



Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betoniteollisuudessa

Betoni ja sen osa-ainekset ovat kierrätettäviä. Betonitehtaassa prosessivettä kierrätetään uuden betonin valmistukseen, betoniaseman pesuihin, betonin hiontaan tai esim. ontelolaattojen timanttisauhaukseen. Betonilietettä voidaan käyttää hienoaineksena betonin valmistukseen, maatyöissä tai tuotteistettuna esim. lannoitusaineeksi.

Pestyä kierrätyskiviainesta käytetään betonin valmistuksessa. Murskattua jätebetonia käytetään tienrakentamisessa. Sillä voidaan myös korvata betonin kiviaineksesta noin neljännes ilman, että betonin ominaisuudet juurikaan muuttuvat. Julkaisussa esitetään kierrätysmateriaalien koostumus ja ohjeet niiden käytölle.

Ympäristönsuojelulaki ja -asetus sekä muu ympäristölainsäädäntö säätelee betoniteollisuuden kierrätystä. Suurin tarve kierrätykseen on valmisbetoniasemilla sekä seinäelementti-, porras- ja ontelolaattatehtaissa. Julkaisussa esitetään eri teknologia- ja laitevaihtoehdot, joita erityyppisissä tehtaissa voidaan käyttää.

betoni

Suomen Betonitieto Oy
PL 11, 00131 HELSINKI
(Unioninkatu 14)
Puh. (09) 6962 360
Faksi (09) 1299 291
www.betoni.com

ISBN-952-5075-69-9



9 789525 075694

betoni

Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betoniteollisuudessa



Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betoniteollisuudessa

betoni



Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betoniteollisuudessa





Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betoniteollisuudessa

Graafinen suunnittelu ja taitto
Informaatti Ky, Kari Sundell

Julkaisija
Betonikeskus ry

Kustantaja
Suomen Betonitieto Oy
PL 11, 00131 Helsinki
Puh. (09) 6962 360, fax (09) 1299 291

© 2005, Betonikeskus ry, Suomen Betonitieto Oy

ISBN 952-5075-69-9

Ilmoitukset
Suomen Betonitieto Oy
Sami Hotanen
Puh. (09) 6962 3623, fax (09) 1299 291

Kirjapaino
Nykypaino Oy
Helsinki 2005



Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betoniteollisuudessa



betoni



SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	7	4	PESTYN KIERRÄTYSKIVIAINEKSEN KÄYTTÖ	30
MÄÄRITELMIÄ	9	5	YLIJÄÄMÄBETONILIIETTEEN PROSESSOINTI JA KÄYTTÖ	31
1	BETONIN KIERRÄTYS JA YMPÄRISTÖ-LAINSÄÄDÄNTÖ	10	5.1 Johdanto	31
1.1	Nykyinen lainsäädäntö	10	Betonilietteen perusominaisuudet	31
	Ympäristölupa	10	Betonilietteen uusiokäyttö	32
	Euroopan Unionin vaikutus	10	5.2 Vedenpoisto tai -absorbointi	32
	Jättemääritelmä	10	5.3 Betonilietteiden rakeistus	33
	Lannoitekäyttö	11	5.3.1 Rakeistuskokeet	33
1.2	Lainsäädännön kehityssuunnat	12	5.3.2 Betonilietterakeiden analyysituloksia	35
			5.3.3 Johtopäätökset rakeistuskokeista	35
2	KIERRÄTYSMATERIAALIEN OMINAISUUDET JA RAJA-ARVOT	13	5.4 Betonilietteen käyttö lannoitteena	36
2.1	Analyysitulokset kierrätysvesistä	13	5.5 Alhaisen lujuuden massat	37
2.2	Analyysitulokset betonilietteistä	14	Yleistä	37
			Betoniliettemassat - koetuloksia	38
		5.6	Betonilietteen käyttö maarakentamisessa	40
3	KIERRÄTYSVEDEN KÄYTTÖ BETONISSA	18	Prosessoimaton betoniliete	40
3.1	Määrittely ja yleiset vaatimukset	18	Prosessoidut ja stabiloidut betonilietteet ja alhaisen lujuuden täyttömassat	41
	Määrittely	18		
	Betoninormit, laadunvalvonta	18		
	Kelpoisuuden toteaminen	19	6	KIERRÄTYSPROSESSIT JA LAITTEISTOT
3.2	Vesistandardin SFS- EN 1008 vaatimukset	19	6.1 Johdanto	43
	Rajoitukset kierrätysveden käytölle	19	6.2 Suomen betoniteollisuuden nykytilanne	43
	Yleiset vaatimukset	20	Valmisbetonitehtaat	43
	Veden tiheys ja kiintoaineen määrä sekä tiheyden seuranta	20	Ontelolaattatehtaat	44
	Veden soveltuvuuden arviointi	21	Hiontalinjat	45
	Näytteenotto ja testaus	21	Julkisivuelementtitehtaat	45
3.3	Kierrätysveden vaikutus betonin ominaisuuksiin	22	Yhteenveto Suomen betoniteollisuuden tilanteesta	45
	Vesi-sementtisuhte	22	6.3 Euroopan betoniteollisuuden nykytilanne	45
	Massan työstettävyys	22	6.3.1 Saksalaiset referenssi-kohteet	46
	Lujuus ja lujuuden kehittyminen	23	Esimerkki	46
	Huokostus	23	Laitteiston ja prosessin kuvaus	46
	Kutistuminen	24	6.3.2 Hollantilaiset referenssi-kohteet	47
	Tiiviys	25	Esimerkki	47
3.4	Laadunvalvonta	25	Laitteiston ja prosessin kuvaus	47
3.4.1	Puristuslujuus	25	6.3.3 Italialaiset referenssi-kohteet	48
3.4.2	Pakkasenkestävyys	26	Esimerkki	48
	Laadunvalvontamenettely	27	Laitteiston ja prosessin kuvaus	48
3.5	Yhteenveto	28	6.3.4 Ruotsalaiset referenssi-kohteet	49
			Esimerkki	49
			Laitteiston ja prosessin kuvaus	49
		6.4	Kiviteollisuuden kierrätyslaitteistot	50



	Esimerkki: kovia kivilaatuja työstävä tehdas	50	7.2.1	Betonimurskeen hyödyntämisen edellytykset	74
	Prosessin kuvaus	50	7.2.2	Betonin murskaus ja muu prosessointi	75
	Esimerkki:Pehmeitä kivilaatuja työstävä tehdas	51		Betonin murskaus	75
	Prosessin kuvaus	51		Betonijätteen laadun merkitys	76
6.5	Käyttökelpoiset teknologiat	52		Murskauslaitoksen kokoonpano	76
6.5.1	Allasselkeytys	53		Betonimurskeen seulonta	77
	Investointikustannukset	53		Muiden materiaalien erottelu ja lajittelu	78
	Käyttö- ja huoltokustannukset	54		Raudoituksen poistaminen	78
6.5.2	Allasselkeytys pesurilla tehostettuna	55		Muiden epäpuhtauksien poistaminen	78
	Investointikustannukset	55		Betonijätteen käyttö pulveroituna	79
	Käyttö- ja huoltokustannukset	55	7.2.3	Käyttö maarakenteiden sitomattomissa kerroksissa	80
6.5.3	Kierrätysveden ja pestyn karkean kiviaineksen kierrätys betoninvalmistukseen	56	7.2.4	Käyttö maarakentamisen sitovissa kerroksissa	81
	Investointikustannukset	57	7.2.5	Betonimurskeen maarakennuskäytön ohjeistus	82
	Käyttö- ja huoltokustannukset	59		Eurooppalainen normitus	83
6.5.4	Selkeytetyn veden ja karkean kiviaineksen kierrätys, hienoaines erotetaan kierrätysprosessista (Esim ontelo-laattatehtaan tai hiontalinjan kierrätysratkaisu)	59	8	YHTEENVETO	84
	Investointikustannukset	60		Lainsäädäntö	84
	Käyttö- ja huoltokustannukset	61		Kierrätysmateriaalien ominaisuudet ja raja-arvot	84
6.5.5	Suljettu kierto	61		Kierrätysvesi ja pestyt kiviainekset	84
	Investointikustannukset	62		Ylijäämälietteen prosessointi ja käyttö	84
	Käyttö- ja huoltokustannukset	63		Kierrätysprosessit	85
6.5.6	Täydentävät prosessit	63		Murskatun betonin uusiokäyttö tienrakentamisessa	85
	Teräskuitujen erottelu	63		Murskatun betonin uusiokäyttö betonin kiviaineksena	86
	Kevyiden kiviainesten ja partikkelien erottelu	63		VIITTEET	87
	Esiselkeyttimet	63		LIITE 1. VESISTANDARDIN SFS-EN 1008 VAATIMUKSET BETONISSA KÄYTETTÄVÄLLE KIERRÄTYS- JA YHDISTETYLLE VEDELLE	91
6.6	Laitetoimittajia	64		LIITE 2. EUROOPAN BETONITEOLLISUUDEN NYKYTILANNE	95
7	MURSKATUN BETONIN UUSIOKÄYTTÖ	65	1	Saksalaiset referenssikohteet	95
7.1	Käyttö betonin kiviaineksena	65	2.	Hollantilaiset referenssikohteet	103
7.1.1	Yleistä	65	3.	Italialaiset referenssikohteet	108
7.1.2	Suhteitus ja massan ominaisuudet	65	4.	Valmisbetonitehtaat Ruotsissa	116
7.1.3	Kovettuneen betonin ominaisuudet	66		LIITE 3. BETONIMURSKKEEN LAADUN- VALVONTAMENETELMÄT JA VALVONTAOHJELMA	125
	Mekaaniset ominaisuudet	66			
	Säilyvyysominaisuudet	67			
7.1.4	Betoninormit ja EN-standardointi	67			
7.1.5	Käytön lisäohjeistus	69			
	Ohjeistus Suomessa	69			
	Lisäohjeistuksen periaatteet	69			
	RILEM:in ohje	70			
	Japani	71			
	BS 8500-1 & 2:2002 (U.K:n EN 206-1:n kansallinen lisäohjeistus)	72			
7.2	Käyttö maarakentamisessa	74			





TIIVISTELMÄ

Vuodelta 2000 oleva Ympäristösuojelulaki ja -asetus edellyttävät, että uusi tai toimintaansa laajentava betoniteollisuuden tehdas tarvitsee ympäristöluvan. EU:n tulevasta lainsäädännöstä ainakin kemikaali-, jäte-, jätevesi- ja maaperän suojelun lainsäädäntö vaikuttavat betoniteollisuuteen. Kotimaisen lainsäädännön muutoksia on tulossa ainakin jätteen käyttöön maarakentamisessa, lannoitevalmistelakiin ja maa- aineslakiin.

Betoniasemalta tai -tehtaalta pois johdettava vesi ei ole ympäristön kannalta ongelmallista. Se on kuitenkin erittäin emäksistä ja siihen liuenneet aineet voivat kertyä esimerkiksi putkistojen pinnoille. Myös betonilietteen ovat erittäin emäksisiä, mutta niidenkään ympäristökelpoisuus ei ole ongelma, kunhan ne käsitellään ja sijoitetaan oikein. Kaikkien tutkittujen betonitehtaiden lietteet alittivat lannoitelaissa maanparannusaineille annetut raja-arvot.

Julkaisussa esitetään, miten betoniteollisuuden mahdollisesti hienoja kiintoainepartikkeleita sisältävää kierrätysvettä sekä pestyä uusiokiviainesta voidaan käyttää Betoninormien mukaisesti betonin osaineenä. Betonimassan ja kovettuneen betonin vaatimustenmukaisuus on hallittavissa normaalisti ja pakkasenkestävyyden osalta ehdotetun laadunvalvontamenettelyn kautta. Pestyn kiviaineksen määrä voi olla betonissa lajitteisiin jakamattomana 5 % kiviaineksen kokonaismäärästä, mutta se soveltuu ongelmitta myös maarakennuskäyttöön.

Betonilietettä kertyy tuotannossa, jossa hienoainesta syntyy esimerkiksi hionnoissa erityisen paljon tai sitä ei muista syistä kierrätetä takaisin tuotantoon. Lietettä on mahdollista hyödyntää esimerkiksi kalkitusaineena pelloilla, jolloin sen käytettävyyttä parantaa rakeistus tai murskaus. Lietteet soveltuvat sellaisenaan maa- ja viherrakennuskohteisiin, joissa tekniset vaatimukset eivät ole suuria. Sideainestabilointi tai käyttö kiviainesta sisältävissä alhaisen lujuuden

massoissa on yksi mahdollisuus käytön laajentamiseen. Jatkokehitystä ja aivan uusia-kin ideoita tarvitaan, jotta kaikki betonilietettä saataisiin Suomessa riittävän taloudellisesti hyötykäyttöön.

Tuore ylijäämäbetoni voidaan erotella karkeaksi kiviainekseksi ja betonilietteeksi erilaisilla pesureilla. Lietteestä voidaan selkeyttää altaissa kiintoaines eroon. Vesi voidaan kierrättää uudelleen prosessiin. Liette voidaan myös käyttää betonin valmistukseen tai tuotteista esim. maanparannusaineeksi. Karkea kiviaines voidaan käyttää betonin valmistuksessa tai maarakentamisessa.

Prosessissa esitetään erityyppiset markkinoilla ja käytössä testatut kierrätysprosessivaihtoehdot sekä niissä käytettävien päälaitteiden toimintaperiaatteet.

Suurin tarve kierrätykseen on betoniasemilla, betonin hionta- ja pesulinjoilla sekä ontelolaattojen valmistuksessa. Valittavan kierrätysteknologian tulee aina olla yrityksen ja tehtaan kannalta taloudellisesti perusteltu ja tehdaskohtaisesti suunniteltu.

Kovettuneen betonin kierrätysaste on kasvanut nopeasti noin 50 %:iin ja on jo valtakunnallisen rakennusjätteiden kierrätystasolla. Betonimurskeen potentiaalinen käyttöalue on maarakentamisessa, jossa sen käyttö on hyvin ohjeistettua ja siitä on paljon kokemusta. Vuonna 2004 betonimursketta käytettiin sadoissa eri rakennuskohteissa kaikkiaan noin 300 000 tonnia. Lähinnä se soveltuu teiden, katujen, kenttien ja pihojen kantaviin ja jakaviin kerroksiin. Betonimursketta voidaan käyttää myös uusiokiviaineksena betonissa. Hyvälaatuisen betonimurskeen määrä voi olla jopa 20 – 30 % koko kiviaineksesta ilman, että se vaikuttaa oleellisesti betonin ominaisuuksiin. Tietyissä raudoittamattomissa betonointikohteissa betonin koko karkea kiviaines on mahdollista korvata betonimurskeella.





MÄÄRITELMIÄ

Seuraavassa esitetään julkaisussa käytettävien oleellimpien lähinnä materiaalitekniikan termien määrittely.

Talousvesi

soveltuu betonissa käytettäväksi ilman testauksia.

Kierrätysvesi, kierrätetty vesi

on betoniteollisuuden prosesseista talteen otettua vettä,

se joko

- sisältää siihen sekoittamalla tasaisesti jaettavaa hienoa kiintoainetta ($<0,25$ mm) ja veden tiheys on yli 1,01 kg/litra tai
- ei sisällä merkittävästi kiintoainetta ja veden tiheys on alle 1,01 kg/litra, jolloin vesi otetaan yleensä saostusaltaista, joissa kiintoaineen on annettu laskeutua kunnolla.

Slurry

on käytännön termi, jolla tarkoitetaan hienoa kiintoainetta sisältävää kierrätysvettä, jonka tiheys on yli 1,01 kg/litra.

Yhdistetty vesi

on kierrätysveden ja alkuperältään jonkin muun veden kuten talousveden seos.

Betoniliete

on pääosin hienojakoisesta raekooltaan alle 0,25 mm:n aineksesta ja vedestä koostuva materiaali, jota syntyy betoniteollisuuden prosesseissa. Sen olomuoto on käytetyn kierrätysprosessin ja sen vaiheen ja samalla vesipitoisuuden mukaan joko juokseva tai kiinteä. Betoniliete voi olla osana materiaalissa, joka sisältää myös yli 0,25 mm:n kiviainesta (betoniliete-kiviainesseos).

Tuorekierrätetty kiviaines eli pesty kierrätyskiviaines

on kiviainesta ($>0,25$ mm), joka on otettu talteen kierrätysprosesseissa käyttäen erityistä pesurilaitteistoa.

Sivutuote

on varsinaisen tuotannon ohessa syntyvä materiaali, joka soveltuu joko sellaisenaan tai jalostettuna/prosessoituna hyötykäyttöön.

Uusiomateriaali

on olemassa olevista rakenteista purettu tai alkuperäisestä käytöstä poistettu materiaali, joka soveltuu joko sellaisenaan tai jalostettuna/prosessoituna hyötykäyttöön.

Uusiotuote

on uusiomateriaalista jalostettu tuote, jonka käyttökohteen mukainen käyttökelpoisuus ja vaatimustenmukaisuus on tutkittu ja varmistetaan laadunvalvonnalla.

Uusiokiviaines

on betonissa käytettäväksi sopiva rakeinen mineraalimateriaali, joka on valmistettu aikaisemmin rakentamisessa käytetystä tai käytettäväksi tarkoitetusta epäorgaanisesta materiaalista.

Betonimurske

on pääosin murskatusta betonista koostuva uusiokiviaines.

Kierrätysprosessi

sisältää menetelmät ja laitetekniikan, jonka avulla betoniteollisuuden prosesseissa syntyvät vesi, betoniliete ja kiviainekset saadaan joko samassa tuotannossa tai sen ulkopuolella hyötykäyttöön tai uusiomateriaaliksi. Veden osalta kierrätysprosessi voi sisältää myös sen saattamisen kelvolliseksi pois johdettavaksi.



1 BETONIN KIERRÄTYS JA YMPÄRISTÖ-LAINSÄÄDÄNTÖ

1.1 Nykyinen lainsäädäntö

Vuonna 2000 yhtenäistettiin useissa erillis-laeissa olleiden ympäristön käyttöön, teolli-seen toimintaan ja jätteisiin liittyvien lupien käsittely säätämällä ympäristönsuojelulaki ja -asetus (86 ja 87/2000). Laki on ympäristön pilaantumista ehkäisevä yleislaki, joka mu-kaan ympäristöhaittojen ennaltaehkäisy ja minimointi sekä varovaisuus ja huolellisuus ovat yleisesti noudatettavat periaatteet, kun harjoitetaan ympäristön pilaantumisen vaa-raa aiheuttavaa toimintaa.

Ympäristölupa

Uusi tai toimintaansa laajentava betoniteh-das, sekä valmisbetoniasema että element-titehdas, tarvitsevat toimintaansa ympä-ristöluvan. Ympäristönsuojeluasetuksen 7 §:n 1 momentin 8 a-kohdan mukaan toi-mivaltainen viranomainen betonitehtaan ympäristöluvan käsittelyyn on kunnan ympäristönsuojeluviranomainen. Ympäris-tönsuojelulain voimaannpanosta annetun lain mukaan lain voimaan tullessa asianmu-kaisesti luvitetun laitoksen oli määrä tehdä alueelliselle ympäristökeskukselle ilmoitus toiminnastaan VAHTI-ympäristötietokan-taan merkitsemistä varten. Mikäli ilmoitusta ei ole määräaikaan mennessä tullut tehdyksi, voi sen jättää myöhästyneenäkin.

