys uusiohienoaineksen korkeasta vedenimukapasiteetista.

Kun uusiokiviainesta käytetään rakennusten tai siltojen kantavissa rakenteissa, on kiinnitettävä erityistä huomiota sen ominaisuuksien suurempaan tilastolliseen hajontaan kuin luonnonkiviaineksella. Kun käytetään uusiokiviainesta ja tavoitellaan samanlaisia rakenteiden varmuuksia kuin teräsbetonirakentamisessa yleensä, on usein tarpeellista käyttää tavanomaista korkeampaa betonin lujuutta. Usein riittää yhden lujuusluokan korotus / 7 /.

Betonin murskauksen yhteydessä erotetut raudotteet kierrätetään takaisin terästeollisuuteen, joten betonijätteen kierrätysaste on täydet 100 %.

Suhteitus ja massan ominaisuudet

Uusiokiviainesta käytettäessä suhteitus voidaan tehdä periaatteessa normaaliin tapaan. Vesimäärää joudutaan kuitenkin säätämään. Tyypillisesti uusiokiviaines pienentää työstettävyyttä ja vaatii normaalia suuremman notkistinmäärän erityisesti, jos uusiokiviaineksen osuus on suuri (yli 50 %). Lisäohjeita tämän massan suhteituksesta ja ominaisuuksista on esitetty mm. lähteessä / 5 /. Käytettyjen uusiokiviainesmassojen koostumuksesta on esimerkit kohdissa 5.1 ja 6.

Kovettuneen betonin ominaisuudet

Uusiokiviaineksen vaikutusvalmistettavan betonin ominaisuuksiin on suhteessa siihen, kuinka lujasta betonista se on lähtöisin ja kuin suuri on sen laastiosuus. Murskeen hienoainesmäärä ja sen mahdollisesti sisältämät vieraat tai haitalliset aineet vaikuttavat myös sen käyttöominaisuuksiin.

Korkealujuusbetonista valmistettua uusiokiviainesta käyttäen on mahdollista valmistaa betonia, jonka lujuus on myöhemmässä iässä jopa suurempi kuin luonnonkiviainesta käytettäessä. Parhaiten uusiokiviaines soveltuu kuitenkin alhaisen tai normaalin lujuusluokan betoneihin.

Silika-seosaine parantaa tehokkaasti uusiokiviainesta sisältävän betonin ominaisuuksia sekä lujuutta että säilyvyyttä.

Betonista, joka ei ole pakkasenkestävää, ei ole helppoa valmistaa hyvän pakkasenkestävyyden betoneihin soveltuvaa uusiokiviainesta. Hyvälaatuisesta huokostetusta betonista peräisin olevasta murskeesta on valmistettu pakkasenkestävää betonia.

Betonin samalla vesi –sideainesuhteella betonimurskeen käyttö yleensä lisää betonin karbonatisoitumista ja kloridien tunkeutumista betoniin. Samalla betonien lujuudella karbonatisoituminen voi kuitenkin myös hidastua uusiokiviaineksen määrän kasvaessa tiettyyn rajaan saakka (<50 % kiviaineksesta). Tämä selittyy sillä, että uusiokiviainesta sisältävässä betonissa samaan lujuuteen vaaditaan tyypillisesti enemmän sementtiä kuin luonnonkiviainesta käytettäessä. Lisäksi uusiokiviaines sisältää osin vanhaa sementtipastaa, mikä kasvattaa betonin emäksisyysreserviä / 5 /.

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

3 UUSIOKIVIAINEKSEN KÄYTÖN EKOLOGISUUS

Betonin kierrätys ja betonijätteestä valmistetun uusiokiviaineksen käyttö betonirakenteissa on osa rakentamisen kestävästä kehitystä ja ekologista rakentamista. Betonijätteen synnyn ehkäisy, sen kierrätys ja hyötykäytön edistäminen ovat luonnonvarojen kestävästä käytöstä, johon myös sillanrakentamisessa voidaan vaikuttaa.

Käyttämällä uusiokiviainesta säästämme luontoa. Aikaisemmin rakennusten purkujätteet usein haudattiin täyttökuoppiin. Tämä on vastoin kestävästä kehityksen periaatetta, koska hyödyntämiskelpoinen materiaali jää kierrättämättä. Kierrättämällä purkujätteet säästetään rajallisia soravaroja ja muita uusiutumattomia luonnonvaroja. Betonijätteistä valmistetuilla uusiotuotteilla kuten uusiokiviaineksella voidaan korvata perinteisiä kiviaineksia.

Kierrättämällä betonijäte säästetään samalla suuret määrät tilaa, joka kuluu jätteiden hautaamiseen. Lisäksi hallitsematon purkujätteen läjittäminen voi aiheuttaa vaaraa sekä maaperälle että pohjavesille / 1 /. Näin vähenevät myös kokonaisjättemäärät. Materiaalien tehokas käyttö on suorastaan toimintaedellytys ja pitkän aikavälin kilpailuetu tulevaisuuden niukentuvilla globaaleilla raaka-ainemarkkinoilla.

Uusiokiviaineksen avulla voimme vähentää myös ajoneuvojen polttoaineiden kulutusta ja päästöjä kiviainesten kuljetusmatkojen lyhentyessä. Joissakin tapauksissa voidaan maarakentamisessa ohentaa rakennepaksumuksia ja näin säästää luonnon materiaaleja.

Uusiokiviaineksen elinkaaritarkastelua tarvitaan, jotta voidaan perustella sen käytön edullisuus perinteisiin kiviaineksiin verrattuna.

Uusiokiviaineksen käytön ympäristövaikutuksia voi laskennallisesti tarkastella ympäristölaskentamenetelmillä kuten ekotaseella, elinkaariarviointiohjelmistolla (LCA-ohjelmistot) tai ympäristökuormitusten laskenta ja ympäristövaikutusten arviointimenetelmällä (EIA).