Lupaharkinnassa arvioidaan toimintaan liittyvät ympäristöriskit ja saatetaan sallia toiminta vain tietyin ehdoin, jotka liittyvät toiminnan järjestämiseen ja/tai ympäristön tilan tarkkailuun.

Yhtenäislupa kattaa toiminnan arvioinnin seuraavissa kumotuissa säädöksissä käsitel-tyjen asioiden osalta:

- ilmansuojelulaki
- meluntorjuntalaki
- osa terveydensuojelulaista

- osa jätelaista
- osa naapuruussuhdelaista
- osa vesilaista (pilaantuminen)

Kiviaineksen hankinnan kannalta on olen-naista, että huolimatta ympäristöllisten seikkojen kokonaisarviointista lupaa myön-nettäessä, **maa-aineslaki** on aivan oma eril-linen järjestelmänsä eikä voimassa olevaan soranottolupaan voida kajota ympäristölu-vassa. Maa-aineksen ottoluvassa keskeisiä arvioitavia ympäristöseikkoja ovat pohjave-densuojelu sekä alueen jälkihoito maiseman kannalta.

Lupamenettelyyn liittyvää tietoa löytyy esim. osoitteesta

<http://www.ymparisto.fi/palvelut/yritys/luvat/lomake.html>

Euroopan Unionin vaikutus

Toisin kun Euroopan talousyhteisön perusta-misvaiheessa EU:lla on nykyään toimivaltaa ympäristöasioissa. Perustamissopimuksen 6 artiklan mukaan yhteisön politiikan ja toiminnan määrittelyssä tällä alueella on tarkoitus erityisesti edistää kestäväää kehi-tystä. Toisaalta pyritään harmonisoimaan kilpailuolosuhteita jäsenmaiden välillä. EU:n ympäristöasioiden norminannolle ovat tyypillisiä minimimääräykset, eli EU:n va-litsemaa suojelun tasoa ei saa jäsenmaissa alittaa, korkeampaa suojelun tasoa sen sijaan saa noudattaa. Tästä saattaa aiheutua kilpai-luongelmia ympäristöasioissa kunnianhi-moisten valtioiden tapauksessa. Myös oma lukunsa on eri jäsenmaiden lainsäädäntöön otettujen direktiivien noudattamisessa har-joitettava tunnollisuus.

Jätemääritelmä

EU:n omaksuma jätemääritelmä on laaja. Jätet-tä on neuvoston jätteistä antaman direktiivin



(75/442/ETY) mukaan mikä tahansa aine tai esine, jonka sen haltija hävittää, aikoo hävittää tai on velvollinen hävittämään. (Suomen jätelaissa ”on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä”.) EY:n tuomioistuimen 11.9.2003 AvestaPolarit Crome Oy:n asiassa antamassa tuomiossa koottiin yhteen jätemääritelmän kannalta vallitsevat argumentit, joiden mukaan jätteeseen viittaavia piirteitä ovat mm. se, että aine tai esine syntyy tarkoituksesta varsinaisen tuotteen tuottamisen yhteydessä ja se, että se ei sellaisenaan, ilman välitoimenpiteitä, ole jatkokäytettävissä. Lisäksi jatkokäyttö ei saa olla epävarmaa. Edelleen se, että aineella on markkinat ja positiivinen taloudellinen arvo, ei estä katsomasta sitä jätteeksi.

Vallitsevan jätemääritelmän mukaan betoni- tehtaan pesuliete ja epäonnistuneet elementit on katsottava jätteiksi. Sikäli kuin tehdas käsittelee ja käyttää niitä itse, asiaa arvioidaan toimipaikan muun lupaharkinnan yhteydessä. Jos taas joku muu ammattimaisesti käsittelee tai hyödyntää ylijäämäbetonia, lietettä tms., on tähän toimintaan oltava oma ympäristölupansa.

Lannoitekäyttö

Maija-Leena Oinosen diplomityön mukaan valmisbetoniteollisuuden lietettä voisi käyttää maanparannusaineena ilman (julkaisussa jäte) lupaa, koska se täyttää sekä lannoitelain että maa- ja metsätalousministeriön päätöksen mukaiset vaatimukset lannoitetuotteille.

Lannoitevalvonta Suomessa perustuu lannoitelakiin (232/93).

Valvonnan tarkoituksena on varmistua markkinoilla olevien lannoitevalmisteiden vaatimustenmukaisuudesta sekä turvallisuudesta siten, ettei lannoitevalmisteiden käytöllä lisätä suomalaisen viljelysmaan ja ympäristön raskasmetallikertymää eikä aiheuteta ihmisille tai kotieläimille terveydellistä haittaa.

Lannoitelaisissa (232/93) määritellään lannoitevalmisteiksi

- lannoitteet

- maanparannusaineet (pääasiassa kalkitusaineita, mm. tuhkaa ja eloperäisiä maanparannusaineita, kuten komposteja)
- lannoitetut kasvualustat
- kompostointivalmisteet
- lannoitevalmisteena käytettäväksi kelpaavat sivutuotteet
- typpibakteerivalmisteet.

Lannoitevalmisteiden valmistuksen, markkinoinnin sekä niiden valvonnan yleinen ohjaus kuuluu maa- ja metsätalousministeriölle. Kasvintuotannon tarkastuskeskus puolestaan valvoo lannoitteiden valmistusta, markkinointia ja maahantuontia sekä lannoitelain ja sen nojalla annettujen säännösten ja määräysten noudattamista. Elinkeinonharjoittajan on tehtävä toiminnan aloittamisesta tätä koskeva ilmoitus (14 §). Vain maa- ja metsätalousministeriön julkaisemaan lannoiteluetteloon sisältyviä aineita saa markkinoida lannoitteina. Muiden lannoitevalmisteiden kuten kalkitusaineiden, maanparannuskompostien, kasvuturpeiden ja multavalmisteiden (9 §) markkinointi edellyttää ilmoitusta kasvintuotannon tarkastuskeskukselle toiminnan aloittamisesta sekä lisäksi valmisteen tyyppinimen ja kauppanimen sekä tuoteselosteen vahvistusta.

Itse tuotteen osalta tulevat noudatettaviksi maa- ja metsätalousministeriön päätökset lannoitteista (45/1994) ja eräistä lannoitevalmisteista (46/1994). Näissä on määräykset mm. raskasmetallien raja-arvoille. Jotta aine kelpaisi kalkitusaineeksi, sen on täytettävä lannoitteita koskevat vaatimukset ja lisäksi omattava riittävä neutraloiva kyky. (Taudinaiheuttajat lienevät hallinnassa, koska elatuspohjana betoniliete on varsin emäksinen.)

Pelkän lannoitevalvonnan riittävydestä betonilietteen käytölle ei ole vielä lopullista tulkintaa. Tutkimuksen tarkoittamassa mitakaavassa kyseeseen tuleva lietteen maanviljelyskäyttö lienee useimmissa tapauksissa ammattimaista. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus on päätöksessään 20.1.2000 nro A 1092 ottanut jossain määrin liberaalin tulkinnan jätteen ammattimaiseen hyödyntämiseen, sillä se on myöntänyt Partek Nordkalk Oyj:n hakemuksesta luvan kalkkikiven rikastus-



prosessissa syntyvän rikastushiekan käyttöön maarakentamisessa ja maanparannuksessa *omalla toimialueellaan*, eikä siis edellyttänyt käyttäjäkohtaisia lupahakemuksia. Toki luvan saamiseksi Partek Nordkalk Oyj:n on ollut selvitettävä rikastushiekan ympäristökelpoisuus tarkoin, ja siihen liittyy lupamääräyksiä. Tuottajakohtainen lupa voisi olla eräs mahdollisuus, mikäli tuotteistaminen maanparannus-aineeksi ei riittäisi viranomaisille.

1.2 Lainsäädännön kehityssuunnat

Euroopan unionissa valmistellaan erittäin laajakantoista kemikaaliasetusta, joka tulisi ulottamaan vaikutuksensa paitsi kemikaalien valmistajiin ja maahantuojiin myös teollisiin loppukäyttäjiin. Missä määrin heijastusvaikutuksia tulisi betoniteollisuuteen, on toistaiseksi epävarmaa. Asian edistymistä voi seurata mm. kemianteollisuuden internet-sivuilta, ks. www.chemind.fi.

EU:n komissio on avannut keskustelun jätestrategiastaan. Esimerkiksi tulkinnat sivu- ja oheistuotteista ovat vielä avoinna. Positiivinen signaali uudesta ajattelusta on EY-tuomioistuimen julkisasiamiehen Poiares Maduron eräessä vireillä olevan tapauksen ratkaisuehdotuksessa ehdottama näkemys, jonka mukaan jätteen käyttäminen luettaisiin jätteen hyödyntämiseksi aina, kun sillä säästetään luonnonvaroja. (Tapauksessa komissio vaati pitämään rakennusjätteen käyttämistä yhdyskuntajätteen kaatopaikan täyttöön käytöstä poistamisena (discard) päinvastoin kuin Italia oli menetellyt.) Päätöstä asiassa ei tätä kirjoitettaessa ole vielä tehty.

Jätevesilietteiden maanviljelykäyttöä sääntelevän direktiivin uudistus on valmisteltavana. Komissio antanee ehdotuksensa osana laajempaa maaperänsuojelulainsäädäntöä vuoden 2005 ensimmäisellä vuosipuoliskolla. Lietteen raskasmetallipitoisuuksia koskevat raja-arvot asetettaneen samantasoisiksi kuin Suomessa vuonna 1994 annetulla valtioneuvoston päätöksellä on säädetty.

Direktiivihankkeella toteutettaisiin maaperän suojeluohjelmassa (KOM(2002) 179 lopullinen) asetettavia suojelutavoitteita. Komissio valmistelee ehdotuksia direktiiviksi maaperän laadun monitoroinnista ja maaperän suojelemisesta. Direktiiviehdotukset annettaneen vuoden 2005 ensimmäisellä vuosipuoliskolla.

Viime aikoina laajentunut tuottajavastuu koskee paitsi keräyspaperia, autonrenkaita sekä pakkauksia ja pakkausjätettä, myös romuajoneuvoja sekä myöhemmin sähkö- ja elektroniikkalaiteromua. On todennäköistä, että tuottajavastuu laajenee entisestään.

Kotimaisista hankkeista mainittakoon, että ympäristöministeriö on valmistelemassa osittaista lievennystä jätteen käyttöön maarakentamisessa. Luvan sijasta riittäisi tietyin - teollisuuden käsityksen mukaan tarpeettoman tiukoin – edellytyksin, että käytöstä ilmoitetaan lupaviranomaiselle. Jätteen käsittelyn ensisijaisena tavoitteena olevaa käyttöä materiaalina se ei ratkaisevasti edistäne.

Laadittavana olevan lannoitevalmistelain muutoksen mukaan vaatimukset kiristyvät. Uusina rajoituksen alaisina aineina mainitaan kromi ja vanadiini. Lisäksi raja-arvot tullaan ilmaisemaan *kuiva*-ainekiloa kohti.

Maa-aineslain muutosesitys (HE 110/2004) on parhaillaan eduskunnan käsiteltävänä. Käytännön kannalta merkittävin muutos liittyy ottamisluvan enimmäispituuden venyttämiseen nykyisestä kymmenen vuoden enimmäisajasta, jota on erityisistä syistä voitu nostaa viideksitoista vuodeksi, kalliokiven louhinnan osalta enimmillään kahdeksikymmeneksi vuodeksi. Esityksen perustelujen mukaan luonnon soravarojen vähentyessä kalliokiviaineksen osuus soraa korvaavana aineksena on koko ajan kasvanut. Pidempi lupa turvaa teollisen toiminnan pitkäjänteisyyttä sekä lisää ottamistoiminnan ja investointien kannattavuutta. Ottaminen myös keskittyy harvemmille, mutta pitkäaikaisemmille ottamisalueille, ja vähentää tätenkin ympäristölle aiheutuvia haitallisia kokonaisvaikutuksia.

2 KIERRÄTYSMATERIAALIEN OMINAISUUDET JA RAJA-ARVOT

Betoniteollisuuden kierrätysvesien ja ylijäämälietteiden ominaisuuksia kartoitettiin 12: sta eri betonitehtaasta keväällä 2003 otettujen vesi-, liete- ja slurry-näytteiden avulla. Tulokset ovat suuntaa antavia, mutta riittävät kuvaamaan tehtaiden tämänhetkistä tilannetta. Mitattuja arvoja on verrattu suositusluontoisiin raja-arvoihin ja lannoittelain asettamiin vaatimuksiin.

2.1 Analyysitulokset kierrätysvesistä

Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty analyysituloksia eri betonitehtaista otetuista vesinäytteistä. Kaikista vesinäytteistä tehtiin kemiallinen analyysi ICP-menetelmällä. Näytteistä määritettiin Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S, Si, Ag, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Sb, Sr, Th, Ti, V ja Zn. Näytteistä ei määritetty elohopea- eikä klooripitoisuutta, koska niitä ei näytteistä ole syytä olettaa

löytyvän merkittäviä määriä. Sulfaattipitoisuutta ei myöskään erikseen analysoitu, vaan se on laskettu näytteiden sisältämän rikin määrästä olettaen kaiken rikin olevan sulfaattina. Käytännössä osa rikistä voi olla sitoutuneessa muodossa, joten näytteen todellinen sulfaattipitoisuus on ehkä laskennallista pienempi.

Viemäriin johdettavan jäteveden sisältämien haitallisten aineiden sitovia yleisiä pitoisuus- ja määrärajoituksia ei Suomessa ole, joskin EU:n direktiivin yhteisön vesipolitiikan puitteista (2000/60/EY) prioriteettiaineiden listan kautta niitä voi olla tulossa [VVY 2002]. Taulukossa esitetyt suositusluontoiset raja-arvot on otettu ympäristöministeriön työryhmän vuonna 1992 valmistamasta mietinnöstä [VVY 2002]. Kuten taulukosta nähdään kaikkien tehtaiden mitatut pitoisuudet alittavat eri alkuaineiden ohjeelliset raja-arvot, mutta parilla tehtaalla laskennallinen sulfaattipitoisuus ylittää yhdessä kunnassa viemäriin johdettaville jätevesille an-

Taulukko 1. Betonitehtaiden vesinäytteiden analyysituloksia.

Näyte koodi	Al mg/l	Ca mg/l	Fe mg/l	K mg/l	Na mg/l	S mg/l	Ba mg/l	Sr mg/l	pH	johtokyky mS/cm
Valmisbetonitehtaat										
8.1	<0.1	811	<0.03	479	123	0.64	1.58	12.7	12.8	11.6
5.1	<0.1	557	<0.03	191	132	17.1	0.70	2.72	12.8	7.94
10.1	<0.1	881	<0.03	504	101	425	0.21	3.69	12.7	8.83
3.1	1.89	857	1.33	310	401	3.12	2.36	36.0	12.7	12.7
4.1	0.38	895	0.48	498	440	537	0.20	9.01	12.9	11.42
4.2	<0.1	315	<0.03	81.0	128	29.5	0.33	6.16	12.7	5.07
Ontelolaattatehtaat										
9.1	<0.1	169	<0.03	126	163	27.3	0.13	2.09	12.4	3.87
11.2	0.15	129	0.04	194	155	60.9	0.08	0.74	12.4	3.55
11.3	<0.1	193	<0.03	254	179	79.1	0.11	0.96	12.5	4.46
11.4	0.31	153	<0.03	37.1	38.8	15.3	0.04	0.40	12.30	2.41
1.2	<0.1	313	<0.03	186	145	27.5	0.31	4.40	12.80	6.30
Elementtien hionta										
12.1	<0.1	363	<0.03	33.8	57.1	40.6	0.17	2.66	12.6	4.19
6.1	<0.1	57.7	0.07	41.1	39.2	52.5	0.02	0.22	11.6	0.88
Pesubetonituotanto/Julkisivut										
1.1	0.96	66.2	0.18	92.6	629	35.0	0.04	1.17	12.1	4.14
11.1	0.21	136	<0.03	35.5	39.7	23.8	0.20	0.92	12.2	1.88

netun sulfaattiraja-arvon, mutta ei betoniin palauttamisen raja-arvoa. Vesien johtamista viemäriin rajoittavat ainoastaan korkea pH ja mahdollinen putkien sakkautuminen. Yleensä on viemäriin johdettavan jäteveden pH:lle annettu raja-arvo 6 - 11.

2.2. Analyysitulokset betonilietteistä

Seuraavassa on tarkasteltu ylijäämalietteiden koostumusta betonitehtaista otettujen liete- ja slurry-näytteiden avulla. Näytteistä tehtiin hiukkaskokoanalyysit, kemialliset analyysit ja otettiin mikroskooppikuvia.

Hiukkaskokoanalyysit suoritettiin VTT:llä alueelta 1,2 - 118,4 µm. Kuvassa 1 on esitetty lietteiden raekokojakaumat tehdastyypeittäin ryhmiteltynä. Esimerkit eri tehdastyypien ylijäämalietteiden mikroskooppikuvista on esitetty kuvassa 2.

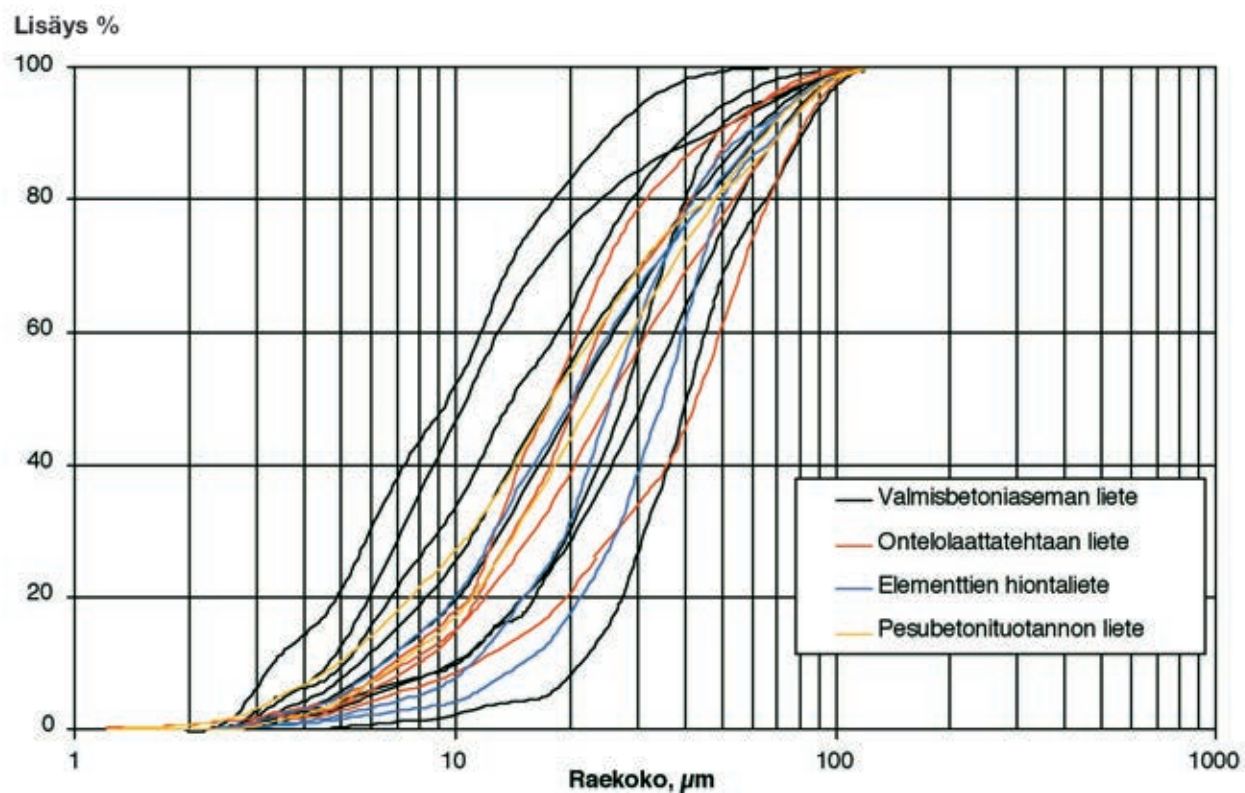
Eri näytteiden hiukkaskokojakaumissa oli selviä eroja, mutta pääosa hiukkasista oli alle 50 µm. Joissakin näytteissä oli yli määrittäsalueen meneviä hiukkasia, mutta niiden osuus lienee melko vähäinen. Tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon, että useat näytteet on otettu lajittuneesta (saostuneesta) lietteestä. Toisaalta osa näytteistä alkoi kovettua ennen analysointia. Muodostuneet paakut pyrittiin hajottamaan mahdollisimman hyvin ennen analysointia.

Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty betonitehtaiden lietteiden analyysituloksia. Lietenäytteet kuivattiin huoneen lämpötilassa ja niistä tehtiin kemiallinen analyysi ICP-menetelmällä. Näytteistä määritettiin As, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, P, Pb, S, Sb, Sr, Ti, V, Zn ja Be. Samat analyysit tehtiin myös kuivatuista slurry-vesinäytteistä. Myöskään kuivatuista näytteistä ei määritetty elohopea- eikä klooripitoisuutta.

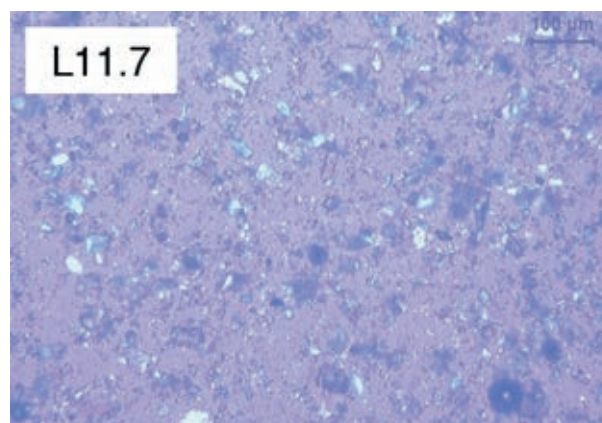
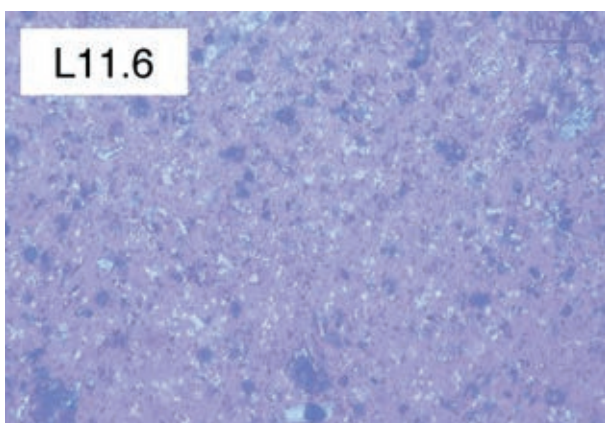
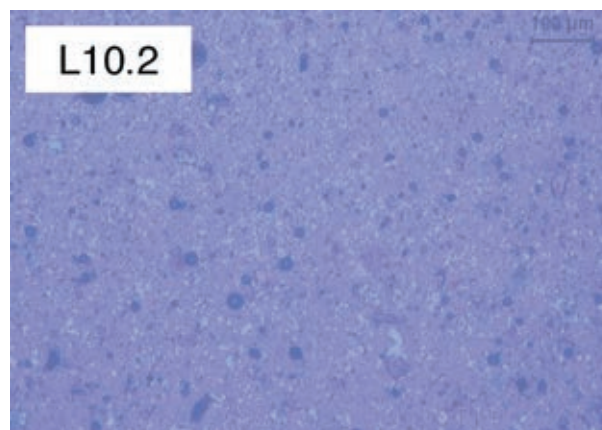
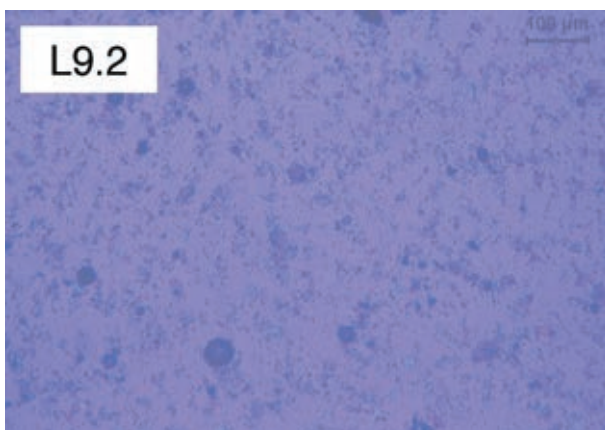
Taulukko 2. Betonitehtaiden vesinäytteiden analyysituloksia ja suositusluonteisia raja-arvoja

Näyte koodi	Mg	S	Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn	SO ₄
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l laskettu
Valmisbetonitehta													
8.1	<0.1	0.64	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	0.02	0.01	<0.002	<0.05	<0.004	<0.01	1.9
5.1	<0.1	17.1	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	<0.02	0.01	<0.002	<0.05	<0.004	<0.01	51.2
10.1	<0.1	425	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	<0.02	0.01	<0.002	<0.05	<0.004	<0.01	1273.4
3.1	1.04	3.12	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	0.02	0.01	<0.002	<0.05	<0.004	<0.01	9.3
4.1	0.32	537	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	0.10	0.01	<0.002	<0.05	<0.004	<0.01	1608.9
4.2	<0.1	29.5	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	0.05	<0.01	<0.002	<0.05	<0.004	<0.01	88.4
Ontelolaattatehta													
9.1	<0.1	27.3	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	0.05	0.01	<0.002	<0.05	<0.004	<0.01	81.8
11.2	<0.1	60.9	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	0.03	<0.01	<0.002	<0.05	<0.004	<0.01	182.5
11.3	<0.1	79.1	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	0.04	0.01	<0.002	<0.05	<0.004	<0.01	237.0
11.4	<0.1	15.3	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	<0.02	<0.01	<0.002	<0.05	<0.004	<0.01	45.8
1.2	<0.1	27.5	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	0.04	0.01	<0.002	<0.05	<0.004	<0.01	82.4
Elementtien hionta													
12.1	<0.1	40.6	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	0.02	0.01	<0.002	<0.05	<0.004	<0.01	121.6
6.1	0.32	52.5	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	<0.02	<0.01	<0.002	<0.05	0.01	<0.01	157.3
Pesubetonituotanto/Julkisivut													
1.1	<0.1	35.0	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	<0.02	0.05	<0.002	<0.05	0.02	<0.01	104.9
11.1	<0.1	23.8	<0.007	<0.05	<0.005	<0.02	<0.02	0.01	<0.002	<0.05	0.02	<0.01	71.3
Raja-arvoja*	300		0.1	0.1	0.01		0.5	0.5	0.5	0.5		2	400 2000

* Raja-arvot ovat suositusluonteisia ja ne voivat vaihdella paikkakunnittain. Sulfaatissa raja 400 mg/l koskee viemäriin johtamista ja 2000 mg/l betoniin palauttamista.



Kuva 1. Eri tehtailta otettujen ylijäämälietenäytteiden raekojakaumat.



Kuva 2. Mikroskooppikuvia betonitehtailta otetuista lietenäytteistä. Näyte L9.2 on ontelolaattatehtaan lietettä, L10.2 valmisbetonitehtaan lietettä, L11.6 pesubetonituotannon/julkisivujen valmistuksen lietettä ja L11.7 elementtien hiontalietettä.



Taulukko 3. Betonitehtaiden ylijäämälietteiden analyysituloksia.

Näyte koodi	Al g/kg	Ba mg/kg	Ca g/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Fe g/kg	K mg/kg	Mg g/kg	Mn mg/kg	Na mg/kg	P mg/kg	S mg/kg	V mg/kg
Valmisbetonitehtaat													
S7.1	16.6	202	252	8.57	26.9	17.3	4770	12.6	308	2470	673	8180	44.5
L7.2	12.9	147	209	6.81	23.5	15.1	2160	11.0	272	903	650	6330	39.6
S8.2	15.4	138	242	8.73	32.1	17.9	9240	14.1	495	1610	1220	9580	57.3
L8.3	11.2	99.1	178	6.93	18.6	15.5	3190	11.6	371	374	1300	1100	52.1
L5.2	16	154	266	7.98	28.5	15.3	2570	13.9	488	1970	307	5810	54.8
L10.2	13.4	180	244	6.99	26.8	14.1	1390	9.5	236	650	360	17400	33.2
L3.1	11.8	143	211	6.47	45.9	14.0	1980	8.2	252	1320	343	7290	33.3
L4.3	14.5	163	238	8.53	43.8	17.4	2850	8.3	264	2220	409	8220	34.0
Ontelolaattatehtaat													
L9.2	9.01	130	82.7	25.1	28.1	16.4	3250	5.2	182	1790	367	2440	24.4
S11.5	15.2	165	146	26.6	35.7	20.7	3950	9.2	263	1700	411	5120	45.0
L1.2	12.6	181	110	32.8	29.3	16.4	3720	6.7	216	1700	401	3460	32.0
L2.1	10.3	101	117	89.9	26.7	19.9	3650	4.9	191	2370	283	3440	22.2
Elementtien hionta													
L12.2	3.36	33.7	322	5.60	3.27	2.45	427	17.7	96.5	349	249	2240	65.4
L11.7	19.3	246	102	281	42.3	17.9	2920	22.9	225	3380	573	1960	84.7
L6.2	10.4	73.8	122	43.8	13.0	12.2	3160	7.5	174	1400	289	2270	23.0
Pesubetonituotanto/Julkisivut													
L1.3	12.8	152	115	23.2	32.0	18.1	2880	7.2	219	811	382	3680	32.1
L11.6	14.3	130	243	13.8	27.1	15.4	2030	12.1	233	1780	397	4160	76.6

Taulukko 4. Betonitehtaiden ylijäämälietteiden analyysituloksia, maanparannusaineelle ja lannoitetulle kasvualustalle annettuja raja-arvoja sekä kyseisille aineille puhtaan maaperän SAMASE -ohjearvot ja SAMASE -raja-arvot (ns. toimenpideraja-arvot).

Näyte koodi	As mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
Valmisbetonitehtaat									
S7.1	12.8	<0.5	8.57	26.9	21.8	13.0	<4	44.5	40.5
L7.2	10.8	<0.5	6.81	23.5	17.3	12.1	<4	39.6	33.2
S8.2	6.77	<0.5	8.73	32.1	26.8	19.4	<4	57.3	35.1
L8.3	<5	<0.5	6.93	18.6	16.7	15.4	<4	52.1	30.1
L5.2	10.4	<0.5	7.98	28.5	11.0	8.75	<4	54.8	39.0
L10.2	12.5	<0.5	6.99	26.8	16.7	9.12	<4	33.2	43.9
L3.1	8.08	<0.5	6.47	45.9	25.1	14.3	<4	33.3	28.1
L4.3	5.08	<0.5	8.53	43.8	25.7	16.3	<4	34.0	43.8
Ontelolaattatehtaat									
L9.2	<5	<0.5	25.1	28.1	47.6	11.6	<4	24.4	37.1
S11.5	13.3	<0.5	26.6	35.7	45.1	13.6	<4	45.0	50.5
L1.2	9.79	<0.5	32.8	29.3	50.7	12.7	<4	32.0	41.8
L2.1	<5	<0.5	89.9	26.7	20.7	10.5	<4	22.2	51.9
Elementtien hionta									
L12.2	5.62	<0.5	5.60	3.27	9.10	13.7	<4	65.4	7.85
L11.7	6.75	<0.5	281	42.3	63.1	31.9	<4	84.7	56.7
L6.2	<5	<0.5	43.8	13.0	66.6	5.30	<4	23.0	47.1
Pesubetonituotanto/Julkisivut									
L1.3	11.3	<0.5	23.2	32.0	63.0	13.0	<4	32.1	42.1
L11.6	10.7	<0.5	13.8	27.1	30.6	21.4	<4	76.6	35.7
Maanparannusaine/komposti									
Lannoitettu kasvualusta	50	3			600	100	150		1500
Puhtaan maan SAMASE-ohjearvot	10	0.5			100	60	60		150
SAMASE -raja-arvot	10	0.5	50	100	100	60	60	50	150
	50	10	200	400	400	200	300	500	700



Kaikki betonitehtaiden analysoidut näytteet alittavat lannoitelaisissa maanparannusaineelle annetut raja-arvot [MMp 46/1994]. Osa näytteistä ylittää arseenin osalta lannoitetulle kasvualustalle annetun raja-arvon. Elohopeaa näistä näytteistä ei analysoitu, mutta tämäntyyppisten näytteiden ei ole syytä olettaa ylittävän elohopeapitoisuudelle annettua raja-arvoa (maanparannusaineen raja-arvo on 2 mg/kg ja lannoitetulle kasvualustalle 0,2 mg/l) ellei tehtaalla ole jokin "vieras" päästölähde, josta voisi tulla elohopeaa.

Betonitehtaiden lietteet alittavat pääosin SAMASE-ohjearvot [Ympäristöministeriö 1994] puhtaalle maaperälle (taulukko 4). 40 % lietenäytteistä ylittää arseenin osalta puhtaan maaperän ohjearvon, mutta vain yksi näyte ylittää hieman uuden maaperän tavoitearvon 13 mg/kg [Assmuth 1997]. Lisäksi viiden tehtaan lietteen vanadiinipitoisuus ja yhden tehtaan kobolttipitoisuus ylittävät SAMASE-ohjearvot. Näille kummallekaan

aineelle ei ole esitetty uusia tavoitearvoehdotuksia. Ainoastaan yhden lietteen kobolttipitoisuus ylitti SAMASE-raja-arvon (ns. toimenpideraja-arvon).

Betonitehtaiden ylijäämälietteitä voitaisiin käyttää kalkitusaineena, mikäli niiden neutraloiva kyky ylittää 10 % [MMp 46/1994]. Viidestä erityyppisestä lietenäytteestä tehtiin Kasvintuotannon tarkastuskeskuksen maatalouskemian laboratoriossa neutraloiva kyky ja kosteusmääritys. Tulokset on esitetty taulukossa 5.

Viidestä tutkitusta näytteestä vain yksi ylitti kalkitusaineelle asetetun neutraloivan kyvyn arvon 10 %. Muiden tutkittujen näytteiden kuiva-ainepitoisuutta pitäisi nostaa, jotta ne kelpaisivat kalkitusaineeksi. Yhden näytteen neutraloiva kyky oli niin alhainen, että siitä ei saisi kuivauksellakaan kalkitusaineeksi soveltuvaa tuotetta.

Taulukko 5. Erityyppisten lietteiden neutraloiva kyky prosentteina ja kuiva-ainetta kohti sekä kosteuspitoisuus.

Näyte koodi		Neutraloiva kyky Ca %	Kosteus, %	Neutraloiva kyky Ca %/ka
Valmisbetonitehtaat				
L4.3	Myllynpesun lietenäyte	9.5	61	24.4
Ontelolaattatehtaat				
L9.2	Ontelolaattaliete	2.3	72	8.2
Elementtien hionta				
L12.2	Puristettu hiontaliete	17.5	37	27.8
Pesubetonituotanto/Julkisivut				
L1.3	Lähtevä lietenäyte	3.9	71	13.4
L11.6	Rouheaseman liete	7.1	72	25.4



3 KIERRÄTYSVEDEN KÄYTTÖ BETONISSA

3.1 Määrittely ja yleiset vaatimukset

Määrittely

Kierrätysvesi on Vesistandardin [SFS-EN 1008] mukaan betoniteollisuuden prosesseista talteen otettua vettä. Yleensä tällainen vesi soveltuu betonissa käytettäväksi, mutta sen tulee kuitenkin olla Vesistandardin vaatimusten mukaista.

Betoniteollisuuden prosesseista talteen otettu kierrätysvesi on

- vettä, joka sisältyy yli jääneeseen betoniin,
- vettä, jolla puhdistetaan sekoittimia tai sekoitinsäiliöautojen rumpuja ja
- kovettuneen betonin sahaukseen, hiomiseen ja vesisuihkupuhdistukseen käytettyä vettä.

Yhdistetty vesi on kierrätysveden ja alkuperältään jonkin muun veden kuten talousveden seos. Vesistandardin vaatimukset koskevat yhdistettyä vettä.

Kierrätysvesi voidaan ottaa joko (ks. kohta 6 *Kierrätysprosessit ja laitteistot*)

- altaista, jotka on varustettu laitteilla, jotka jakavat kiintoaineen tasaisesti veteen tai
- saostusaltaista tai vastaavista, jos vesi jätetään altaisiin niin pitkäksi ajaksi, että kiintoaineet ehtivät laskeutua kunnolla.

Kierrätysvesi sisältää vaihtelevia määriä hyvin hienoja partikkeleita, joiden koko on yleensä alle 0,25 mm. Näiden partikkeleiden määrä vaikuttaa oleellisesti veden tiheyteen. Saostusaltaissa veden tiheys on yleensä alle 1,01 kg/litra. Tällöin kiintoainetta ei tarvitse jakaa tasaisesti veteen eikä ottaa huomioon. Silloin, kun veden tiheys on yli 1,01 kg/litra,

tulee kiintoaine jakaa tasaisesti veteen käyttäen tarkoitukseen soveltuvaa laitteistoa. Tällöin veden sisältämä kiintoaineosuus ja vesiosuus otetaan erikseen huomioon betonin ominaisuuksien määrittelyssä. Veden tiheyttä ja sen sisältämää kiintoainetta määrää sekä tiheyden seuranta käsitellään lähemmin alla kohdassa 3.2.

Kierrätysvesi sisältää mahdollisen kiintoaineen lisäksi siihen liuenneita aineita, jotka vaikuttavat myös sen käyttöominaisuuksiin.

Betoninormit, laadunvalvonta

Betoninormien [Betoninormit 2004] mukaan kierrätysvettä voidaan käyttää, jos sen käytökelpoisuus on ennakkokokein varmistettu. Kierrätysveden tai yhdistetyn veden laatu tulee tutkia sitä ensimmäisen kerran käytettäessä ja lisäksi silloin, jos kelpoisuutta on aiheutta epäillä. Veden laatu tutkitaan Vesistandardin mukaisesti. Tarkoituksena on varmistaa, että vedessä ei ole haitallisia aineita.

Laadunvalvonnassa kierrätysveden mahdollinen vaikutus betonimassan vesimäärään, vesi-sementtisuhteeseen, notkeuteen, ilmamäärään, betonin kloridipitoisuuteen, puristuslujuuteen ja pakkasenkestävyyteen tulee ottaa huomioon. Pääperiaatteena tulee olla se, että kierrätysveden käyttö on siten hallittua, ettei se heikennä tuotettavan betonin käytettävyyttä tai laatua.

Vesistandardissa on esitetty veden tiheyden päivittäinen seurantamenettely ja se, milloin kiintoaine otetaan huomioon betonin ominaisuuksien määrittelyssä (ks. alla kohta 3.2). Muilta osin veden laadunvaihtelu voidaan ottaa huomioon seuraamalla valmistettavien betonien laatua pääsääntöisesti Betoninormien mukaisesti. Asiaa käsitellään lähemmin seuraavissa kohdissa 3.2 - 3.5.



Koska kierrätysveden ja muun veden kuten talousveden ominaisuudet poikkeavat toisistaan, tulee näiden vesien annostelumäärä voida mitata erikseen. Kierrätysvesi kuten muukin vesi voidaan annostella punnitsemalla tai tilavuuden perusteella.

Betonin valmistukseen käytettävien laitteiden valvonnalla tulee varmistaa, että ne ovat hyvässä kunnossa ja että ne täyttävät Betonistandardin vaatimukset. Tämän voidaan katsoa koskevan myös veden kierrätyksessä käytettävää laitteistoa. Laitteiden tarkastus- ja testaustiheys esitetään standardin SFS-EN 206-1 taulukossa 23. Tämän taulukon testaustiheyksiä voidaan soveltaa myös veden kierrätyslaitteistolle.

Betonissa käytettävistä materiaaleista ja näin ollen myös kierrätysvedestä tulee voida ottaa ja testata edustavat näytteet tarkoitukseen sopivilla ja kalibroiduilla välineillä. Vesistandardin mukaan silloin, jos kierrätysveden tiheyden valvontaan käytetään automaattilaitteita, tulee betonin valmistajan laatuksikirjassa kuvata käytettävä menetelmä ja laitteiden kalibrointi.

Kelpoisuuden toteaminen

Kierrätysvettä käytettäessä betonin kelpoisuus voidaan todeta pääsääntöisesti normaaliin tapaan. Kuitenkin vastaavasti kuin laadunvalvonnassa kierrätysveden mahdollinen vaikutus valvottaviin ominaisuuksiin tulee ottaa huomioon. Kierrätysveden vaikutusta laadunvalvontaan ja kelpoisuuden toteamiseen käsitellään lähemmin kohdassa 3.4 *Laadunvalvonta*.

3.2 Vesistandardin SFS- EN 1008 vaatimukset

Rajoitukset kierrätysveden käytölle

Vesistandardin mukaisesti kierrätysvettä voidaan käyttää sekä raudoittamattoman,

raudoitetun että myös jännitetyn betonin valmistukseen. Standardin liitteessä A on kuitenkin esitetty kierrätysveden tai yhdistetyn veden käyttöä koskevat rajoitukset (kohta A.3):

- Vedestä betoniin aiheutuva massan lisäys, joka syntyy kierrätysveden kiintoaineesta, saa olla suuruudeltaan korkeintaan 1 % betonin kokonaiskiviaineksesta. Kuitenkin, jos soveltuvuus osoitetaan, voidaan eräissä valmistusprosesseissa käyttää kierrätysvettä, jonka kiintoainemäärä on suurempi.
- Kierrätysveden mahdollinen vaikutus betonissa tulee ottaa huomioon, jos betonille on olemassa erityisvaatimuksia. Erityisvaatimuksia voi olla esimerkiksi vaadittavan ulkonäön vuoksi (väri), jännitetylle betonille sekä huokostetulle betonille tai aggressiivisten käyttöolosuhteiden vuoksi.

Vesistandardissa sallitaan kierrätysveden tietty vaikutus sekä sitoutumisaikoihin että puristuslujuuteen (lähemmin ks. alla). Kuitenkin kierrätysveden käyttöä tai ainakin sen suurta osuutta yhdistetyssä vedessä on tarkoituksenmukaista välttää myös silloin, jos kierrätysveden tiedetään vaikuttavan betonin sellaisiin ominaisuuksiin, joille on kyseisessä tapauksessa asetettu erityisiä vaatimuksia kuten

- pakkasenkestävyys tai suola-pakkasenkestävyys,
- suuri normilujuus, korkealujuusbetonit,
- suuri lujuusvaatimus kovettumisen alkuvaiheessa,
- vaatimukset alku- tai loppusitoutumisajalle,
- massan työstettävyys tai sen muuttuminen ajan kuluessa,
- väri,
- yleensä alle 0,100 mm:n hienoaineksen määrä massassa,

Vesistandardin mukaan kierrätysveden tulee jakaantua mahdollisimman tasaisesti koko päivän tuotantoon (kierrätysvettä sisältävät betonit).



Yleiset vaatimukset

Varastoitava kierrätysvesi tulee suojata riittävästi likaantumiselta. Tämä tarkoittaa sitä, että ulkona olevien altaiden tulee olla katettuja eikä niihin saa päästä esimerkiksi pintavettä tai pohjavettä. Erityisesti tulee huolehtia siitä, että suolaa (esim. tiesuola) sisältävä vesi ei pääse sekoittumaan kierrätysveden kanssa. Altaisiin ei myöskään saa päästä eloperäistä ainesta eikä esimerkiksi öljyjä.

Betonin valmistukseen käytettävän kierrätysveden tai yhdistetyn veden tulee täyttää sekä Vesistandardin betonivettä yleisesti koskevat vaatimukset että standardin liitteen A vaatimukset.

Ongelmallista voi olla tarkoin tietää, kuinka suurta kierrätysveden laadunvaihtelu saa olla ilman, että veden laatu tulee tutkia uudelleen ja kuinka suuri vaihtelu voidaan sallia veden kiintoainemäärälle ilman, että vaihtelu otetaan huomioon. Käytännössä veden selvä laadunvaihtelu voidaan havaita valmistettavan betonin laadunvalvonnassa. Tavallista suurempi vaihtelu betonin ominaisuuksissa voi olla merkki veden laadussa tapahtuneesta muutoksesta. Se voi myös tarkoittaa sitä, että yhdistetyssä vedessä kierrätysvesiosuuden suuruuden vaihtelu vaikuttaa liikaa betonin ominaisuuksiin ku-

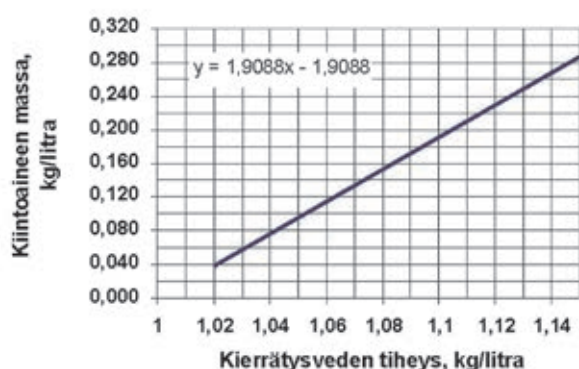
ten huokostukseen tai lujuuteen (lähemmin ks. kohta 3.4 ja liite 1).

Veden tiheys ja kiintoaineen määrä sekä tiheyden seuranta

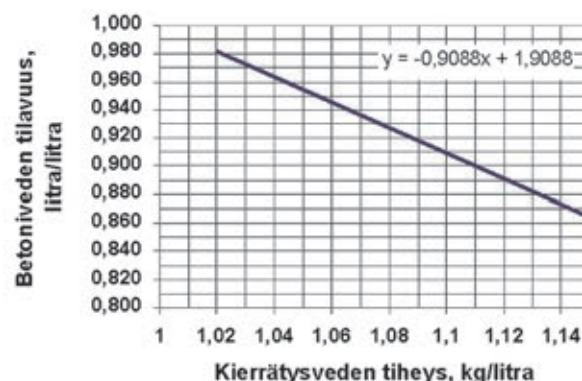
Kierrätysveden sisältämän vesimäärän ja samalla kierrätysveden sisältämän kiintoaineen määrän arviointi perustuu kierrätysveden tiheyteen. Kierrätysveden sisältämä kiintoaine ja vesi otetaan huomioon betonin ominaisuuksien määrittelyssä silloin, kun veden tiheys on yli 1,01 kg/litra.

Vesistandardissa on taulukko (A.1), jossa on annettu kierrätysveden tiheyden mukaisesti sen sisältämän kiintoaineen massa (kg/litra) ja veden tilavuus (litra/litra). Alla olevissa kuvissa 3 ja 4 on esitetty tämän taulukon arvoja vastaavat tiedot näistä yhteyksistä. Veden sisältämän kiintoaineen määrän arvioinnissa on käytetty kiintotiheyden arvoa 2,1 kg/litra. Jos mittaamalla saadaan tästä poikkeavia arvoja, taulukko tulee laskea uudelleen. Viitteen [Kuosa 2004 B] tutkimuksessa todettiin, kiintoaineen tiheys ei poikennut oleellisesti arvosta 2,1 kg/litra.

Kierrätysveden tai yhdistetyn veden tiheys määritetään homogenisoiduista näytteistä, jotka on otettu vesialtaista. Jos tätä vettä käytetään betonin valmistukseen, sen tiheys



Kuva 3. Kierrätysveden tiheyden ja sen sisältämän kiintoaineen massan välinen yhteys, kun kiintoaineen kiintotiheys on 2,1 kg/litra [SFS-EN 1008]. Kiintoaineen massa on y [kg/litra] ja kierrätysveden tiheys on x [kg/litra].



Kuva 4. Kierrätysveden tiheyden ja sen sisältämän betoniveden tilavuuden välinen yhteys, kun kiintoaineen kiintotiheys on 2,1 kg/litra [SFS-EN 1008]. Betoniveden tilavuus on y [litra/litra] ja kierrätysveden tiheys on x [kg/litra].

määritetään vähintään kerran päivässä sel-laiseen aikaan, jolloin sen tiheys on todennä-köisesti suurimmillaan.

Veden soveltuvuuden arviointi

Betonissa käytettävän muun kuin talousve-den eli myös kierrätysveden ja yhdistetyn veden Vesistandardin mukainen soveltu-vuuden arviointimenettely on seuraava:

- Veden tulee täyttää kaikki erityisen alustavan arvioinnin vaatimukset. Muussa tapauksessa vettä voidaan käyttää vain, jos voidaan osoittaa, että se soveltuu betonissa käytettäväksi.
- Veden soveltuvuus betonissa käytettä-väksi osoitetaan määrittämällä tutkit-

tavaa vettä käyttäen betonin tai laastin alku- ja loppusitoutumisaika sekä lu-juus 7 d suhteessa vertailuun. Tulosten tulee olla Vesistandardin vaatimusten mukaisia.

- Lisäksi veden tulee täyttää joko kemial-liset vaatimukset, jotka koskevat haital-lisia epäpuhtauksia (sokerit, fosfaatit, nitraatit, lyijy ja sinkki) tai vaatimukset sitoutumisajoille ja puristuslujuudelle.
- Edelleen veden tulee aina täyttää kemi-alliset vaatimukset kloridipitoisuuden, sulfaattipitoisuuden sekä käytettävän kiviaineksen mukaan mahdollisesti alkalipitoisuuden osalta.

Näytteenotto ja testaus

Veden soveltuvuuden arvioimiseksi siitä otetaan näyte. Vesinäytteen koon tulee olla vähintään viisi (5) litraa. Näyte yksilöidään asianmukaisesti. Sen tulee edustaa käytet-tävää vettä siten, että kausivaihtelujen mah-dolliset vaikutukset otetaan huomioon.

Näytettä säilytetään puhtaassa suljetussa as-tiassa. Ennen kuin astia täytetään vedellä, se huuhdellaan samalla vedellä. Vesi tulee tes-tata kahden viikon kuluessa näytteenotosta.

Käytännössä veden soveltuvuus betonin valmistukseen voidaan tehdä yksinkertai-



Kuva 5. Kierrätysvesinäyte tulee ottaa tarkoitukseen sopivilla välineillä siten, että saadaan edustava näyte.



Kuva 6. Kierrätysveden tiheyden määrittäminen areometrilla tai punnitsemalla. Ennen tiheyden määrittämistä on oleellista homogenisoida näyte kaatamalla se ensin useaan kertaan astiasta toiseen ja vasta tämän jälkeen mitta-astiin.



simmin toimittamalla vesinäyte laboratorioon, jolla on valmius sen Vesistandardin mukaiseen testaukseen ja arviointiin. Vesistandardin yksityiskohtaisia vaatimuksia, niiden merkitystä sekä kierrätysvesien tutkimuksissa saatuja tuloksia käsitellään lähemmin liitteessä 1.

3.3 Kierrätysveden vaikutus betonin ominaisuuksiin

Vesi-sementtisuhte

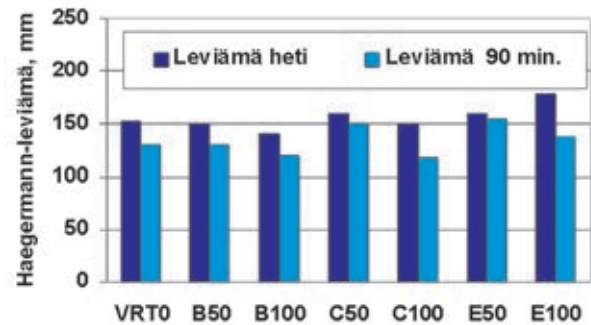
Vesi-sementtisuhteen laskennassa kierrätysveden vesimäärä ja kiintoainemäärä tulee olla tiedossa (ks. edellä).

Kierrätysveden kiintoaineeseen imeytyneen vesimäärän vaikutus teholliseen vesimäärään ja vesi-sementtisuhteeseen on marginaalinen. Vaikutus näkyy käytännössä kysymykseen tulevissa tapauksissa vasta vesi-sementtisuhteen tuhannesosissa.

Massan työstettävyys

Kierrätysvesimassan kuten betonimassan koostumuksen yleensäkin tulee olla sellainen, että se muokkautuvuudeltaan ja koossapysyvyydeltään soveltuu käytettävään valmistus-, käsittely- ja betonointitapaan [Betoninormit 2004]. Viitteen [Kuosa 2004 B] tutkimuksessa kierrätysveden käyttö yleensä hieman pienensi tehdaskoesarjan betonien notkeutta (7/11 tapauksessa). Kierrätysveden osuuden kasvattaminen 50 %:sta 100 %:iin pienensi laboratoriokoesarjan laastimassojen notkeutta silloin, kun kierrätysvedessä oli kiintoainetta (2 vettä), mutta kasvatti sitä silloin (1 vesi), kun kiintoainetta ei ollut (ks. kuva 7).

Viitteessä [Chini et al. 2001] käsiteltyjen vuosina 1973 - 1997 tehtyjen kierrätysvesitutkimusten mukaan veden mukana tuleva liian suuri kiintoainemäärä pienentää selvästi massan notkeutta. Esimerkiksi tutkimuk-



Kuva 7. Kierrätysveden vaikutus mitattuun massan notkeuteen. Kuvassa on esitetty vertailu- ja kuusi kierrätysvettä sisältävää standardilaastimassaa, joissa kierrätysveden osuus oli 50 % tai 100 %. Kierrätysveden B tiheys oli 1,028 kg/litra ja veden C 1,044 kg/litra. Vedessä E ei ollut kiintoainepartikkeleita ja sen tiheys oli 1,00 kg/litra. Massoissa B ja C kiviaineksesta vähennettiin kierrätysveden kiintoainemäärää vastaava määrä < 0,125 mm:n ainesta. Kaikkien massojen kokonaisvesi-sementtisuhteet säädettiin tarkoin arvoon 0,50. [Kuosa 2004 B]

sessä (Harr & Tax 1997), jossa betoniveden tiheys oli 1,15 kg/litra, jäykisti se selvästi betonimassaa suhteessa vertailuun. Myös massan viimeistely todettiin tällöin tavanomaista vaikeammaksi erityisesti lämpimissä olosuhteissa. Sen sijaan sekä tämän että useiden muiden ulkomaisten tutkimusten mukaan käytettävän kierrätysveden tiheyden ollessa alle 1,05 kg/litra, vaikuttaa se korkeintaan hieman massan notkeuteen ja muihin työstettävyysominaisuuksiin. Vesistandardi rajoittaaakin kierrätysvedestä tulevan kiintoainemäärän normaalisti 1 %:iin kiviaineksen kokonaismäärästä.

Jos laadunvalvonnassa kierrätysvesimassan notkeuden havaitaan poikkeavan oletetusta, voi syynä olla kierrätysveden selvästi muuttunut osuus betonin kokonaisvesimäärästä, selvä muutos veden kiintoainemäärässä tai mahdollisesti pinta-aktiivisten aineiden määrässä.

Kaikkiaan kierrätysvesimassan notkeuden säätö sekä laadunvalvonta voidaan tehdä normaalisti. Kuitenkin tulee ottaa huomioon, että kierrätysvesi voi osaltaan vaikuttaa not-



keuteen ja sen muuttumiseen ajan kuluessa. Erityisesti notkeuden hallintaan tulee kiinnittää huomiota, jos kierrätysveden osuus betonivedestä on suuri tai kierrätysveden tiheys suuri. Jos massan työstettävyydelle valukohteessa on asetettu erityisiä vaatimuksia, tulee kierrätysveden mahdollinen vaikutus näihin ottaa huomioon.

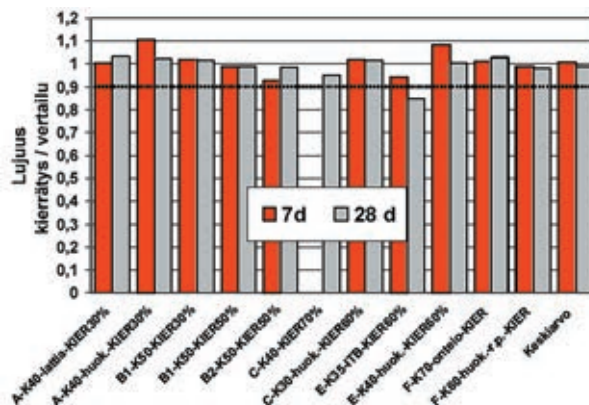
Lujuus ja lujuuden kehittyminen

Kierrätysveden käytön edellytyksenä on mm. vaatimus sille, miten paljon se saa vaikuttaa puristuslujuuteen (ks. kohta 3.2 ja liite 1).