Tässä elinkaariarviointiin liittyvää terminologiaa:

- **Elinkaarikustannusten arviointi**, LCC: Elinkaarikustannuslaskennassa arvioidaan kaikkien elinkaaren aikana suoritettavien toimenpiteiden kustannusvaikutukset ja muunnetaan ne nykyarvoon. Tulevaisuudessa syntyvien kustannusten kustannusvaikutus riippuu tarkastelu- ja vertailujakson pituudesta ja laskentakorkokannasta.
- **Elinkaariarviointi**, LCA on määritetty standardin SFS-EN ISO 14040 ym. perusteella: Menettely, jossa selvitetään, mitä ympäristövaikutuksia tuotteella tai toiminnalla on koko sen elinkaaren ajan. **Inventaarioanalyysi** LCI on elinkaariarviointi, jossa annetun tuotejärjestelmän elinkaarenaikaiset syötteet ja tuotokset yhdistetään ja kuvataan määrällisinä.
- **Elinkaari** on tarkasteltavan tuotejärjestelmän peräkkäiset tai vuorovaikutteiset vaiheet raaka-aineiden hankinnasta tai luonnonvarojen tuottamisesta tuotteesta syntyvän jätteen loppukäsittelyyn.
- **Ekotehokkuus** on tuotoksen tai hyödyn (output) ja panoksen (input) suhde. Tuotos on niiden tuotteiden ja palveluiden arvo, jotka yritys, sektori tai talous kokonaisuudessaan tuottaa. Panos on ympäristöön kohdistuvien paineiden tai kuormi-

tusten summa. Ekotehokkaassa rakentamisessa hankkeelle asetetut vaatimukset pyritään täyttämään mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittavalla maan ja resurssien käytöllä rakennettavan kohteen koko elinkaaren aikana. Ekotehokkuuden selkeitä indikaattoreita ovat esimerkiksi maan käyttö, luonnon materiaaliressurssien käyttö, energiaresurssien käyttö ja haitalliset päästöt (ilmaan, veteen, maaperään).

Ekotehokasta infrarakentamista on tarkasteltu lähteessä / 27 /. Ympäristönäkökohtien merkitys hankinnoissa on kasvanut EU:n yhdenmetytyn tuotepolitiikan, uudistuneiden hankintadirektiivien sekä YK:n kestävän kulutuksen ja tuotannon toimintaohjelman myötä. Tiehallinnon hankintastrategian mukaan Tiehallinnon tavoitteena on ottaa tarjousten arviointiperusteiksi elinkaari- ja ekotehokkuus. Infrarakenteiden tarkoituksena on palvella niiden omistajien, käyttäjien sekä yhteiskunnan tarpeita käyttöiän ajan. Infrarakenteiden elinkaaren pituus on yleensä pitkä moniin muihin tuoteryhmiin verrattuna ja se mitataan kymmenissä vuosissa. Infrarakenteiden elinkaareen sisältyy yleensä myös useita kunnossapito- ja korjaustoimenpiteitä, joiden vaikutuksesta elinkaaren kokonaispituus kasvaa merkittävästi. Infrarakenteen elinkaaritarkasteluissa otetaan huomioon kaikki kuvassa 1 esitetyt elinkaaren vaiheet.



Kuva 1. Elinkaari, sen vaiheet ja käyttöikäkäsitteitä infrarakentamisessa / 27 /.

Ekotehokkuudella tavoitellaan ympäristökuormitusten kokonaisvaltaista vähentämistä pyrkimällä samanaikaisesti tuottamaan kustannussäästöjä ja kilpailuetua. Ekotehokkaassa infrarakentamisessa hankkeelle asetetut vaatimukset täytetään mahdollisimman vähillä ympäristövaikutuksilla, kun tarkastelujaksona on koko elinkaari. Ekotehokkuuden määritelmälle ei ole olemassa vielä standardia, kuten esimerkiksi elinkaariarvioinnille ja siten käsitettä voidaan tulkita eri tavoin. Erään kansainvälisen määritelmän (WBCSD) mukaan ekotehokkuus lasketaan tuotteiden tai palvelujen arvon suhteena ympäristökuormituksen summaan. Siten infrarakentamisen ekotehokkuutta voidaan kuvata kaavalla:

$$\text{Ekotehokkuus} = \text{Rakennuskohteen tai tuotteen arvo} / \text{Ympäristövaikutukset}$$

Tässä kaavassa kohteen arvo ja ympäristövaikutukset muodostuvat osatekijöistä. Kokonaisarvo lasketaan osakomponenttien painotetusta summasta. Rakennuskohteen arvo tarkoittaa tässä sitä palvelua ja toimivuutta, joka voidaan saada aikaan vaihtoehtoisin linjaus-, geometria ja teknisin ratkaisuin. Lähteessä / 27 / on tarkasteltu tämän kaavan käyttöä ja käytön kehittämistä mm. MELI-ohjelmistossa ja sen perusteella on laadittu ehdotus ekotehokkuuden huomioonottamiseksi infrarakentamisen investoinneissa.

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

Tärkeätä on myös nähdä uusiokiviaineksen käytön positiiviset vaikutukset ilmastonmuutokseen kuten mahdollinen kiviaineskuljetusten väheneminen ja samoin mahdollinen CO₂-päästöjen väheneminen. Näin uusiokiviainesten käyttö osoittautuu yhdeksi tärkeäksi kestäväen kehityksen ja ekotehokkaan sillanrakentamisen osa-alueeksi.

4 UUSIOKIVIAINEKSEN KÄYTÖN TALOUDELLISUUS

Uusiokiviaineksen taloudellisuutta voidaan tarkastella sen valmistajan, käyttäjän ja yhteiskunnan kannalta. Uusiokiviaineksen taloutta sen valmistajan kannalta ei tarkastella tässä yhteydessä.

Keskeiset vaikuttavat tekijät uusiokiviaineksen käytön hinnanmuodostuksessa ovat usein:

- betonijätteen vastaanottohinnan suhde jätemaksuun kaatopaikalla,
- uusiokiviaineksen hinnan suhde luonnonkiviainekseen; uusiokiviaineksen hinnan on oltava pienempi, jos sen laatu on huonompi kuin luonnonkiviaineksella, muuten se voi olla lähes sama,
- betonijättemäärät; jätemäärien jatkuva minimointi on yleensä välttämätöntä kustannusten vähentämiseksi; uusiokiviaineksen saatavuus vaikuttaa sen hintaan,
- kuljetusmatkojen pituudet.

Uusiokiviaineksen käyttö on todettu taloudelliseksi vaihtoehdoksi maarakentamisessa ja ontelolaattatuotannossa (kun uusiokiviaines on tehty hylätyistä ontelolaatoista). Uusiokiviaineksen käytön taloudellisuutta maarakentamisessa edistää erityisesti maarakenteen kantavuuden paraneminen, kun perinteinen kalliomurske korvataan uusiokiviaineksella kantavassa kerroksessa. Käyttämällä sitä tienrakennuksessa kantavassa kerroksessa, voidaan saada lujuutta 25...60 MPa eli yli 40 % enemmän kantavuutta kuin käyttämällä kalliomurskettä. Tällöin voidaan ohentaa rakennekerroksia ja saavuttaa näin säästöjä.

Rakennuttajille ja urakoitsijoille betoninkierrätys on monesti järkevää, koska silloin välttyään kaatopaikkamaksuilta. Kierrätettävältä materiaalilta ei peritä myöskään jäteveroa. Kaatopaikkamaksut ja jätevero tulevat lähivuosina todennäköisesti kasvamaan merkittävästi. Jos kuljetusmatkat lyhenevät, alenevat myös kustannukset.