Useiden ulkomaisten tutkimusten mukaan kierrätysveden käyttö ei vaikuta liiallisesti betonien lujuuteen ja sen käyttöä pidetään yleisesti suositeltavana. Kierrätysveden suuren alkalisuuden ja kiintoainepartikkeleiden vaikutuksen on katsottu lisäävän lujuutta kovettumisen alkuvaiheessa. Lujuutta on lisännyt kuitenkin myös se, että kierrätysvesimassoissa vesi-sideainesuhde on ollut pienempi kuin vertailumassoissa, koska kierrätysveden todellista kiintoainetta ja vesimäärä ei ole otettu aina huomioon. [Nan et al. 2002, Chini et al. 2001, Sandrolini & Franzoni 2000]

Viitteen [Kuosa 2004 B] tutkimuksessa tehtiin 13 kierrätysvesimassaa ja 11 vertailumassaa. Massat olivat joko huokostamattomia tai huokostettuja K35 - K60 massoja. Kierrätysvesibetoneissa kierrätysveden osuus betonivedestä oli 26 – 92 % ja kierrätysvesien tiheydet olivat 1,038 - 1,049 kg/litra silloin, kun vedessä oli kiintoainetta ja 1,00 kg/litra yhden veden osalta, jossa ei ollut kiintoainetta (2 betonia). Kierrätysveden kiintoaineen määrä betonin kiviaineksesta oli 0 – 0,84 %.

Tulosten mukaan kierrätysvesimassojen (yhdistetty vesi) lujuus oli 7 d iässä keskimäärin 101 % ja 28 d iässä 99 % vertailumassojen lujuudesta (ks. kuva 8). Noin 1 d iässä kierrätysvettä sisältävien betonien lujuus oli kuitenkin keskimäärin pienempi kuin vertailubetonien lujuus. Kaikkiaan lujuuserot



Kuva 8. Kierrätysveden käytön vaikutus tehdasbetonien 7d ja 28 d puristuslujuuteen. Kuvassa on esitetty kierrätysvesimassojen lujuuden suhde vertailumassojen lujuuteen 7 d ja 28 d iässä [Kuosa 2004 B].

olivat suhteellisen pieniä ja tapauskohtaisia. Liitteessä 1 on esitetty laboratoriotutkimusten tuloksia kierrätysvesien ja niiden määrän vaikutuksesta lujuuteen sekä myös sitoutumisaikoihin.

Vesistandardi ei aseta vaatimusta sille, miten paljon kierrätysvesi saa vaikuttaa taivutusvetolujuuteen. Viitteen [Kuosa 2004 B] tutkimuksessa kierrätysvedellä ei todettu olevan merkittävää vaikutusta taivutusvetolujuuteen.

Huokostus

Yleensä ulkomaisissa tutkimuksissa on todettu, että kierrätysveden käyttö huokostetuissa massoissa vaatii vielä tarkempia lisäselvityksiä tai se ei ole suositeltavaa. Saksalaisen ohjeen mukaan kierrätysvettä ei saa käyttää huokostetuissa massoissa. Toisaalta sen käytön kieltämistä on myös pidetty liian rajoittavana. [Neville 2000, Chini et al. 2001, DAfStb-Richtlinie 1995].

Kierrätysveden käytön on todettu voivan kasvattaa betonin ilmamäärää. Tämä tulos perustuu kuitenkin huokostamattomien massojen tutkimuksiin.

Huokostettujen kierrätysvesimassojen osalta on havaittu, että huokostimen annosteluun joudutaan kiinnittämään huomiota. Veden



kovuuden eli Ca-ionien suuren määrän on arveltu voivan vaikuttaa huokostimen tehokkuuteen. Huokostimen annostelu on mm. suositeltu tehtäväksi talousveden annostelun yhteydessä, jolloin suoraa kontaktia kierrätysveteen ei synny. Kierrätysveden sisältämät pinta-aktiiviset aineet vaikuttavat todennäköisesti myös syntyvään huokostukseen. Suojahuokosilman on todettu voivan olla kierrätysvesimassoissa tavallista epästabiilimpaa. Kierrätysveden sisältämän hienoaineksen ominaispinta-ala on erittäin suuri, jolloin se voi adsoroida huokostinta. Viitteen [Kuosa 2004 B] tutkimuksessa kierrätysvesien kiintoaineen ominaispinta-ala (BET) oli 29 – 49 m²/g ja keskimäärin 39 m²/g. Esimerkiksi soran sisältämän hienoaineksen ominaispinta-ala on suuri, jos se on yli 7 m²/g.

Taulukossa 6 on esitetty tutkimuksen [Kuosa 2004 B] kierrätysvesimassojen ja vastaavien vertailumassojen ilmamäärät sekä kovettuneiden betonien ilmahuokosanalyysien tulokset. Kuvassa 9 on esitetty kierrätysvesi-

betonien huokostustiedot vertailumassoihin suhteutettuna.

Kaikkiaan erot kierrätysvesimassojen ja vastaavien vertailumassojen huokostuksissa olivat suhteellisen pieniä ja tapauskohtaisia. Yleinen suuntaus oli kuitenkin se, että kierrätysvesimassoissa huokostus oli hieman epästabiilimpaa kuin vertailumassoissa. Kierrätysvesibetoneissa huokosjako oli suurempi (5/6) tai korkeintaan sama (1/6) kuin vertailubetoneissa. Tuloksiin perustuen kierrätysvettä sisältävien betonien onnistunut huokostus on täysin mahdollista, mutta kierrätysveden käyttö on perusteltua ottaa huomioon ennakkokokeissa (ks. kohta 3.4.2).

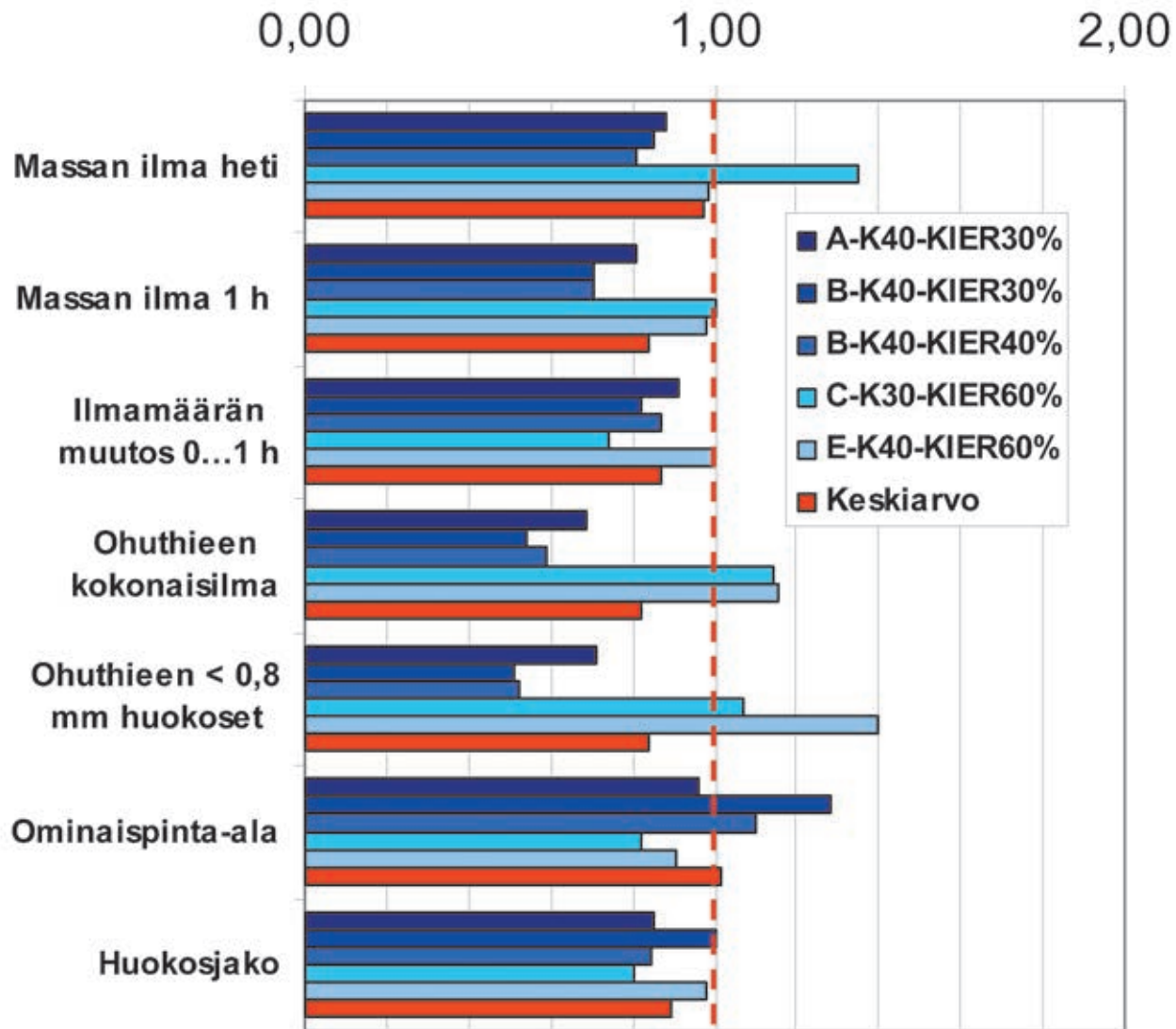
Kutistuminen

Viitteessä [Chini et al. 2001] esitetyn tutkimustiedon mukaan (Meininger 1973) kierrätysvesi vaikutti betonin kutistumaan vain, jos se sisälsi kiintoainepartikkeleita. Kutistuma oli tällöin 10 % vertailumassan kutistumaa suurempi.

Taulukko 6. Kierrätysvesibetonien ja vastaavien vertailubetonien huokostustiedot. Massojen A, B, C ja F vedessä oli kiintoainetta (veden tiheys 1,038 - 1,049 kg/litra). Massan E vedessä ei ollut kiintoainetta (veden tiheys 1,00 kg/litra).

VERTAILUBETONIT ja KIERRÄTYSVESIBETONIT	Massan ilmamäärä (heti), %	Massan ilmamäärä 1 h kuluttua, %	Ohuthieen kokonais- ilmamäärä, %	Ohuthieen <0,8 mm huokokset, %	Ominais- pinta-ala, mm ² /mm ³	Huokos- jako, mm
A-K40-VERTALU (lattiamassa)	3,4	3,6	3,2	2,4	22	0,38
A-K40-KIER30% (lattiamassa)	3,0	2,9	2,2	1,7	21	0,44
B-K40-VERTAILU	6,8	-	6,3	6,3	38	0,13
B-K40-KIER30%	5,8	-	3,4	3,2	49	0,13
B-K40-KIER40%	5,5	-	3,7	3,3	42	0,16
C-K30-VERTAILU	4	4	5	4,4	20	0,26
C-K30-KIER60%	5,4	4	5,7	4,7	16	0,33
E-K40-VERTAILU	6	5,2	4,6	3	34	0,18
E-K40-KIER60%	5,9	5,1	5,3	4,2	31	0,18
F-K60-r.p.-VERTAILU ¹⁾	-	-	0,9	0,3	38	0,47
F-K60-r.p.-KIER90% ¹⁾	-	-	2,4	1,2	13	0,77

1) Ilmahuokosanalyysin soveltuvuus arviointiin huono (pieni ilmamäärä ja suuri huokosjako).



Kuva 9. Kierrätysvesimassojen ilmahuokostuksen määrä ja laatu suhteessa vertailumassoihin. Kuvan lukuarvo on pienempi kuin 1 silloin, kun kierrätysvesibetonin huokostusta kuvaava tekijä on huonompi kuin vertailubetonissa. Esimerkiksi ilmamäärä on pienempi, sen pysyvyys huonompi tai kovettuneessa betonissa huokosjako suurempi. Taulukon 6 massa F puuttuu kuvasta.

Viitteen [Kuosa 2004 B] tutkimuksessa määritettiin kahden kierrätysvettä sisältävän betonin ja vastaavien vertailubetonien kuivumiskutistuma. Tulokset on esitetty kuvassa 10.

Tiiviys

Viitteen [Sandrolini & Franzoni 2001] tutkimuksessa kierrätysveden mikrorakennetta mahdollisesti tiivistäneiden kiintoainepartikkeleiden oletettiin lisänneen hieman betonin tiiviyyttä ja tähän liittyen säilyvyyttä. Tässä tutkimuksessa kierrätysvesimassojen vesi-sementtisuhde oli kuitenkin myös hie-

man pienempi kuin vertailumassojen vesi-sementtisuhde.

Edellisen (ks. kuva 10) kutistumistutkimuksen massojen kapillaariset vedenimuominaisuudet ja huokoisuusparametrit määritettiin kokeellisesti 35 d iässä. Kierrätysveden ei voitu todeta vaikuttavan oleellisesti betonin vedenimuominaisuuksiin tai tiiviyyteen.

3.4 Laadunvalvonta

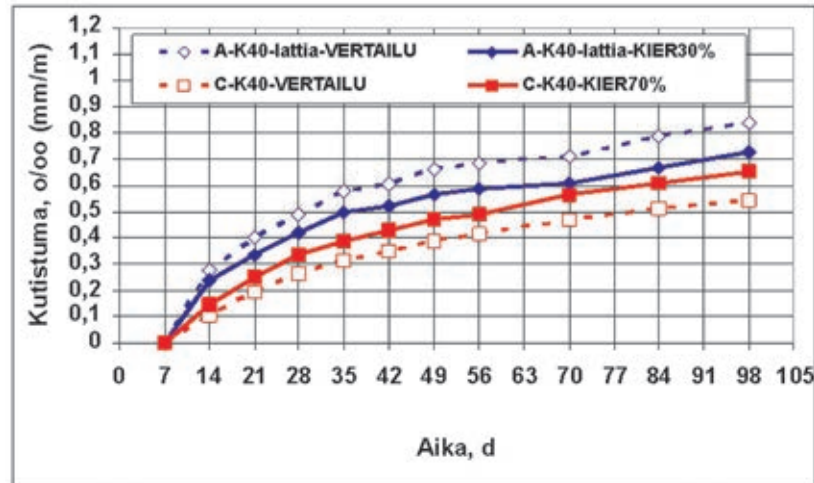
3.4.1 Puristuslujuus

Standardin SFS-EN 1008 mukaista kierrätys-



Kuva 10. Kahden kierrätysvesibetonin ja vastaavien vertailubetonien kutistuminen.

- Kierrätysvesimassassa "A-K40-lattia-KIER30%" kierrätysveden tiheys oli 1,040 kg/litra ja määrä noin 40 % betonivedestä.
- Kierrätysvesimassassa "C-K40-KIER70%" kierrätysveden tiheys oli 1,057 kg/litra ja määrä noin 70 % betonivedestä.



Koestus tehtiin käyttäen palkkeja 500 x 100 x 100 mm³ (3 rinnakkaispalkkia), joita säilytettiin 2 d iässä tapahtuneen muuteista purkamisen jälkeen ensin 7 d ajan vedessä ja tämän jälkeen suhteellisessa kosteudessa 40 % ja lämpötilassa 20°C.

vettä sisältävien betonien lujuuden laadunvalvonta voidaan tehdä normaaliin tapaan Betoninormien mukaisesti.

Kierrätysveden käytön edellytyksenä on, että sen soveltuvuus on todettu Vesistandardin SFS-EN 1008 mukaisesti (ks. kohta 3.2). Vesistandardin mukainen kierrätysvesi tai yhdistetty vesi saa alentaa betonin 7 d puristuslujuuden korkeintaan 90 %:iin vastaavan vertailubetonin/laastimassan lujuudesta. Tämän vaatimuksen täyttäminen ei ole ongelmallista (ks. kohta 3.3 ja liite 1). [Kuosa 2004 A & B]

Betoninormien mukaan betoniperheen käytöllä on tarkoitus tehostaa betonin valmistuksen laadunvalvontaa. Tällöin mahdollisimman harvojen tekijöiden tulee vaikuttaa yhdessä perheessä tapahtuviin laatumuutoksiin, jolloin perheen tulosten hajonta minimoituu ja muutosten syyt ovat tunnistettavissa.

Kierrätysvettä sisältävät betonit on mahdollista sijoittaa samaan perheeseen kuin betonit, joissa kierrätysvettä ei käytetä. Tällöin kuitenkin kierrätysveden käyttö voi kasvattaa perheen keskihajontaa ja näin vaikuttaa vaatimuksenmukaisuuden arvostelussa. Kierrätysveden käyttö voi myös vaikuttaa yksittäisen betonin perheeseen kuulumiseen. [Betoninormit 2004]

Se, miten suuri merkitys kierrätysveden käytöllä on betonin lujuuden laadunvalvonnassa, voidaan todeta kussakin tuotannossa käytännössä saatavan kokemuksen kautta. Ainakin kierrätysveden käytön alkuvaiheessa on tarkoituksenmukaista sijoittaa erityisesti suuren kierrätysvesiosuuden betonit omiin perheisiinsä. Tällöin kierrätysvedestä mahdollisesti aiheutuva vaikutus lujuuteen voidaan havaita eikä mahdollinen ylimääräinen lujuushajonta vaikuta muiden betoniperheiden lujuuden keskihajontaa suurentavasti. Kierrätysveden osuus betonivedestä (yhdistetty vesi) voi vaikuttaa hieman lujuuteen, mikä on mahdollista ottaa huomioon laadunvalvonnassa (ks. kohta 3.3 ja liite 1).

Mikäli kierrätysveden käytön todetaan alentavan lujuutta tai lisäävän sen hajontaa merkittävästi, tulee syy tähän selvittää. Tällöin voi tulla tarpeelliseksi testata vesi uudelleen Vesistandardin mukaisesti kuten Betoninormeissakin on sanottu (ks. kohdat 3.1 - 3.2).

3.4.2 Pakkaskestävyys

Kierrätysvettä on tarkoituksenmukaista käyttää ensisijaisesti huokostamattomissa massoissa.

Suomessa tehdyssä vertailututkimuksessa



[Kuosa 2004 B] kierrätysvesimassojen onnistunut huokostaminen todettiin mahdolliseksi. Kierrätysvesi vaikutti kuitenkin aina jollain tavoin huokostukseen yleisimmin sitä hieman huonontaan (ks. kohdan 3.3 kuva 9).

Kierrätysvettä käytettäessä betonin huokostaminen voi poiketa sellaisen betonin huokostamisesta, jossa ei käytetä kierrätysvettä. Tiettyyn ilmamäärään vaadittava huokostinannostus tai massan ilmamäärää vastaava kovettuneen betonin huokosjako eivät välttämättä ole täysin samoja.

Vesistandardissa sanotaan, että kierrätysvedestä mahdollisesti johtuva vaikutus mm. huokostukseen tulee ottaa huomioon. Sitä, miten tämä tulisi tehdä, ei kuitenkaan tarkemmin esitetä. Suomessa yleisenä tavoitteena voidaan pitää sitä, että kierrätysvettä käytettäessä betonin pakkasenkestävyys täyttää sille asetetut vaatimukset yhtä luotettavasti kuin silloin, jos kierrätysvettä ei käytetä.