Yhteiskunnan talouden kannalta on hyvin merkittävää, että uusiokiviaineksen käyttö säästää luonnonresursseja ja vähentää jätettä sekä infrastruktuurin kulutusta kuten maanteiden ja siltojen kulutusta raskaan liikenteen vähentyessä. Samalla voidaan luoda myös uusia työpaikkoja.

Kuljetuskustannuksilla on kiviaineksen kuljetuksessa yleensä hyvin merkittävä osuus. Karkeana sääntönä voidaan sanoa, että usein kiviaineksen hinnasta käyttökohteessa noin puolet muodostuu kuljetuskustannuksesta. Kauas käyttökohteesta sijoitettu kiviaineksen ottotoiminta lisää kuljetuksien kautta ympäristön kokonaiskuormitusta. Saksassa onkin todettu, että uusiokiviaineksen käytön taloudellisuuden ratkaisee sen kuljetusmatka verrattuna luonnonkiviaineksen kuljetusmatkaan / 12 /.

Sveitsissä, missä uusiokiviaineksen käyttöä on tutkittu paljon ja sen käyttökin on runsasta, on uusiokiviaines noin 20 % halvempaa kuin luonnonsora. Murskattu kiviaines

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

0 – 32 mm maksaa Etelä-Suomessa nyt noin 8,70 €/tn, asutuskeskuksen ulkopuolella luonnonsora maksaa noin 3,50 €/tn ja uusiokiviaines maksaa myös noin 3,50 – 4,50 €/tn (laatuluokka II). Kiviaineksen kuljetus työkohteeseen ei sisälly näihin hintoihin. Kiviaineksen 15 kilometrin kuljetus pääkaupunkiseudulla maksaa noin 2 – 3 €/tn, mikä on jo noin puolet uusiokiviaineksen tai luonnonpyöreän kiviaineksen materiaalihinnasta. Uusiokiviaines on siis materiaalihinnaltaan noin 60 % halvempaa kuin murskattu kiviaines ja lähes saman hintaista kuin luonnonsora. Jotta saadaan karkea kuva eri kiviainesten hintojen vaikutuksesta ja säästömahdollisuuksista sillan betonirakenteissa, on siitä seuraavassa lyhyt esimerkkilaskelma.

Tarkastellaan pienhköä betonirakenteista yksiaukkoista maantiesiltaa, jonka pituus on 25 m ja leveys 12 m, betonimäärä 320 m³ ja kiviainesta 1,6 tn/betoni-m³. Jos sen betonirakenteissa käytetään uusiokiviainesta, on em. hinnoilla kiviaineksen materiaalikustannuksissa säästöpotentiaali $\geq 3\ 000$ €:a (noin 60 % kiviaineksen hinnasta) verrattuna siihen, että käytetään murskattua kiviainesta. Kiviaineksen kuljetuskustannus ei siis ole tällöin mukana. Vastaava ero verrattuna luonnonpyöreän kiviaineksen käyttöön jää pieneksi. Luonnonpyöreän kiviaineksen hintaetuna on myös sen hieman pienempi sementin tarve. Murskatun kiviaineksen käyttö on yleistynyt merkittävästi viime vuosina luonnonkiviaineksen kuljetusmatkojen pidentyessä. Kiviaineksen kuljetuskustannuksilla voi olla ratkaiseva merkitys kiviaineksen valinnassa. Sillan mahdollinen paalutus betonipaaluilla ei ole edellä esitetyssä laskelmassa mukana. Betonipaaluissakin voitaisiin periaatteessa käyttää uusiokiviainesta. Tilanne on uusiokiviainekselle vieläkin edullisempi, jos kiviaines tulee läheltä vanhasta sillasta murskatusta betonista. On kuitenkin muistettava, että aina ei uusiokiviainesta ole saatavissa ainakaan kohtuullisen läheltä.

USA:ssa on muutamissa osavaltioissa todettu, että käyttämällä uusiokiviainesta saavutetaan 50...60 %:n säästöt verrattuna luonnonkiviaineksen käyttöön / 15 /. Tällöin kysymys on todennäköisesti ollut maa- ja tienrakennuksesta.

Sveitsissä on todettu / 11 / kerrostalokohteessa betonirakenteiden osalta saavutettavan noin 5 %:n kustannussäästö, kun käytetään uusiokiviainesta.

Uusiokiviaineksen käyttö sillan betonirakenteissa on edullisimmillaan, jos vanha silta puretaan ja sen betonirakenteet murskataan uusiokiviainekseksi, jota käytetään lähelle vanhaa siltaa rakennettavan uuden sillan valmistuksessa ja lisäksi ko. murskattavan betonin ja uusiokiviaineksen kuljetusmatkat ovat mahdollisimman lyhyet (lyhyemmät kuin luonnonkiviaineksella).

Ympäristövaikutusten ja elinkaarikustannusten (LCC) todentamisessa voidaan käyttää elinkaariarviointimenetelmiä ja -ohjelmistoja (LCA). Tiehallinto on Suomessa kehittänyt laskentamenetelmän pienten siltojen elinkaarikustannusten laskentaan. Siinäkin voidaan ottaa huomioon uusiokiviaineksen käyttö ja mahdollinen sillan purku ja sen betonin murskaus ja saatuja lukuja voidaan verrata vastaaviin tuloksiin käyttäen luonnonkiviainesta.

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

5 UUSIOKIVIAINEKSEN KÄYTTÖKOhteITA

5.1 Uusiokiviaineksen käyttökohteita Suomessa

Uusiokiviaineksen suurin käyttöalue on Suomessa ollut jo maa- ja tienrakentaminen jo noin seitsemän vuoden ajan. Sitä on käytetty mm. teissä, kaduissa, pihossa, putkikävännöissä ja pienessä määrin myös rakennusten perustuksissa. Tähän on Suomessa laadittu suunnitteluohjeet, jotka on esitelty kohdassa 7.

Toinen merkittävä uusiokiviaineksen käyttöalue Suomessa on ontelolaattatuotanto ja sitä kautta talonrakennuksen kantavat rakenteet. Ontelolaattatuotannossa syntyvä hylkymateriaali murskataan ja uusiokiviaines otetaan hyötykäyttöön uusien ontelolaattojen valmistuksessa. Tämäkin toiminta on jatkunut jo useita vuosia.

Siltojen betonirakenteisiin ei Suomessa ole vielä uusiokiviainesta käytetty.