Betoninormien [2004] liitteen 5 periaatteiden mukainen laadunvalvonta ja vaatimuksenmukaisuuden toteaminen tarkoittaa kierrätysvettä käytettäessä sitä, että kierrätysveden vaikutus betonin pakkasenkestävyyteen tulee tuntea ja hallita. Tällöin

- kierrätysveden vaikutus tulee todeta ennakkokokein,
- jatkuvassa laadunvalvonnassa tulee seurata, että kierrätysveden käyttö ei aiheuta haitallisia muutoksia betonimassaan ja
- tasokokeilla varmistetaan pakkasenkestävyysominaisuuksien pysyminen ennakkokokeissa todetulla tasolla ja havaitaan mahdolliset hitaat vaihtelut materiaaleissa ja tällöin myös kierrätysveden pakkasenkestävyyteen tai huokostukseen vaikuttavissa ominaisuuksissa.

Betoninormien mukaan betonilaatu kuuluu samaan pakkasenkestävyyden arvosteluerään, kuin arvosteluerän määrittävä betonilaatu, jos väripigmentin annostus-

prosentti (p.-% sementistä) poikkeaa $\pm 1,5$ %-yksikköä. Jos annostusprosentti on alle 1 p.-%, betonilaatu kuuluu vastaavaan värjäämättömien betonilaatujen arvosteluerään. Koska kierrätysveden kiintoaineen ominaispinta-ala (BET) on tyypillisesti erittäin suuri, voidaan kierrätysveden vaikutusta huokostukseen kiintoaineen osalta arvioida lähinnä kuten pigmenttien vaikutusta. Lisäksi huokostukseen vaikuttavat osaltaan kierrätysveden sisältämät pinta-aktiiviset aineet sekä veden kovuus. (ks. kohta 3.3)

Seuraavassa esitetään ehdotus siitä, miten kierrätysvettä sisältävien betonien pakkasenkestävyyden laadunvalvonta tulisi tehdä. Ehdotus perustuu oletukseen, että kierrätysveden kiintoaineen vaikutus huokostukseen on vähäisempi kuin pigmenttien vaikutus. Tämä oletus taas perustuu saatuihin kokeellisiin tuloksiin kuten myös toinen ehdotuksessa vaikuttava tekijä eli sallittava koko kierrätysveden määrän (vesi ja sen sisältämä kiintoaine) vaihtelu saman arvosteluerän betoneissa.

Laadunvalvontamenettely

Kierrätysvettä sisältävä betoni voi kuulua samaan arvosteluerään kuin betoni, jossa ei ole kierrätysvettä, jos kierrätysveden painosuus betonivedestä on alle 20 %. Tällöin lisäksi kierrätysvedestä betoniin tulevan kiintoaineen määrä ei saa olla suurempi kuin 2 % sementin panosta tai kierrätysveden tiheyden tulee olla alle 1,06 kg/litra. Muussa tapauksessa kierrätysvettä sisältävät betonit sijoitetaan omiin arvostelueriin.

Samassa kierrätysvesibetonien arvosteluerässä kierrätysveden painosuus betonivedestä saa olla ± 20 %. Lisäksi kierrätysvedestä betoniin tuleva kiintoainemäärä saa vaihdella ± 2 % sementin painosta tai käytetyn kierrätysveden tiheys saa vaihdella $\pm 0,01$ kg/litra.

Huomautus 1:

Kierrätysveden sallittu tiheysvaihtelu $\pm 0,01$ kg/litra tarkoittaa kiintoainemäärän vaihtelua $\pm 0,02$ kg/litra kerrottuna kierrätysveden



määrällä betonissa, mikä antaa harvoin suuremman vaihtelun kuin sementin määrään suhteutettu vaihtelualue $\pm 2\%$ sementin painosta. Esimerkiksi kierrätysveden määrällä 120 kg/bet.-m^3 saadaan vaihtelualue $\pm 2,4 \text{ kg/m}^3$ ($= \pm 0,02 \text{ kg/litra} \times 120 \text{ kg/m}^3$). Sen sijaan sementtimäärällä 300 kg/bet.-m^3 saa kierrätysveden kiintoainemäärä betonissa vaihdella $\pm 6,0 \text{ kg/m}^3$ ($0,02 \times 300 \text{ kg/bet.-m}^3$).

Huomautus 2:

Silloin, kun kierrätysveden tiheys on riittävän pieni, rajoittaa sallittava kierrätysveden määrän vaihtelu ($\pm 20\%$ betonivedestä) kiintoaineen määrän vaihtelun pienemmäksi kuin $\pm 2\%$ sementin painosta. Esimerkiksi kierrätysveden tiheyden ollessa $1,05 \text{ kg/litra}$ (kiintoainemäärä $0,095 \text{ kg/litra}$), vaihtelee kiintoainemäärä betoniveden määrällä $170 \text{ kg/m}^3 \pm 3,23 \text{ kg/m}^3$, kun kierrätysveden osuus betonivedestä vaihtelee $\pm 20\%$. Betonin sementtimäärällä 330 kg/m^3 sallittava kiintoaineen määrän vaihtelu olisi kuitenkin suurempi ja $\pm 6,6 \text{ kg/m}^3$ ($\pm 2\%$ sementin painosta). Näin tulee kuitenkin olla, koska kierrätysveden kiintoainemäärä ei ole ainoa tekijä, joka voi vaikuttaa huokostukseen.

Edellisen lisäksi arvosteluerät muodostetaan kuten on esitetty Betoninormien [2004] liitteen 5 kohdassa 2.

Jos kierrätysveden muun ominaisuuden kuin sen tiheyden tiedetään oleellisesti muuttuvan siitä, mitä se on arvosteluerän betoneissa, tulee tämän ominaisuuden muuttumisen vaikutus pakkasenkestävyy-

teen tai huokostukseen selvittää. Tällaisia ominaisuuksien muutoksia voivat olla kierrätysveden kiintoaineen hienouden muuttuminen tai kierrätysveden kovuuden tai sen sisältämien pinta-aktiivisten aineiden määrän muuttuminen. Ne voivat johtua esimerkiksi muutoksista käytetyssä kierrätysjärjestelmissä tai tuotannossa. Jos vaikutuksen tiedetään olevan tilapäinen, tarkoituksenmukaisinta on valmistaa muutoksen aikana vain huokostamattomia betoneja. Tarvittaessa vaikutus huokosjakoon voidaan todeta joko optisella menetelmällä tai massan huokosjakoa mittaavalla menetelmällä (AVA-laitteistolla).

Kierrätysvettä sisältävien betonien pakkasenkestävyyden ennakkoarvioinnit, jatkuva laadunvalvonta, tasokokeet sekä vaatimustenmukaisuuden toteaminen ja toimenpiteet alitustapauksissa ovat Betoninormien [2004] liitteen 5 mukaisia.

3.5 Yhteenveto

Taulukossa 7 on esitetty, mihin asioihin tulee kiinnittää huomiota, jos kierrätysvettä aletaan käyttää betonien valmistuksessa. Betonissa käytön kannalta oleellista on, min-käläinen kierrätysvesi soveltuu tuotettavissa betoneissa käytettäväksi ja kuinka suuri sen määrä voi olla. Yleistä estettä kierrätysveden käytölle ei ole, mutta käyttöä rajoittavia tekijöitä voi olla. Kierrätysveden käyttö voi olla paitsi tuotanto- myös betonikohtaista.



Taulukko 7. Kierrätysveden käyttö betonissa. Oleelliset toimenpiteet sekä niiden syy ja merkitys.

Toimenpide	Toimenpiteen syy ja merkitys
Kierrätysjärjestelmän toimivuuden toteaminen. Kierrätysveden tulee olla riittävän tasalaatuista betonin valmistukseen. ¹⁾ Jos kierrätysvedessä on kiintoainetta (tiheys > 1,01 kg/litra), sen tasainen jakaantuminen veteen tulee varmistaa.	Laatu voidaan tutkia kattavasti vasta, kun se pysyy riittävän vakaana. ¹⁾ Betoninormien [Betoninormit 2004] mukaan veden laatu tulee tutkia, jos kelpoista laatua on syytä epäillä. Kierrätysveden laadun tasaisuuden varmistaminen on oleellista, jotta laadun kelpoisuus ei muutu liian usein.
Veden käyttökelpoisuuden ennakkokokeet Vesistandardin [SFS-EN 1008] mukaisesti.	Betoninormien mukaisen käytön ehto. Varmistaa sen, että kierrätysvedessä ei ole liikaa haitallisia tai vieraita aineita ja veden vaikutus lujuuteen ja sitoutumisaikoihin ei ole liian suuri.
Kierrätysveden tiheyden päivittäinen seuranta.	Vesistandardin mukaan kierrätysveden tiheys eli veden kiintoainemäärä tulee tuntea ja ottaa huomioon betonin ominaisuuksien määrittelyssä (ks. kohta 3.2). Kiintoaineen määrä vaikuttaa mm. pakkasenkestävyyden laadunvalvonnassa (ks. kohta 3.4.2)
Kierrätysveden ominaisuuksia liiallisesti muuttavien ja normaalista poikkeavien häiriötekijöiden havainnointi ja huomioon otto. Tarvittaessa kierrätysveden käytön keskeytys häiriön ajaksi. Vieraita aineita kuten öljyä, rasvoja, klorideja tai sulfaatteja ei saa joutua kierrätysveteen.	Betoninormien mukaan veden laatu tulee tutkia, jos kelpoista laatua on syytä epäillä. Kierrätysveden kiintoaineen hienoudessa tai sen sisältämien pinta-aktiivisten aineiden määrässä tapahtuvat muutokset voivat vaikuttaa huokostukseen kuten myös vieraat aineet. Vieraat ja haitalliset aineet vaikuttavat betonin ominaisuuksiin kuten lujuuteen ja säilyvyyteen.
Kierrätysveden käytön suunnittelu ottaen huomioon käyttöä rajoittavat tekijät (ks. kohta 3.2).	Kierrätysvettä on helpointa käyttää perusbetoneissa, joille ei ole erityisen suuria vaatimuksia tai erityisvaatimuksia esim. säilyvyyden osalta.
Sen varmistaminen, että kierrätysvedestä betoneihin tuleva kiintoainemäärä ei muodostu liian suureksi eli on alle < 1 % kiviaineksesta.	Vesistandardin käyttöä rajoittava ehto. Liiallinen hienoainesmäärä vaikuttaa betonimassan ja betonin ominaisuuksia huonontavasti.
Sen huomioon otto, miten kierrätysveden käyttö vaikuttaa puristuslujuuden ja pakkasenkestävyyden laadunvalvontaan. (ks. kohta 3.4)	Kierrätysvesi voi vaikuttaa hieman lujuuteen ja pakkasenkestävyyteen/huokostukseen. Kierrätysveden vaikutus tulee hallita siten, että voidaan tuottaa vaatimusten mukaista betonia.
Kierrätysvesibetonien päivittäinen ja muu normaali laadunvalvonta.	Varmistaa sen, että kierrätysvesibetoni täyttää kaikki sekä betonimassalle että kovettuneelle betonille asetetut vaatimukset. Havaitaan kierrätysveden mahdollinen haitallinen vaikutus massan tai kovettuneen betonin ominaisuuksiin.
Kierrätysvesilaitteiston laadunvalvonta ja huolto kunnossapitojärjestelmän mukaisesti siten, että veden laatu pysyy tasaisena ja Vesistandardin vaatimusten mukaisena.	Betoninormien mukaista.

1) Kierrätysveden laadun tasaisuutta voidaan seurata kierrätyksen kehitys- tai alkuvaiheessa mm. seuraamalla sen tiheyttä, tekemällä Vesistandardin alustavan arvioinnin kokeita ja tutkimalla vaikutusta puristuslujuuteen (ks. liite 1).



4 PESTYN KIERRÄTYSKIVIAINEKSEN KÄYTTÖ

Pestyjä eli tuorekierrätettyjä kiviaineksia ovat kiviainekset, jotka on otettu talteen kierrätysprosesseissa (ks. kohta 6) [SFS-EN 1008]. Tällöin ne on otettu talteen pesuvedestä tai betonimassasta.

Pesty kiviaines soveltuu tekniseltä kannalta maarakennuskäyttöön yhtä hyvin kuin vastaava luonnon kiviaines. Sen mahdollisesti sisältämien haitallisten aineiden jäämät ovat myöskin niin marginaalisia, että ympäristökelpoisuuden kannalta sen käytölle ei ole mitään estettä. Edes kohdassa 2 esitettyjen betonilietteiden osalta, joihin haitalliset aineet periaatteessa voisivat kertyä, maarakennuskäytölle ei todettu olevan estettä.

Pestyä kiviainesta voidaan käyttää sellaiseenaan myös valmistettavassa betonissa.

Pestyn kierrätyskiviaineksen raekoko on yleensä suurempi kuin 0,25 mm. Jos sitä käytetään betonissa, se on huuhdeltava niin hyvin, että rakeiden välisiä sidoksia ei esiinny ja sen tasainen sekoittaminen muun kiviaineksen kanssa on mahdollista. Riittävän huuhtelun

saavuttamista tulee seurata silmämääräisesti. [DAfStb-Richtlinie 1995]

Tuorekierrätettyä kiviaineksia käytetään betonissa standardin [SFS-EN 206-1] kohdan 5.2.3.3 *Tuorekierrätetty kiviaines* mukaisesti.

Lajitteisiin jakamatonta tuorekierrätettyä kiviainesta ei saa käyttää enempää kuin 5 % betonin kiviaineksen kokonaismäärästä. Esimerkiksi kiviainesmäärän 1800 kg/m³ betoni voi sisältää 90 kg/m³ lajitteisiin jakamatonta tuorekierrätettyä kiviainesta.

Jos tuorekierrätettyä kiviaineksia käytetään enemmän kuin 5 % kiviaineksen kokonaismäärästä, niin standardin [SFS-EN 206-1] mukaisesti

- niiden tulee olla samaa laatua kuin alkuperäinen betonissa käytettävä kiviaines,
- ne tulee jakaa karkeisiin ja hienoihin lajitteisiin ja
- niiden tulee täyttää standardin [SFS-EN 12620] vaatimukset.



A



B



C

Kuva 11. Kierrätysprosessissa talteen otettua pestyä lajitteisiin jakamatonta (A) ja lajitteisiin noin > 8 mm (B) ja noin 0,25 – 8 mm (C) jaettua kiviainesta.

5 YLIJÄÄMÄBETONILIETTEEN PROSESSOINTI JA KÄYTTÖ

5.1 Johdanto

Materiaalien kierrätyksessä ja hyöty- tai uusiokäytössä ovat käytössä käsitteet

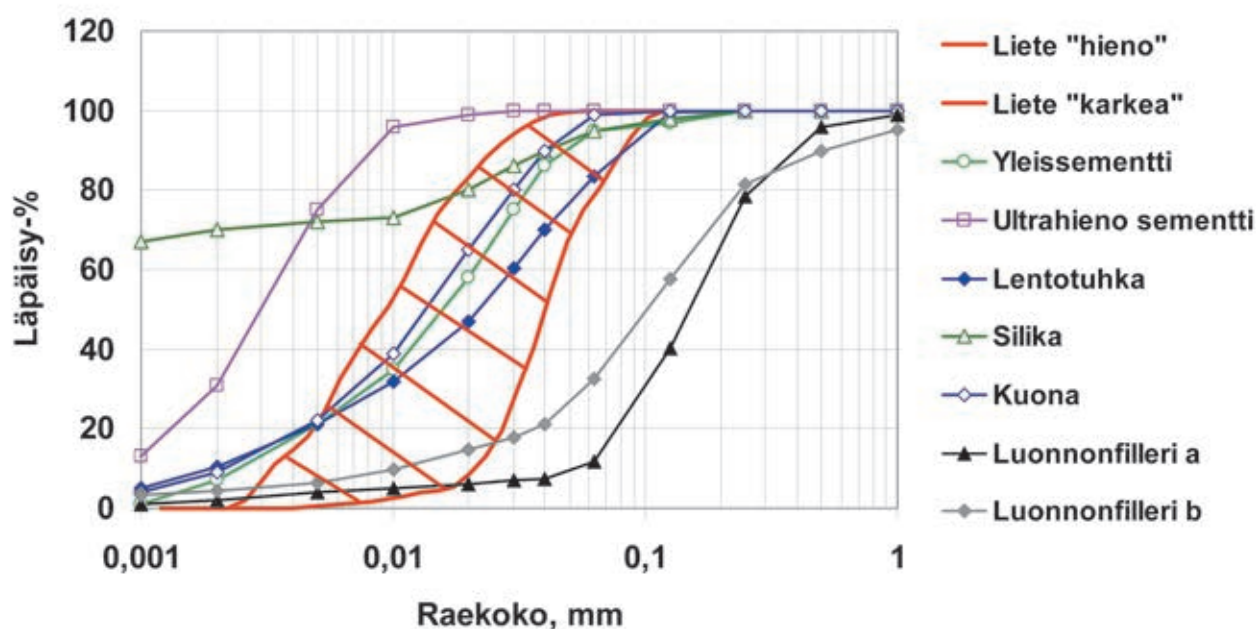
- sivutuote,
- uusioraaka-aine,
- uusiomateriaali ja
- uusiotuote.

Betonilietettä voidaan pitää tuotannossa syntyvänä sivutuotteena, joka voidaan ottaa käyttöön uusioraaka-aineena. Sitä voidaan tarjota käytettäväksi sellaisenaan uusiomateriaalina tai siitä voidaan tietyn prosessoinnin avulla valmistaa teknisesti ja markkinapotentialin kannalta käyttökelpoisempaa uusiomateriaalia. Tällöin se on sen valmistajan kannalta jo uusiotuotetta. Esimerkiksi maarakentamisen kannalta liete on sekä sellaisenaan että prosessoituna uusiomateriaalia ja vasta siitä valmistettu maarakenne on uusiotuote. [TEKES 2000, Tammirinne et al. 1995]

Betonilietteen tai siitä prosessoitujen tuotteiden käytön tulee olla teknisesti luotettavaa ja taloudellisesti kilpailukykyistä. Tämän vaatimuksen täyttäminen vaatii sekä materiaalitekniistä kehitystyötä että käytännön ongelmien ratkaisua.

Betonilietteen perusominaisuudet

Betonilietteiden ympäristökelpoisuus ei ole ongelma kunhan ne käsitellään ja sijoitetaan oikein. Asiaa on käsitelty lähemmin edellä kohdassa 2. Lietteet sisältävät samoja aineita kuin betoni eli lähinnä luonnonkiviainesta ja sementtiä, mahdollisesti lentotuhkaa ja muita betonissa käytettäviä sivutuotteita. Kaikki betonitehtaiden analysoidut lietenäytteet alittivat maanparannusaineille asetetut raja-arvot. Jotkut pitoisuudet olivat tosin tehtaalla käytetystä raaka-aineesta, lähinnä kiviaineksesta, johtuen kohonneita. [Suomen Betonitieto 2003]



Kuva 12. Hienojen betonilietteiden rakeisuusalue (Liete "karkea" - Liete "hieno", vrt. kuva 1 kohdassa 2) sekä esimerkkejä muista rakeisuudeltaan pääosin alle 0,1 mm:n tai alle 1 mm:n materiaaleista.