5.2 Uusiokiviaineksen käyttökohteita ulkomailla

Talonrakentamisen esimerkit

Saksassa tehtiin 1990-luvun lopussa lähes samanaikaisesti ns. BIM-tutkimusprojektissa / 6 / neljä suurta rakennusta uusiokiviaineksestä. Tässä esitellään niistä vain yksi eli liike- ja pysäköintitalo Vilbeler Weg Darmstadtissa / 6 /. Alla on valmiista rakennuksesta kuva ja taulukkomainen esittely sen oleellisista tiedoista liittyen uusiokiviaineksen käyttöön.

Liike- ja pysäköintitalo Vilbeler Weg, Darmstadt



Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

Projektin osallistajat

Rakennuttaja: Bauverein AG
64289 Darmstadt
Tel: 06151/2815218

Arkkitehti: Arkkitehtitoimisto Kramm & Strigel
64289 Darmstadt
Puh: 06151/97520
E-mail: mk.kramm@t-online.de

Urakoitsija: Philipp Holzmann AG

Betonin toimittaja: Kiebert Bauunternehmung, Darmstadt-Arheilgen

Uusiokivaineksen toimittaja: Fa. K+S Baustoffaufbereitung, 64572 Büttelborn

Betoniteknologian valvonta: Institut für Massivbau, Darmstadtin yliopisto

Projektitietoja

Projektin kesto: 11.11.97 – 10.02.98

Rakennuksen tilavuus: 4.000 m³

Betonimäärä:
– yhteensä / ---
– siitä uusiokivaineeksella 461 m³

Materiaalitiedot

Uusiokivaineksen osuus: 100 % kaikissa fraktioissa

Uusiokivaineksen käyttöalueet: Sisärakenteet (pilarit, seinät, laatat), julkisivubetoni

Koostumus:

Kiviaines:

Lajite	Määrä [kg/m ³]
0/2a	585
2/8	545
8/16	568
CEM I 42,5 R	310
	170
Lentotuhka	40
Notkistin FM 26 der Fa. Woermann	

Sementti:

Vapaa vesi:

Seosaine:

Lisäaine:

Betonin ominaisuusarvoja:

Notkeus: F3 (leviämäluokka nykyisin)

Lujuusluokka (DIN 1045) B 35

Saavutettu puristuslujuus : Keskimäärin 45,0 N/mm²

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

Tässä kohteessa seurattiin pitkäaikaisesti useita kuukausia sähköisillä mittauksilla kantavien rakenteiden muodonmuutoksia erityisesti taipumia. Näitä mittauksia tehtiin vertaillen muodonmuutoksia rakenteissa, joissa oli käytetty luonnonkiviainesta tai uusiokiviainesta. Mitatut muodonmuutokset olivat suunnitelmien mukaisia. Vertailurakenteiden muodonmuutoserot selittyivät käytettyjen betonilaatujen kimmomodulin eroilla. Johtopäätöksenä puolen vuoden mittausten tuloksista esitettiin, että tavanomaisissa rakennuksen betonikomponenteissa (rakennusosissa), joissa on käytetty uusiokiviainesta, voidaan käyttää suunnittelussa samoja ominaisarvoja kuin komponenteissa, jotka on tehty luonnonkiviaineksesta / 9 /. Muita BIM-tutkimusprojektin tuloksia on esitetty kohdassa 6 saksalaisen koesillan esittelyn yhteydessä.

Saksassa on viime vuosina ollut käynnissä suuri tutkimushanke teollisuuden sivutuotteiden hyödyntämisestä betonirakentamisessa / 12 / ja siinä yhteydessä on yhtenä alueena tutkittu myös uusiokiviaineksen käytön tulevaisuutta. Uusiokiviaineksen käytön tulevaisuudesta talonrakentamisessa on todettu mm. seuraavaa. Sen käyttö on sallittua kerrostalorakentamisessakin ja se on määritelty standardissa DIN 4226-100 / 13 / ja DAfStb-ohjeessa / 14 /. Tehdyt taloudellisuuslaskelmat ovat osoittaneet, että uusiokiviaineksen käyttö on taloudellista vain, jos uusiokiviaineksen kuljetuskustannukset ovat selvästi pienemmät kuin luonnonkiviaineksen. Eli paikallisesti sen käyttö voi olla hyvinkin perusteltua jo nyt ja mahdollisesti tulevaisuudessa sen merkitys kasvaa kerrostalorakentamisessakin. Nämä periaatteet todennäköisesti pätevät myös sillanrakentamisessakin.

Sveitsissä ja Itävallassa on 2000-luvun alussa tehty kummassakin kerrostalo uusiokiviainesbetonista / 11 /. Sveitsissä on rakennettu käyttäen uusiokiviainesta kuvassa 2 esitetty koulu ”Birch” Zürichin kaupunkiin. Tässä kohteessa kustannussäästöt betonirakenteiden osalta olivat noin 5 %, kun ne valmistettiin uusiokiviaineksesta. Itävallassa on rakennettu asuinkerrostalo Innsbruckiin käyttäen uusiokiviainesta, kuva 3.



Kuva 2. Koulu Zürichissä.

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164



Kuva 3. Asuinkerrostalo Innsbruckissa.

Infrakohteiden esimerkit

Monissa teollisuusmaissa on uusiokiviainesta käytetty jo useita vuosia monissa soveluksissa maarakentamisessa maaperän lujittamisessa, tienrakentamisessa (betonipäällysteet ja tien kantavat kerrokset), jalkakäytävissä, betonisissa kadun reunakivissä, rantapenkereissä, melusteissa, padoissa, putkistojen ja kanavien perustuksissa, maisemointimateriaalina ja esimerkiksi työmaiden tuloväylällä auttamaan mudan ja saven irrottamista kuorma-autojen renkaista.

6 UUSIOKIVIAINEKSEN KÄYTTÖ SILLOISSA

Suomessa ei vielä ole käytetty uusiokiviainesta siltojen betonirakenteissa. Uusiokiviainesta voidaan käyttää Suomessakin jo nyt sillanrakentamisen yhteydessä sillan perustamistason yläpuolisiin täyttöihin. Sitä voidaan käyttää perustusten ja tukimuurien kiviainesarinoihin. Betonimurskeiden lujittumista voidaan hyödyntää näiden arinoiden mitoituksessa. Kevytbetonimursketta (Siporex-murske) voidaan käyttää siltapenkereiden keventeeksi.

Ulkomailla uusiokiviainesta on käytetty jo siltojenkin betonirakenteissakin. Seuraavassa on esitelty kaksi merkittävää siltaa, joissa on käytetty uusiokiviainesta betonirakenteissa. Saksassa on jo 1990-luvun lopussa toteutettu koerakenne ja Espanjassa parhaillaan rakennetaan siltaa uusiokiviainesbetonista. Kovin laajassa käytössä siltojen betonirakenteissa ei uusiokiviaines ole vielä ulkomaillaakaan. Kokemusten, tiedon ja lainsäädännön edistymisen sekä kiristyvien ekologisten tavoitteiden myötä on oletettavaa, että uusiokiviaineksen käyttö kasvaa siltojenkin betonirakenteissa.

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

Saksa

Saksassa rakennettiin menetyksellä jo vuosina 1996 – 1998 moottoritien silta Diepmannsbach K44 uusiokiviaineksesta. Hanke toteutettiin koesiltana osana laajaa tutkimusta (BIM), jossa rakennettiin tämän sillan lisäksi neljä kerrostaloa käyttäen uusiokiviainesta, ks. kohta 5.2. Noin puolet sillan betonista eli 10 000 m³ valmistettiin uusiokiviaineksella. Sillan pituus on 292,6 m, jännevälit ovat 6 x 48,8 m, leveys on 18,75 m ja pinta-ala 5 487 m². Alla on kuva tämän sillan rakentamisesta (vanha silta takana) ja taulukkomainen esitys / 6 / sen muista perustiedoista. Kuvassa 4 on nähtävissä vanha ja uusi silta valmiina vierekkäin. Tämän tutkimusraportin kannessa on myös kuva tästä sillasta. Siinä uusiokiviainesilta on edessä ja vanha silta takana.

Tästä koekohteesta saksalaiset keräsivät runsaasti kokemustietoa uusiokiviainesten käytöstä sillan betonirakenteissa. Tämän BIM-tutkimusprojektin (Baustoffkreislauf im Massivbau, 12 miljoonaa Saksan markkaa, viisi koerakennusta: neljä kerrostaloa ja yksi silta) perusteella on tehty mm. lukuisia ohjeita DAfStb-sarjassa esim. ”Uusiokiviainesbetoni” osat 1 ja 2, ohjeet uusiokiviaineksesta valmistettujen teräsbetonirakenteiden käyttäytymisestä taivutuksessa ja leikkauskuormituksessa sekä asiantuntijajärjestelmä suunnittelijoille. Näistä koekohteista kerätyt tiedot ovat olleet perustana edelleen jatkuvalla suunnitteluohjeiden ja normien kehitystyölle Saksassa. Näitä ohjeita on esitelty myös kohdassa 7. Kohdassa 5, Talonrakentamisen esimerkit, todettiin uusiokiviaineksen käytön olevan tämän päivän Saksassa sallittua kerrostalorakentamisessa ja taloudellisesti edullista, jos uusiokiviaineksen kuljetuskustannus on pienempi kuin luonnonkiviaineksella. Tämä periaate pätee todennäköisesti sillanrakentamisessakin.

Diepmannsbach-sillan K44 uudelleenrakentaminen



Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

Projektiin osallistuneet

Rakennuttaja:	Landschaftverband Rheinland Rheinisches Straßenbauamt Essen
Suunnittelu:	Ins. tsto Köhler + Seitz, Nürnberg
Urakoitsija:	Arbeitsgemeinschaft Umbau K44, Diepmannsbach-Talbrücke Philipp Holzmann AG - Karl Schäfer & Co. GmbH
Betonin toimittaja:	Beton Union Radevormwald GmbH & Co. KG
Uusiokiviaineksen toimitus:	Uusiokiviaines on peräisin sillan betonin murskauksesta
Betoniteknologian valvonta:	Beton Union Radevormwald / Betonilaboratorio E, Philipp Holzmann AG, Oberhausen

Projektitietoja

Projektin kestoaika:	24.06.1996 - 15.09.1998
Valmistetut betonimäärät:	
– yhteensä	21.900 m ³
– siitä uusiokiviaineksella	10.000 m ³

Materiaalitiedot

Uusiokiviaineksen osuus 51,5 M.-%

Koostumus:

Kiviaines:

(murskattua)

Lajite	Määrä
Hiekka 0/2	367 kg/m ³
Uusiokiviaines 0/32	1158 kg/m ³
Murske 8/16	150 kg/m ³
Sora 16/32	90 kg/m ³
Sementti:	
CEM III/A 32,5	240 kg/m ³
Betonin seosaine:	
Lentotuhka	40 kg/m ³
V/s-suhde :	0,81

Betonin ominaisuusarvoja:

Notkeus:	F3 (leviämäluokka nykyisin)
Lujuus standardin DIN 1045 mukaan:	B 15, käyttö ns. täytebetonina



Kuva 4. Diepmannsbach-sillat. Vanha silta vasemmalla ja uusi uusiokiviaineesta tehty silta oikealla.

Espanja

Espanjassa käynnistyi vuonna 2005 uusiokiviaineeseen käyttöön liittyvä mittava silta- tutkimus ja sillanrakennuskohde. Uusiokiviaineesta tehtävä silta, kuva 5, valmistuu Valencian kaupungin lähelle Manisesin alueelle. Sillä korvataan nykyinen betonisilta, kuva 6. Vanhan sillan betoni murskataan ja tällä uusiokiviaineella korvataan osa uuden sillan kiviaineesta. Vain 20 % uuden sillan betonin kiviaineesta korvataan uusiokiviaineella. Suuri osa vanhan sillan betonimurskeesta käytetään siltaan liittyvän tien rakentamiseen.

Tämän siltaprojektin avulla espanjalaiset saavat merkittävästi lisätietoa uusiokiviaineen käytöstä siltarakenteissa ja siltabetonin murskauksesta sekä voivat tarkentaa nykyisiä tältä osin puutteellisia suunnitteluohjeitaan. Tämä hanke palvelee myös EU:ssa käynnissä olevien standardien ja suunnitteluohjeiden laadintaa tällä rakentamisen erikoisalueella. Joulukuussa 2005 espanjalaiset julkaisivat kansallisen ohjeen uusiokiviaineeseen käytöstä kantavissa betonirakenteissa / 20 /.



Kuva 5. Espanjaan uusiokiviaineesta tehtävä silta, suunnitelmakuva / 10 /.

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164



Kuva 6. Vanha silta, josta tehdään uusiokiviainesta uuteen siltaan / 10 /.

7

SUUNNITTELUOHJEIDEN JA STANDARDIEN TILANNE

Uusiokiviaineksen käyttöön betonissa ja betonirakenteissa on viime vuosina laadittu eri maissa standardeja ja ohjeita. EU:ssa tilanne etenee sekä koko EU:n puitteissa että maakohtaisesti paikalliset olosuhteet huomioon ottaen. Seuraavassa on esitelty uusiokiviaineksen käytön tilanne lainsäädännön ja suunnitteluohjeiden osalta muutamissa tämän alan keskeisissä maissa ja RILEMin ohjeiden osalta / 20 /.