Kuvassa 12 on esitetty hienojen betonilietteid^{en} rakeisuusalue. Alueelle sijoittuivat sekä valmisbetoni- että elementtituotannon erilaiset hienot lietteet. Kuvassa on esitetty vertailutietona myös joitakin tyypillisiä muiden materiaalien kuten sementtien, lentotuhkan ja fillerikiviaineksen rakeisuuksia. Hieno liete vastaa rakeisuudeltaan lähinnä rakennussementtiä, lentotuhkaa tai kuonajauhetta, mutta siinä ei kuitenkaan yleensä ole yhtä paljon kaikkein hienointa alle 0,005 mm:n ainesta.

Rakeisuus ei ole betonilietteen ainoa ominaisuus, jolla voi olla merkitystä sen hyötykäytön kannalta. Liete on erittäin emäksistä eli sen pH on suuri, yleensä 12–13. Sen ominaispinta-ala on myös erittäin suuri, koska se sisältää hydratoitunutta sementtiä. Se voi sisältää myös hydratoitumattomia sementtirakeita tai reagoimatonta lentotuhkaa, jolloin sillä voi olla myös hieman sitovia ominaisuuksia. Liete sisältää lisäksi jäänteitä betonin valmistuksessa käytetyistä lisäaineista, joilla voi olla merkitystä, jos lietettä käytetään osa-aineena vaativissa materiaaleissa.

Betonilietteen uusiokäyttö

Ympäristölliseltä kannalta kaikkein paras ratkaisu olisi, jos liete voitaisiin hyödyntää sitä tuottavalla tehtaalla tai mahdollisimman lähellä sitä. Tällöin vältettäisiin myös lietteen kuljetuskustannukset sekä prosessoidun uusiotuotteen jakelukustannukset. Ajoittaisia tältä kannalta hyviä käyttökohteita voisivat olla riittävän suuret ja pitkäaikaiset paikalliset maa- ja viherrakennuskohteet sekä erilaiset täytöt.

Kaikkiaan liete on monelta osin hyvää hienojakoista materiaalia, jolle on periaatteessa mahdollista löytää useita käyttötapoja erityisesti lietteen prosessoinnin kautta. Taloudellisen hyötykäytön esteenä voivat olla käytännön ongelmat kuten kuljetus, välivarastointi ja joskus myös suhteellisen pienet ja kausiluonteiset lietemäärät. Vaativimmissa käyttötavoissa erityisesti tehtaiden välinen lietteen kosteuden- ja laadunvaihtelu voi olla ongelma.

Liete soveltuu periaatteessa maa- ja viher- rakennuskäyttöön. Jos lietettä ei stabiloida tai käytetä lujuutta omaavissa massoissa, kysymykseen tulevat maarakennuskäytössä kuitenkin vain kohteet ja täytöt, joissa tekniset vaatimukset eivät ole suuria edes lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien osalta (ks. kohta 5.6). Sekä maa- että viher- rakennuskäytössä tulee kiinnittää huomiota prosessoimattoman lietteen liettymisen ja kulkeutumisen estämiseen. Sateisina ajankohtina lietteen kuljetus ja levitys voi olla hankalaa.

Lietteitä voitaisiin hyödyntää pH:n nostossa esimerkiksi kalkitusaineena pelloilla erityisesti käytännön kannalta sopivaan muotoon prosessoituna. Liete voisi soveltua myös esimerkiksi valmiin kompostin seosaineeksi. Kaikkia lietteen hyötykäyttötapoja ei todennäköisesti ole vielä löydetty.

Betoniliete on käytetyn kierrätysjärjestelmän mukaisesti tyypillisesti joko juoksevaa tai kokkareista eikä se aina sovellu erityisen hyvin sellaisenaan käytettäväksi. Erityisesti määrän lietteen herkkä liettyvyys on käytännössä ongelma. Seuraavissa kohdissa 5.2–5.6 käsitellään lietteiden käyttöominaisuuksien parantamista (rakeistus ja alhaisen lujuuden massat) sekä vastaavia jatkokäyttömahdollisuuksia.

Tässä esitettävät tulokset ovat alustavien kokeilujen tuloksia, joita jatkossa hyödyntämällä voi olla mahdollista kehittää sekä taloudellisesti että teknisesti käyttökelpoista uusiomateriaalia. Tehtävä ei kuitenkaan ole helppo, koska kuljetus- ja prosessointikustannusten tulee pysyä riittävän pieninä, jotta toiminta olisi kannattavaa.

5.2 Vedenpoisto tai -absorbointi

Kierrätysjärjestelmään kuuluvassa vedenpoistolaitteistossa (suotopuristin, ks. kohta 6) vesimäärä voidaan laskea alle 40 p.-%:iin, mikä helpottaa lietteen kuljetettavuutta



ja parantaa sen käytettävyyttä jo selvästi. Suhteellisen kuivan lietteen murskaus hiekkamaiseksi tai märemmän lietteen erityinen rakeistus (ks. kohta 5.3) parantaisi jo oleellisesti sen käytettävyyttä useimmissa käyttökohteissa.

Aina vedenpoisto eikä edes kaiken hienon lietteen erottaminen kiviaineksesta tule kysymykseen. Tällöin lietteen sisältämän suuren vesimäärän aiheuttamat ongelmat voi olla mahdollista poistaa käyttämällä aineita, jotka voivat absorboida itseensä erittäin paljon vettä. Nämä nk. superabsorboijat ovat suurimolekyyllisiä polymeeripohjaisia aineita kuten polyakrylaatteja. Ne voivat imeä nopeasti lietteestä esimerkiksi 200-kertaisesti oman määränsä vettä lisäämättä kuitenkaan oleellisesti lietetilavuutta (< 1–3 til.-%), mikä on oleellista kuljetus- ja mahdollisten sijoituskustannusten kannalta. Absorboituvaan vesimäärään vaikuttaa lieteveden koostumus. Tällaisia tuotteita on kaupallisesti saatavilla ja niitä käytetään mm. erilaisten luonnon- sekä teollisten jäte- ja ylijäämalietteiden stabilointiin ja haitallisten valumien hallintaan sekä maataloudessa kasvualustan vedensidontaominaisuuksien parantamiseen. Näistä aineista ja niiden käytöstä löytyy tietoja internetistä:

- <http://www.zappa-tec.com/industrial/>
- <http://www.m2polymer.com/index.html>
- <http://www.globalspill.com.au/desap/>
- http://www.cetco.com/groups/ww/Products/QS_paper.asp
- http://www.functionalpolymers.basf.com/jsr/FunctionalPolymers/en_GB/portal/SAP_Industry/content/SAP_Industry/waste

Vain pinnalleen vettä adsorboivien suuren ominaispinta-alan materiaalien kuten sementin, lentotuhkan, piimaan, vermikuliitin tai saven käyttö lisää lietetilavuutta eikä ole tältä kannalta tarkoituksenmukaista. On kuitenkin olemassa myös aineita ja menetelmiä, joissa superabsorboivaa ja lietteen lujuutta lisäävää materiaalia käytetään yhtäaikaaisesti. Japanissa on käytössä kaupallinen lietteiden käsittelymenetelmää ("Odessa system"), joka perustuu voimakkaasti absorboivan aineen sekä lietettä lujittavan sideaineen yhteiskäyttöön. Menetelmässä juoksevassa

muodossa oleva suuren kosteuspitoisuuden (vettä < 250 %, raekoko < 0,075 mm) liete siirretään saostusaltaasta kauhakuormaajalla lietteen prosessointiyksikköön, joka voi olla joko suuritehoinen ja kiinteä tai pieni siirreltävää yksikkö. Lietemassan käsittelymäärä on yksikön mukaan 100–15 000 kg/h. Prosessoinnissa saadaan maarakennuskäyttöön soveltuvaa helposti käsiteltävää ja lujittuvaa materiaalia. Raekooltaan < 0,075 mm:n liete muuttuu materiaaliksi, jonka raekoko on 0,1–10 mm. Internetissä on lisätietoja ja mm. esittelyvideo tästä erityisestä lietteen prosessointitavasta sekä prosessoidun tuotteen jatkokäytöstä:

- http://www.odessa-t.com/eng_tech_outline.html

5.3 Betonilietteiden rakeistus

5.3.1 Rakeistuskokeet

Rakeistuskokeita suoritettiin kolmen eri betonitehtaan ylijäämalietteillä. Betonielementti- ja tuotetehtaan hiontalietteiden ajateltiin soveltuvan lannoitekäyttöön ja valmisbetonitehtaan lietteen maarakennuskäyttöön. Valmisbetonitehtaan liete sisältää kovettumatonta sementtiä ja vähemmän kalkkia kuin muut kokeissa käytetyt lietteet.

Betonielementtitehtaan hiontalietteellä suoritetuissa rakeistuskokeissa havaittiin, että sen saattamisessa hyödynnettävään muotoon on kaksi vaihtoehtoa:

1. Kuivaus ja murskaus kuivana (kuva 13).
2. Murskaus kosteana (kosteus noin 70 %) ja kuorutus tuhalla "betonimyllyssä", jolloin saadaan toisiinsa tarttumattomia siistejä rakeita pellolle levitettäväksi (kuva 15).

Tällä lietteellä oli ongelmana epähomogeenisuus kosteuden suhteen (saattaa johtua osittain myös kuljetuksesta ja säilytyksestä).



Toinen ongelma oli märkien lieterakeiden tarttuminen toisiinsa (kuva 14). Tarttuminen voitiin estää kuorruttamalla rakeet/kokkareet tuhkalla (kuva 15). Jo melko pieni tuhkamäärä riittää rakeiden kuorruttamiseen, joten tuhkan raskasmetallit eivät tule esteeksi kuorrutettujen rakeiden käyttämisessä peltojen kalkitusaineena. Kuorrutetut rakeet ovat helppoja käsitellä eivätkä pölyä. Esimurskauksella voidaan vaikuttaa rakeiden kokoon. Tarvittaessa lieterakeet voidaan seuloa tasalaatuisen tuotteen saamiseksi.

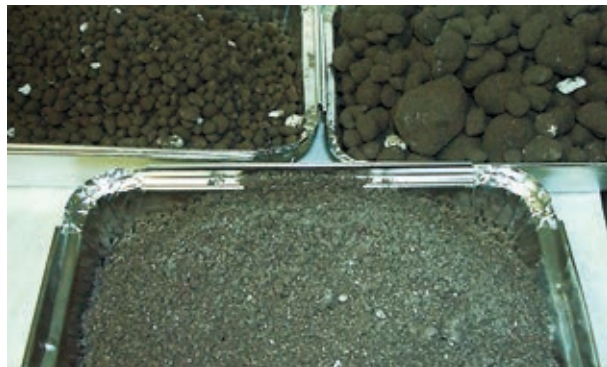


Kuva 13. Betonielementtitehtaan hiontaliete, joka on murskattu kuivauksen jälkeen (ei seulottu). Rakeiden kokoluokka on 0-20 mm.



Kuva 14. Betonimyllyllä rakeistettu betoniliete. Ongelmana oli rakeiden tarttuminen toisiinsa ja taikinoituminen. Suurimpien rakeiden kokoluokka noin 40 mm.

Rakeistuskokeita tehtiin myös kosteammalla erällä betonielementtitehtaan hiontalietettä. Tämän näytteen kuiva-ainepitoisuus oli 54 %. Liete oli niin märkää ja pehmeää, että rakeistus onnistui vain kuorrutuksella. Kuorrutukseen käytettiin puutuhkaa tai kivihiilituhkaa annostuksen ollessa 4-8 % rakeiden kokonaispainosta. Valmistettuja rakeita on esitetty kuvassa 16. Parhaimmat rakeet saatiin suurem-



Kuva 15. Betonielementtitehtaan hiontaliettees-tä betonimyllyllä granuloituja ja tuhkalla kuorrutettuja lieterakeita seulun jälkeen. Oikealla ylhäällä on 8 mm:n seulalle jäänyt jae, ylhäällä vasemmalla 4 mm:n seulalle jäänyt jae ja kuvan alareunassa 4 mm seulan läpäissyt jae.

milla tuhkamäärillä. Puutuhkalla kuorrutetut rakeet olivat kovempia kuin kivihiilituhkalla kuorrutetut. Tuhkarakeita säilytettiin huone-tiloissa, ulkona ja ulkovarastossa. Rakeiden liukenevuutta sekä rakeiden kovuutta seurattiin. Tuhkalla kuorrutetut rakeet kestävät vedessä pitkään hajoamatta.



Kuva 16. Betonielementtitehtaan hiontaliettees-tä tehtyjä, tuhkalla kuorrutettuja rakeita. Kuva on otettu tuoreista lieterakeista. Vasemmalla on kivihiilituhkalla ja oikealla puutuhkalla kuorrutettuja lieterakeita.

Toinen rakeistuskokeissa käytetty liete tuli betonituotetehtaalta. Sitä oli kahta eri laatua, joista toinen oli hiontalietettä ja toisessa oli kiviainesta mukana. Kuva 17 esittää betonitehtaitten tyypillistä, puristimelta saatavaa lietettä, josta vesi on puristettu pois mekaanisesti.

Kolmantena lietteenä käytettiin valmisbetonitehtaan ylijäämalietettä, joka oli osittain kovettunut kuljetuksen aikana. Kovettu-



Kuva 17. Betonituotetehtaalta haettuja lietteitä ennen rakeistusta.



Kuva 18. Edellä (kuvassa 17) esitellystä lietteestä A valmistettuja rakeita. Liete on ensin kevyesti murskattu, pyöritetty betonimyllyssä ja kuorrutettu tuhalla. Kuvassa on vasemmalla 4 mm seulan läpäisseitä ja oikealla 8 mm:n seulalle jääneitä lieterakeita.

neen lietteen pinnalla oli vesikerros, joka kaadettiin pois ennen murskausta. Lietteen kuiva-ainepitoisuus oli 83 %. Tälle lietteelle ainoa soveltuva menetelmä oli murskaus. Se murskattiin ”lihamyllyllä”, josta reikälevy oli poistettu. Murskauksen jälkeen saatiin hyvän näköinen murske, joka voidaan hahuttaessa seuloa eri jakeisiin. Kuva 19 esittää tästä lietteestä tehtyjä murskauksen ja seulonnan jälkeen saatuja tuotefraktioita. Hienoin jae muistuttaa hiekkaa. Se voidaan jättää kosteaksi tai kuivata. Kosteanaakaan se ei helposti paakkuunnu häiritsevässä määrin. Täysin kuivana se pölyää jonkin verran. Valmistettujen rakeiden liukenevuutta veteen seurattiin. Veden pH nousee, mutta rakeet eivät hajoa.

Kokeita suoritettiin myös kosteammalla erällä valmisbetonitehtaan lietettä. Lietteen kuiva-ainepitoisuudeksi mitattiin 78,5 % sen



Kuva 19. Murskattu valmisbetonitehtaan liete seulonnan jälkeen. Kuvassa vasemmalla on 4 mm seulan läpäissyt, keskellä 4 mm:n seulalle jäänyt ja oikealla 8 mm:n seulalle jäänyt jae.

jälkeen kun näytteen pinnalla ollut vesi oli kaadettu pois. Uusi näyte mureni murskatessa, mutta kuivuessaan se kokkaroitui. Seulonnan jälkeen saatiin hyvännäköinen melko tasalaatuinen tuote (4 mm:n seulalle jäänyt jae), jolle tehtiin puristuskoe. Rakeet murskautuivat hyvin vähän, kun ne olivat painon alla noin 10 min kuormituksen ollessa 40 kg 10 x 10 cm² alalle.

5.3.2 Betonilieterakeiden analyysituloksia

Betonielementtitehtaan hiontalietteestä valmistetuille, eri tavalla kuorrutetuille lieterakeille suoritettiin monialkuainemääritys. Määrityksen tarkoituksena oli selvittää valmistettujen rakeiden soveltuvuutta lannoitekäyttöön. Analyysitulokset on esitetty taulukossa 8.

5.3.3 Johtopäätökset rakeistuskokeista

Betonitehtaiden liete pitäisi ennen tuotteistamista joko käsitellä puristamalla tai siitä pitäisi muulla tavoin poistaa ylimääräinen vesi. Lietteen puristuksessa tulee huolehtia, että irtovesi johdetaan pois, ettei se pääse valumaan puristetun lietteen joukkoon. Irtoveden tippuminen lietteen päälle aiheuttaa kosteusvaihteluja, mikä taas vaikeuttaa jatkokäsittelyä. Kun lietteen kosteus vaihtelee saadaan ”betonimyllytekniikalla” hyvin erikokoisia rakeita. Rakeistaminen pitäisi tehdä tuoreella lietteellä ennen kuin se ehtii paakkuuntua. Murskaaminen voidaan



Taulukko 8. Betonielementtitehtaan hiontalietteestä valmistettujen, eri tavalla kuorrutettujen lieterakeiden analyysituloksia. Näytteet ovat: 1 Pelkkä betoniliete, 2 Puutuhka + betoniliete 10 %, 3 Kivihiilituhka+betoniliete 10 %, 4 Puutuhka + kalkki + betoniliete 5+5 % ja 5 Puutuhka+betoniliete 5 %.

	As	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	K	Mn	Ni	P	S	V	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Nro 1	<5	115	230000	<0.5	21.3	12.9	33.3	3600	229	13.7	445	2250	58.1	36.5
Nro 2	<5	321	233000	1.52	22.2	18.7	46.8	7160	1690	22.6	1900	3850	54.5	375
Nro 3	7.26	326	186000	0.94	20.2	18.2	40.7	3880	418	20.1	753	2400	63.9	81.7
Nro 4	<5	308	235000	1.29	19.1	18.1	38.5	5940	1620	22.5	1810	3490	48.8	366
Nro 5	<5	239	231000	0.97	21.8	17.3	32.3	5040	1030	21.0	1270	3050	56.2	226

tehdä joko kosteana tai kuivana tapauksesta tai murskausmenetelmästä riippuen. Hyvin käsitelty tuote kestää varastoinnin ainakin sateelta suojatussa paikassa.

vähintään 10 % kalsiumiksi (Ca) lasketuna.

Kalkkikivirouheena myytävän kalkitusaineen raekokoa ei ole määritelty, mutta sen happoa neutraloivan kyvyn tulee olla vähintään 30 % kalsiumiksi (Ca) laskettuna.

5.4 Betonilietteen käyttö lannoitteena

Maanparannusaineiden, lannoitettujen kasvualueiden, kompostivalmisteiden ja sellaisena käytettäväksi kelpaavien sivutuotteiden sekä typpibakteerivalmisteiden laatuvaatimukset on esitetty Maa- ja metsätalousministeriön päätöksessä 46/1994.