Suomi

Suomessa on laadittu ohjeet / 3, 4 / betonirakenteesta tehdylle uusiokiviainekselle ja sen käytölle maarakentamisessa yhteistyössä Tielaitoksen ja Kuntaliiton kanssa. Sen ympäristökelpoisuus varmistetaan VTT:n laatiman laadunvarmistusjärjestelmän mukaisesti. Siitä on tehty myös SFS-standardi / 24 /. Nämä ohjeet perustuvat EU-normeihin. Valtioneuvoston asetuksen / 22 / perusteella betonimurskeen käyttöön maarakentamisessa ei tarvita ympäristölupaa vaan ympäristösuojelulain mukainen ilmoitus alueelliselle ympäristökeskukselle riittää. Lohja-Rudus Oy:llä on uusiokiviaineksen Betoroc-murskeen käyttöohje / 23 /.

Suomessakin vuonna 2003 vahvistettu standardi SFS-EN 12620 Betonikiviainekset / 8 / sallii uusiokiviaineksen käytön betonissa tietyin edellytyksin.. Sen mukaan tulee noudattaa varovaisuutta uusiokiviaineksen käytössä, jos siitä ei ole vakiintunutta käytötappaa ja siitä saatuja kokemuksia. Tähän standardiin on lähiaikoina tulossa tarkennuksia uusiokiviainesten käytölle betonissa. Tätä ennen on uusiokiviaineksen soveltuminen betoniin osoitettava standardin SFS-EN 206-1 mukaisesti joko eurooppalaisella teknisellä hyväksynnällä tai betonin käyttöpaikalla voimassa olevilla kansallisilla standardeilla tai säännöksillä / 5 /. Uusiokiviaineksen testaukseen soveltuvia EN standardeja on valmiina jo useita kuten / 2 / ja lisää on tulossa.

Betoniyhdistyksen uusi ohjekirja by 43/2007 Betonin kiviainekset sisältää myös uusiokiviaineksen käytön betonissa. By 43:n mukaan on kuitenkin erikseen asianmukaisin ennakkokokein osoitettava, että kyseinen tuote on kelvollista aiottuun tarkoitukseen.

Betonimurskeen käytön ohjeistusta tutkitaan ja kehitetään Suomessa edelleen. Siitä on esimerkkinä lähteen / 25 / diplomityö ”Sivutuotteiden maarakennuskäytön ohjeistus – betonimurske ja pääkaupunkiseudun kivihiilituhkat”.

Ontelolaattatehtailla on omat sisäiset ohjeet ontelolaatoista valmistetun uusiokiviaineksen käytöstä ontelolaattojen valmistukseen.

Betonimurskeen käyttöä on ohjeistettu talonrakentamisen maatyöt varten julkaisussa RIL 132 – Talonrakentamisen maatyöt.

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

Uusiokiviaineksen käytöstä siltojen betonirakenteisiin ei vielä ole Suomessa erikoisohjeita. Näitä ohjeita varten tarvitaan lisää tietoa uusiokiviaineksen käytöstä suomalaisissa ankarissa olosuhteissa kuten pakkas-suolarasitus ja ankara pakkasrasitus sillan betonirakenteissa vaikka perusohjeet saataisiinkin ulkomailta tai eurooppalaisina ohjeina. Ympäristöluvan hakemisen osalta voitaisiin tarvittaessa edetä asetusmenettelyä käyttäen, kuten on tehty maarakentamisessakin.

Saksa

Saksassa uusiokiviaineksen käyttö on periaatteessa sallittu erilaisissa betonirakenteissa ja sitä säätelevät erityisesti seuraavat normit ja ohjeet:

- Standardit DIN 4226-100, DIN 1045-1, DIN 1045-2, DIN EN 206-1
- DafStb-ohjeet /13, 14/ ja "Richtlinie Beton mit rezykliertem Zuschlag, Teil 1 und 2, v. 1998
- BIM-projektin tulosteet
- Tutkimusselostus SFB 385 "Baustoffrecycling".

Englanti

Englannissa käytetään mm. seuraavia standardeja ja ohjeita uusiokiviaineksen yhteydessä:

- BS 8500-2, Concrete-complementary British Standard to BS EN 206-1, v. 2002
- BS EN 12620, Aggregates for concrete, v. 2002
- BS EN 206-1, Concrete-Part 1: Specification, performances, production and conformity, 2000
- BRE Digest 433: Recycled aggregate, v. 1998.

Standardia BS 8500-2 ollaan parhaillaan täydentämässä mm. uusiokiviaineksen käytön osalta.

Lähteessä / 21 / on esitetty, miten em. eurooppalaiset ja englantilaiset standardit vaikuttavat uusiokiviaineksen käyttöön siltojen betonirakenteissa Englannissa. Vuonna 2004 oli Englannissa seuraavin perusrajoituksin / 21 / mahdollista käyttää uusiokiviainesta siltojen perustuksissa (100 % kiviaineksesta) ja raudoitetuissa betonirakenteissa (max. 20 % kiviaineksesta). Hienorakeisen (<4 mm) uusiokiviaineksen käyttöä ei sallittu.

Sveitsi

Sveitsissä uusiokiviaineksen käyttöä säätelevät:

- SN 162 Betonbauten, mit Ergänzung Recyclingbeton
- SN 670'143 Recycling – Betonbruch
- SN 670'143 Recycling – Mischabbruch
- Suositus SIA 162/4 Recyclingbeton
- BUWALL-ohje (1999); Info-raportti, Amt Hochbauten Zürich
- SIA 262 määrittelee normaalibetoniksi betonin, missä on ≤ 25 % uusiokiviainesta
- Tavoitteena (v. 2005) ohje, missä määritetään uusiokiviaineksen käyttö, kun sitä on lähes 90 % betonin kiviaineksesta.

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

Hollanti

Hollannissa on julkaistu varsin kattava kokoelma standardeja uusiokiviaineksen ominaisuuksien testauksesta ja vaatimuksista.

Espanja

Espanjassa on julkaistu joulukuussa 2005 ”Espanjalaiset ohjeet/määräykset uusiokiviainekset käytöstä kantavissa betonirakenteissa” / 20 /.

USA

USA:ssa uusiokiviaineksen käyttö on keskittynyt tienrakentamiseen mukaan lukien niiden betonipäällysteet. Sitä säätelevät:

- ACI Committee 555, Removal and Reuse of Hardened Concrete, ACI 555R-01
- ACI Committee 555 Report, American Concrete Institute, v. 2001, 26 s.
- Federal Highway Administration National-julkaisut: Transportation Applications of Recycled Concrete Aggregate, v. 2004, lukuisine viittauksineen osavaltiokohtaisiin ”State Specifications and Guidelines”.

Japani

Japanissa on ollut standardit uusiokiviaineksen käytöstä jo vuodesta 1994 alkaen / 16, 17 /.

Uudemmissa japanilaisissa standardeissa, vuodelta 1997, on ollut sallittua käyttää uusiokiviainesta kerrostalorakentamisessakin / 16 /. Kokemukset tästä ovat kuitenkin vieläkin melko vähäisiä.

Australia

Australiassa on julkaistu ensimmäinen uusiokiviaineksen käyttöä ohjaava kansallinen standardi:

- HB155-2002, Guide to the Use of Recycled Concrete and Masonry Material.

Kanada

Kanadasta esitetään tässä yhteydessä vain yksi tutkimusraportti:

- The Use of Recycled-Concrete Aggregate from Concrete Exhibiting Alkali-Silica Reactivity, Research and Development Bulletin RD 114, Portland Cement Association, v. 1996.

Kiina/Hong Kong

Uusiokiviaineksen käytöstä betonissa on Hong Kongissa normi WBTC 12/2002 / 19 /, missä on määritelty betonin koostumus, kun käytetään 100 %:sti uusiokiviainesta ja kun käytetään vain 20 % uusiokiviainesta koko kiviaineksen määrästä. Lisäksi on määritelty testausmenetelmät (englantilaiset standardit ja ohjeet) / 18 /.

RILEM

RILEM, kansainvälinen materiaali- ja rakennetestausta- ja -tutkimuslaboratorioiden yhdistys, on työskennellyt jo pitkään aktiivisesti yhtenäisten eurooppalaisten ohjeiden aikaansaamiseksi uusiokiviainesten käytöstä betonissa. Tätä työtä on tehty mm. teknisessä komiteassa TC121 ”Betoni- ja muurattujen rakenteiden murskaus ja uudelleen-

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

käyttö” ja CEN/TC 154 ”Kiviainesten uudelleenkäyttö”. RILEM on julkaissut mm. seuraavia ohjeita:

- Rep030: Use of Recycled Materials – Final Report of RILEM TC 198-URM, v. 2005
- Pro040: The use of Recycled Materials in Buildings and Structures, v. 2004
- Sustainable Raw Materials – Construction and Demolition Waste, RILEM Report 22 Publication Series, F-94235, v. 1998.

8 JATKOTUTKIMUSSUUNNITELMA

Tämän esitutkimuksen perusteella on seuraavassa esitetty ehdotus uusiokiviaineksen käytön edistämisestä siltojen betonirakenteissa. Tähän aiheeseen on kansainvälistäkin kiinnostusta ja erityisesti EU:ssa. Tällöin on mahdollista viedä tätä aihetta eteenpäin joko EU:ssa tai yhteistyössä kiinnostuneiden maiden kuten Saksan, Englannin ja Espanjan edustajien kanssa.

Johdanto

Uusiokiviaineksen käyttö on osoittautunut erityisen kilpailukykyiseksi maa- ja tienrakentamisessa. Sillä on mahdollisuuksia kilpailla murskatun kiviaineksen ja luonnonpyöreän kiviaineksen kanssa myös siltojen betonirakenteissa kohoavien kuljetuskustannusten ja kasvavien ympäristövaatimusten myötä. Koko uusiokiven käyttöön liittyvä ketju betonin murskauksesta sen käyttöön liittyvään lainsäädäntöön on oltava kunnossa ennen kuin se otetaan käyttöön siltojen betonirakenteissa.

Tavoitteet

Tavoitteena on uusiokiviaineksen käyttövalmius siltojen betonirakenteissa sekä ko. rakenteiden suunnittelu- ja valmistusohjeet.

Tehtävät

Tavoitteena olevan uusiokiviaineksen käyttövalmiuden hankkiminen siltasovelluksille käsittää teoreettisen osan ja koesillan rakentamisen.

Projektin tehtäviä ovat:

1. Suomalaisen uusiokiviainesbetonin sillanrakentamisen kannalta keskeisten ominaisuuksien tarkentavat kokeet kuten suolapakkakestävyyden ja ankan pakkasrasituksen kestävyden varmistaminen.
2. Sillanrakentamisen uusiokiviaineksen tuotteistus.
3. Suunnitteluohjeiden laadinta yhteistyössä käynnissä olevien ulkomaisten tutkimusprojektien kanssa.
4. Suomalaisen uusiokiviainesbetonin ominaisuuksien tarkentavat kokeet kuten suolapakkakestävyyden varmistaminen ja vaikutukset raudoituksen tartuntaan.
5. Valmistusohjeiden laadinta.
6. Laadunvalmistusohjeen laadinta.

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

7. Lainsäädännöllinen valmius: asetuksen laadinta, jos EU:n puitteissa asia ei etene riittävän nopeasti.
8. Tarkennettujen kustannuslaskelmien teko.
9. Koesillan suunnittelu, toteutus ja seurantatutkimus.

Aikataulu

Tutkimus voidaan aloittaa välittömästi ja se kestää noin kaksi vuotta. Koesillan seuranta jatkuu senkin jälkeen ja päätökset sen kestosta tehdään vuosittain.

9

YHTEENVETO

Tässä esitutkimuksessa tarkasteltiin uusiokiviaineksen käyttömahdollisuuksia siltojen betonirakenteissa. Uusiokiviainesta käytetään jo useissa teollisuusmaissa, myös Suomessa, maa- ja tienrakentamisessa. Sen käyttö betonirakenteissa on vielä ollut paljon vähäisempää ja sillanrakentamisessa sitä on käytetty ainakin koerakentamisessa Saksassa ja Espanjassa. Myös talonrakentamisessa sitä on käytetty koekohteissa Saksassa, Itävallassa ja Sveitsissä. Suomessa on käytetty ontelolaattojen jätepalasista murskattua kiviainesta ontelolaattojen valmistuksessa. Sen käyttö betonirakenteissa (myös silloissa) on periaatteessa sallittu EU:ssa. EU:ssa standardointityö tällä alueella jatkuu. Tällä hetkellä on uusiokiviainesten käyttöä ohjaamassa muutamissa maissa EU:n alueella vielä runsaasti maakohtaisia standardeja ja ohjeita.

Betonirakenteessa kiviaineksen korvaus ≤ 20 %:lla luokiteltua uusiokiviainesta on todettu turvalliseksi jo nyt. Tällöin ei betonirakenteen ominaisuudet vielä muutu merkittävästi. Sitä suurempien uusiokiviainesosuuksien hyväksyntä betonirakenteissa on vielä harvinaista.

Uusiokiviainesta voidaan käyttää Suomessakin jo siltoihin liittyvässä maarakentamisessa. Ennen laajamittaista uusiokiviaineksen käyttöä Suomessa siltojen betonirakenteissa on tarpeen mm. rakentaa koesilta, jossa uusiokiviainesta käytetään joissakin sillan osissa kuten peruslaatoissa sekä pääty- ja välituissa.

Johtuen kohoavista kuljetuskustannuksista ja luonnonpyöreän kiviaineksen ottoaikojen siirtyessä kauemmaksi asutuskeskuksista uusiokiviainesten käytön taloudellisuuden kannalta aivan keskeistä on uusiokiviainesten kuljetusten minimointi. Uusiokiviaineksen käytön taloudellisuuden ratkaisee usein sen kuljetusmatkan pituus. Kuljetuskustannusten ollessa yhtä suuret voi uusiokiviainesbetoni silti säästää jopa 60 % sillan betonirakenteiden kiviaineksen hinnasta verrattuna murskattuun kiviainekseen. Vastaava hintaero verrattuna luonnonpyöreään kiviainekseen jää pieneksi. On myös otettava huomioon, että aina ei uusiokiviainestakaan ole saatavissa.

Uusiokiviaineksen käytössä sillan betonirakenteissa on kysymys myös sillan rakentamisen kestävästä kehityksestä ja ekologiasta. Näitä molempia uusiokiviaineksen käyttö sillan betonirakenteissa edistää merkittävästi. Sillan elinkaari- ja ekotaselaskelmilla voidaan näitä todentaa samoin kuin Tiehallinnossa kehitettyä infrarakentamisen investointien ekotehokkuuden laskentaa.

Jatkotutkimuksissa on tarpeen ensin selvittää muutamit Suomessa silloissa erityisen tärkeät uusiokiviainesbetonin ominaisuudet kuten suolapakkaskestävyys ja kestävyys ankarassa pakkasrasituksessa. Jos uusiokiviainesbetonin säilyvyysominaisuuksia ei o-

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

le tutkittu, voidaan sitä käyttää vain rakenteissa, joille ei ole asetettu P-lukuvaatimusta. Samalla voidaan tuotteistaa sillanrakentamiseen omat uusiokiviainekset. Sillan, jossa käytetään betonirakenteissa uusiokiviainesta, suunnittelua ja toteutusta varten on laadittava ohjeet. Jatkotutkimuksiin sisältyy myös em. koesillan rakentaminen käyttäen uusiokiviainesta rajatuissa sillan osissa. Jatkotutkimuksia varten on tässä esitutkimuksessa laadittu jatkotutkimussuunnitelman perussisältö.

LÄHDELUETTELO

1. Rudus Oy: Betonin kierrätys. www.rudus.fi/kierrätys, v. 2007.
2. Standardi SFS-EN 1744-5: Kiviainesten kemiallisten ominaisuuksien testaus. Osa 6: Uusiokiviainesten vaikutus sementin sitoutumisaikaan. Julkaistu v. 2006.
3. Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa. Tielaitoksen selvityksiä-sarja, v. 2000.
4. Betonimurske kadun päällysrakenteessa 2000. Kuntaliitto v. 2000.
5. Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betoniteollisuudessa. Betonikeskus ry, v. 2005.
6. Saksalainen uusiokiviaineksen tutkimusprojektin BIM-projektitietopankki, www.b-i-m.de.
7. Moerland, P. and Wörner, J-D., Mit Recycling-Beton braucht man mehr Sicherheit. Deutsches Ingenieur Blatt, 1/1998 sivut 17-23.
8. Standardi SFS-EN 12620 Betonikiviainekset, v. 2003.
9. Garg, A., Koster, G., Rühl, M., Implementation of long term measurements at a building made of concrete with aggregate derived from concrete rubble, Darmstadt Concrete-lehti, v.1998, 6 s.
10. Laboratorion "Central de estructuras y materiales" esite, v. 2005, www.cedex.es.
11. Städtische Hochbauten in ökologisch sinnvoller Ausführung mit Recycling-Beton B, Hochbaudepartement der Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, v. 2005.
12. Hauer, B., Ramolla, S., Rübner, K., Potenziale des Sekundärstoffesinsatzes im Betonbau, seminaarin NBB esitelmä v. 2006.
13. Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinkörnungen nach DIN 4226-100. Teil 1. Anforderungen an den Beton für die Bemessung nach DIN 1045-1. Richtlinie des DafStb, Berlin: Beuth, v. 2004.
14. Kerkhoff, B., Siebel, E., Einfluss von rezykliertem Zuschlag aus Betonbruch auf die Eigenschaften, insbesondere die Dauerhaftigkeit von Beton. Schriftenreihe des DafStb. Berlin: Beuth, v. 2002.
15. Recycling Concrete Saves Resources, Eliminates Dumping. Environmental council of concrete organizations, USA, v. 2007.

Juha Ratvio

25.1.2008

B-2164

16. Tomosawa, F., The recycling of Concrete - The Japanese Experience. Proceedings of the 4. Canner/ACI/JCI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology, Tokushima, Japan, v. 1998.
17. Kasai, Y., Barriers to the Re-use of Construction By-products and the Use of Recycled Aggregate in Concrete in Japan. Proceedings of the International Conference on the Use of Recycled Concrete Aggregates. Edited by R.K. Dhir, N.A. Henderson and MC. Limbachiya, Thomas Telford, UK, v. 1998.
18. Poon, C.S., Azhar, S., Kou S.C., Recycled Aggregates for Concrete Applications, v. 2003.
19. Hendriks, C.F., Pieterse, H.S., Sustainable Raw Materials – Construction and Demolition Waste, RILEM Report 22, RILEM Publications Series, F-94235, v. 1998.
20. Use of Recycled Materials, RILEM TC 198-URM: Final Report, v. 2005.
21. Clear, C., Implementation of European concrete and aggregate standards and their influence on the use of recycled aggregates in concrete for bridges, Concrete Bridge Development Group, Englanti, v. 2004.
22. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa. V. 2006.
23. Lohja-Rudus Oy, Betoroc-ohje. Käyttöohje rakentamiseen ja suunnitteluun, v. 2007.
24. SFS 5884. Betonimurskeen maarakennuskäytön laadunhallintajärjestelmä, v. 2001.
25. Hakari, M., Sivutuotteiden maarakennuskäytön ohjeistus – betonimurske ja pääkaupunkiseudun kivihiilituhkat. Diplomityö, TKK, v. 2007.
26. Mattila, H., Purku- ja raivausmateriaalien käsittely ja uusiokäytön luvanvaraisuus tienrakentamisessa, Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 51/2007, v. 2007.
27. Korkiala-Tanttu, L., Eskola, P., Valkeisenmäki, A., Antila, R., Mutanen, E., Ekotehokkuus investointien ST-hankinnoissa. tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 49/2007.