1. Raskasmetallit; enimmäispitoisuus mg/kg

Elohopea (Hg)	2
Kadmium (Cd)	3
Arseeni (As)	50
Nikkeli (Ni)	100
Lyijy (Pb)	150
Kupari (Cu)	600
Sinkki (Zn)	1500

2. Muut laatuvaatimukset

Kalkkikivipitoisena kivijauheena myytävän kalkitusaineen tulee täyttää hienousasteeltaan kalkkikivijauheelle asetetut vaatimukset. Jauheen tulee olla niin hienoa, että 98 % siitä läpäisee seulan, jonka neliönmuotoisen aukon sivu on 2,0 mm ja 50 % seulan, jonka neliön muotoisen aukon sivu on 0,15 mm. Kalkkipitoisen kivijauheen happoa neutraloivan kyvyn tulee olla

Lannoitevalmisteiden lajista saa käyttää vain kyseisessä päätöksessä (MMM p 46/1994) esitettyjä tyyppinimiä. Näistä betonilietteilte voisivat sopia lähinnä yllä mainitut kalkkipitoiset kivijauhe ja kalkkikivirouhe. Kalkkikivirouheelle asetettua neutralointikykyä on kuitenkin melko vaikea saavuttaa betonilietteestä valmistetuilla rakeilla. Kalkkikivijauheen puolestaan pitäisi määräysten mukaan olla melko hienoa. KTTK:sta saadun tiedon mukaan rakeiden suurempaa kokoa ei ole pidetty esteenä lannoituskäytölle. Pääasia on, että rakeiden kokojakauma tiedetään ja ostaja/käyttäjä tietää mitä saa. Uudessa laissa, joka saadaan mahdollisesti voimaan vuonna 2005, on tarkoitus huomioida muun muassa tällaiset asiat.

Betonitehtaiden lietteistä valmistettua tuotetta voidaan käyttää lannoitelain tarkoitamana kalkitusaineena pelloille, mikäli se täyttää lannoitelaisissa asetetut vaatimukset ja asianmukaiset analyysit sekä lannoitelain edellyttämä ilmoitus on tehty. Tuote voi olla murskattua ja seulottua kuivaa lietettä tai rakeita. Rakeistuksen etuna on, että lietettä ei tarvitse kuivata, vaan rakeet voidaan tehdä lietteestä, josta vesi on poistettu mahdollisimman hyvin mekaanisesti esimerkiksi puristimella. Mekaaniseen vedenerotukseen on kiinnitettävä huomiota, että rakeistukseen



tuleva tavara on mahdollisimman kuivaa ja tasalaatuista.

Rakeistuksen helpottamiseksi ja ennen kaikkea lietteen kosteusvaihteluiden hallitsemiseksi rakeet voidaan kuorruttaa sopivalla aineella esimerkiksi lentotuhkalla. Puutuhkalla kuorrutettaessa rajoittavaksi tekijäksi tulee lähinnä kadmium (Cd), jota puutuhka sisältää melko runsaasti. Tehdyissä rakeistuskokeissa tuhkalla kuorrutettujen rakeiden Cd-pitoisuus oli enimmillään noin 1,5 mg/kg (ks. taulukko 8) eli puolet nykyisin sallitusta määrästä. Mikäli raja-arvo pienee, on puutuhkaa käytettäessä oltava tarkkana, ettei raja-arvo ylity. Puutuhka on muuten hyvä lisäaine ja se sisältää lannoitteeksi soveltuvia aineita, mikä mahdollisesti lisää tuotteen kalkitusvaikutusta. Lentotuhkien huono puoli on se, että niihin on rikastunut myös polttoaineen haitallisia aineita. Niiden kanssa on oltava tarkkana, ettei raja-arvoja ylitetä. Myös muun tuhkan, esimerkiksi kivihienon lentotuhkan käyttö on mahdollista, kunhan haitallisten aineiden pitoisuudet eivät ole liian suuria. Kuorutusaineena on tietenkin mahdollista käyttää esimerkiksi poltettua kalkkia, mutta se ei kustannussyistä tunnu erityisen järkevältä.

Betonitehtaan sivutuote saadaan lannoitekäyttöön seuraavilla toimenpiteillä:

1. Tuotteistus tavalla tai toisella
2. Vaadittavat analyysit
3. Ilmoitus KTTK:lle toiminnan aloittamisesta
4. Tuoteseloste
5. Markkinointi

On todennäköistä, että mikäli betonilietteen lannoitekäyttö yleistyy, tulee eri puolille maata lietteen vastaanottopisteitä, joissa joku urakoitsija ottaa tuotteen vastaan ja vastaa sen rakeistuksesta ja loppukäytöstä.

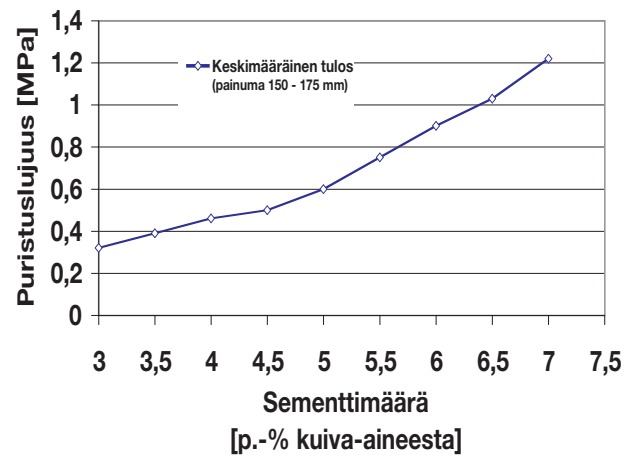
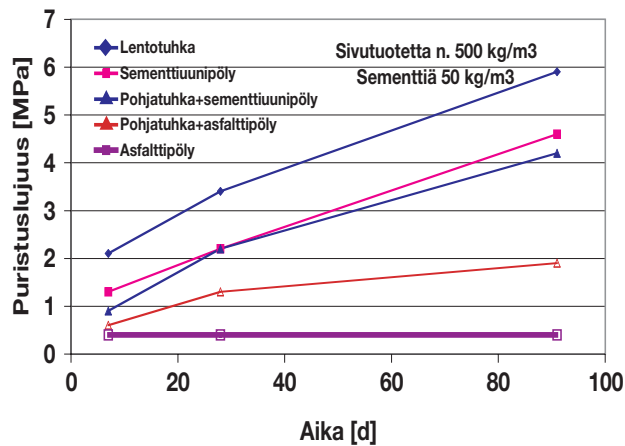
5.5 Alhaisen lujuuden massat

Yleistä

Alhaisen lujuuden juoksevat täyttömassat sijoittuvat ominaisuuksiltaan tiivistetyn kiviaineksen ja betonin väliin. Ne koostuvat tyypillisesti kiviaineksen ohella lentotuhkasta, sementistä ja vedestä. Kiviaineksen osuus on yleensä suurin. Niiden lujuus on alle 8 MPa ja yleensä selvästi pienempi (0,5–2 MPa) ja sementtimäärä yleensä 50–100 kg/m³. Ne soveltuvat sekä lujuutta vaativaan maarakennukseen että myöhemmin pois kaivettaviksi massoiksi. Käsien pois kaivettavien massojen lujuuden tulee olla alle 0,3 MPa ja koneellisesti kaivettavien alle 1,4 MPa. Alhaisen lujuuden täyttömassat soveltuvat perinteistä maatayttöä paremmin hankaliin täyttöihin ja esimerkiksi painumat jäävät tavallista pienemmiksi. Niillä on myös paljon muita hyviä käyttöominaisuuksia. [Georgia Concrete & Products Association 2001, ACI 229R 1999]

Alhaisen lujuuden massoihin soveltuvat hyvin erilaiset sivutuotteet tai uusioraaka-aineet [Katz & Kovler 2004]. Esimerkiksi kaivosteollisuudessa on tutkittu rakeisuudeltaan betonilietettä vastaavien sivutuotteiden käyttöä täyttömassoissa [Kesimal et al. 2004, Benzaazoua et al. 2002]. Lujuuden kannalta merkitystä on todettu olevan sekä sivutuotteen kemiallisella koostumuksella ja rakeisuudella että käytettävällä sideainetyypillä. Tyypillisesti hienojakoista sivutuotetta sisältävien täyttömassojen sideainemäärä on 3–7 p.-% materiaalin kuiva-painosta ja vesi-sideainesuhde 6–12. Kuvassa 20 on esimerkkejä hienoudeltaan betonilietettä vastaavaa sivutuotetta sisältävien massojen lujuuksista.

Hieno betoniliete soveltuu periaatteessa käytettäväksi alhaisen lujuuden massoissa. Hienon aineksen suuri määrä on eduksi massan koheesion ja erottumattomuuden kannalta eikä sen määrälle ja laadulle ole vastaavia suuria vaatimuksia kuten esimerkiksi betonissa. Jos massan tulee olla myöhemmin pois kaivettavissa, on lietteen käytöstä sikäli



Kuva 20. Erilaisia hienojakoisia sivutuotteita sisältävien alhaisen lujuuden massojen lujuustietoja [Katz & Kovler 2004, Kesimal et al. 2004].

etua, että se ei lisää massan lujuutta ajan kuluessa kuten esimerkiksi lentotuhka. Pelkän kuivumisen ja kastumisen vaikutus sekä jäätyksen ja sulamisen vaikutus massan pysyvyyteen tulee kuitenkin ottaa huomioon käyttöolosuhteiden mukaisesti. [Katz & Kovler 2004]

Koska betoniliete on hienojakoista, sen vesimäärä on tyypillisesti suuri eikä se ole vastaavasti lujittuvaa kuin esimerkiksi lentotuhka, soveltuu se huonosti massoihin, joissa lujuusvaatimus on yli 1 MPa.

Alhaisen lujuuden massa voi olla myös mekaanista levittämistä ja tiivistämistä vaativa lähinnä maabetonia vastaava massa. Tavanomaisen maabetonin tavoitelujuus on yleensä 7 d iässä 3–10 MPa ja 28 d iässä 5–10 MPa sen mukaan, onko kysymys kantavan vai jakavan kerroksen maabetonista. Maabetonille on muitakin vaatimuksia kuten käyttöolosuhteita vastaava riittävä kestävyys.

Betonilietemassat - koetuloksia

Hienon betonilietteen hyötykäyttöön saaminen vaatii siitä valmistettavan materiaalin kuten täyttömassan ominaisuuksien optimoinnin ja tutkimisen käyttökohtaan asettamien vaatimusten mukaisesti. Seuraavassa esitetään alustavien kokeilujen tuloksia.

Viitteen [Räisänen 2004] laboratorikokeissa tutkittiin kahden betonilietteen lujittamista

sekä lisäksi suuremman kosteuspitoisuuden lietteen käyttöä massoissa, jotka sisälsivät myös kiviainesta. Lujitettua lietettä voidaan käyttää sellaisenaan täyttömateriaalina. Sen voidaan myös ajatella olevan kiviainesta sisältävän täyttömassan pastaosuutta. Pelkän lietemassan sementtimäärä (kg/m^3) on luonnollisesti paljon suurempi kuin massan, johon lisätään myös kiviainesta.

Toinen liete (liete 1) oli ontelolaattatuotannon saostusaltaan pohjalta otettua lietettä, josta oli puristettu mekaanisesti vettä pois. Toinen liete (liete 2) vastasi valmisbetoniase-
man viimeisen saostusaltaan hienoa suuren kosteuspitoisuuden lietettä. Taulukossa 9 on esitetty perustiedot tutkimuksen lietteistä.

Valmistettujen sideainemäärältään ja vesi-sideainesuhteeltaan (2–12) erilaisten liete-
massojen koostumustiedot ja mitatut mas-
sojen ominaisuudet on esitetty taulukossa 10. Massoissa käytettiin Rapid-sementtiä ja

Taulukko 9. Tiedot kahdesta betonilietteestä, joista valmistettiin alhaisen lujuuden massoja.

Ominaisuus	Betoniliete 1	Betoniliete 2
Olomuoto	Kokkareinen	Vellimäinen
Kosteuspitoisuus, [p.-%]	42	60
Tiheys [kg/m^3]	1560	1340
Muuta	Ontelolaatta- tuotannon lietettä (ks. kuva 21)	Hienojakoista valmisbetoni- ase- man < 0,100 mm lietettä (ks. kuva 21)



Kuva 21. Kokkareista lietettä (liete 1, vesipitoisuus 42 p.-%), josta vettä on puristettu kierrätyslaitteissa pois ja häirittyinä juokseviksi muuttuvaa suuren kosteuspitoisuuden hienoa lietettä (liete 2, vesipitoisuus 60 p.-%).

pienimmän vesi-sideainesuhteen massoissa lisäksi lentotuhkaa. Lentotuhkan hehkutus-häviö oli 5,4 % ja alle 0,063 mm aineksen määrä 82,7 %.

Kuvassa 22 on esitetty valmistettujen liete-massojen prismakoekappaleista määritetty lujuus sideainemäärän sekä vesi-sideaine-suhteen mukaisesti. Lujuudet määritettiin

märistä RH 95 %:ssa säilytetystä koekappaleista. Pelkän kuivan lietteen 1 lujuus oli noin 3,5 MPa, kun se määritettiin lietekokkareista valmistetuista pienistä kuutioista.

Sekoittamalla lietteeseen sideainetta ja mahdollisesti myös kiviainesta, voitiin valmistaa lujuutta omaavaa uusiotuotetta. Erityisesti yli 1 MPa:n lujuuteen vaadittava sideainemäärä on suhteellisen suuri, koska liete on hienojakoista ja sen vesimäärä on suuri. Saavutettavaan lujuuteen vaikuttavat sideainemäärän lisäksi kunkin lietteen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet kuten sen mahdollinen hieman lujuutta lisäävä ominaisuus sekä valmistettavan massan koostumus ja tiheys. Tiheyteen vaikuttaa mm. massaansa sen sekoituksen yhteydessä jäävä ilmamäärä. Materiaalin lujuuteen vaikuttaa myös sen kosteuspitoisuus lujuuden määrittämisajankohtana. Kuivunut liete voi omasta johtuen huomattavasti lujuutta.

Taulukko 10. Betonilietteistä valmistettujen massojen koostumustiedot sekä massojen työstettävyyttä, tiheys ja kovettuneen tuotteen lujuus märkänä 28 d iässä. Massat olivat joko sideaineella stabiloituja lietteitä tai ne sisälsivät lisäksi kiviainesta.

Liete (vesi, p.-%)	Sementti + lentotuhka, kg/m ³	Vesi/ (sementti+ 0,3x lentotuhka)	Kiviaines, kg/m ³	Haegermann-leviämä, mm	Massan tiheys, kg/m ³	Lujuus (märkänä) 28 d, MPa
1 (42)	63+0	11	0	115	1370	0,50 ¹⁾
1 (42)	89+0	7,4	0	103	1530	0,83 ¹⁾
1 (42)	180+0	3,7	0	105	1400	2,23 ¹⁾
1 (42)	262+112	2,3	0	105	1559	3,93 ¹⁾
1 (42)	55+0	12	0	95	1556	0,44 ²⁾
1 (42)	83+0	8	0	95	1573	1,03 ²⁾
1 (42)	165+0	4	0	95	1589	1,98 ²⁾
1 (42)	254+254	2	0	95	1609	6,41 ²⁾
2 (60)	68+0	12	0	200	1380	- ³⁾
2 (60)	101+0	8	0	190	1410	- ³⁾
2 (60)	203+0	4	0	160	1440	0,44 ²⁾
2 (60)	312+312	2	0	155	1560	4,16 ²⁾
2 (58)	108+0	4	1104 ⁴⁾	130	2035	1,21 ²⁾
2 (58)	120+0	4	923 ⁵⁾	140	1880	1,14 ²⁾
2 (58)	121+0	4	920 ⁶⁾	130	1870	1,19 ²⁾

1) Lujuus määritettiin 100 mm:n kuutioista.

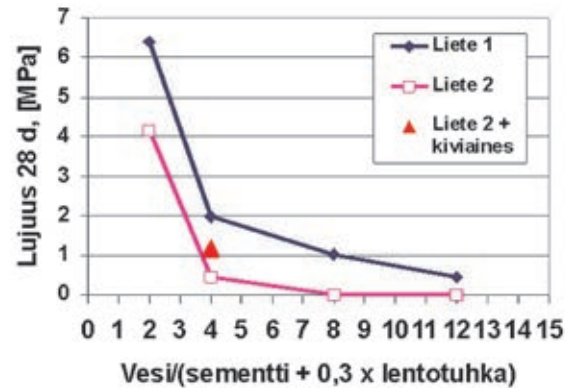
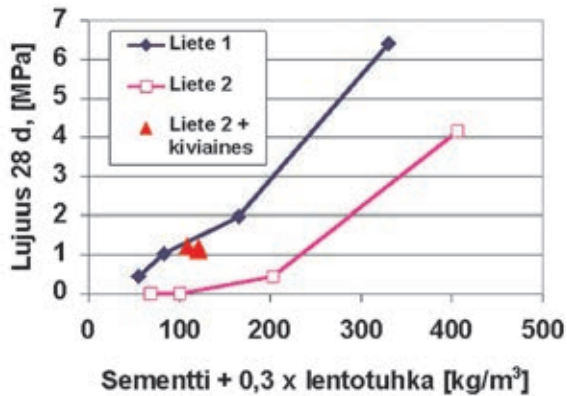
2) Lujuus määritettiin 160x40x40 mm³:n prismoista.

3) Lujuutta ei kyetty määrittämään (liian pieni).

4) Kiviaines: 1 – 2 mm 30 %; 2 – 3 mm 25 %; 3 – 5 mm 25 %; 5 – 10 mm 20 %.

5) Kiviaines: 1 – 2 mm 40 %; 2 – 3 mm 35 %; 3 – 5 mm 25 %.

6) Kiviaines: 1 – 2 mm 60 %; 2 – 3 mm 40 %.



Kuva 22. Lietemassojen prismakoekappaleista ($160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$) määritetty lujuus (määrät koekappaleet) käytetyn sideainemäärän (kuva A) ja vesi-sideainesuhteen (kuva B) mukaisesti. Liete 1 oli ontelolaattatuotannon lietettä, josta osa vedestä oli puristettu pois (vesipitoisuus 42 p.-%) ja liete 2 valmisbetonituotannon suuren kosteuspitoisuuden (60 p.-%) hienoa lietettä. Massassa "liete 2 + kiviaines" kiviaineksen määrä oli 920 – 1104 kg/m³. [Räisänen 2004]

5.6 Betonilietteen käyttö maarakentamisessa

Uusiomateriaalista tehdyn maarakenteen toiminnallisten ominaisuuksien ja vaatimusten täyttyminen voidaan yleensä todeta tavanomaisten maarakennusmateriaalien hyväksymis- ja käyttöönottonenettelyjä soveltaen. Lisäksi uusiomateriaalit tulee tutkia ympäristökäyttäytymisen ja -soveltuvuuden kannalta. Uusiomateriaalin laajempi käyttöönotto vaatii koerakennuskohteissa tehtäviä mittauksia ja seuranta, koska niiden pitkäaikaistoiminnasta erilaisissa olosuhteissa ei ole vastaavasti kokemusta kuin perinteisistä materiaaleista.

Viitteessä [Tammirinne et al. 1995] käsitellään uusiotuotteiden maarakennuskäytön edellyttämiä tutkimuksia laboratoriossa ja koerakenteilla kuten

- käyttökelpoisuuden arviointia,
- käyttöön hyväksymistä,
- käyttökohteita,
- maarakenteiden suunnittelua ja mitoitusta,
- laboratoriotutkimuksia ja kokeita (lähemmin ks. alla) sekä
- rakennekokeita ja koerakenteita.

Betonilietteen tai siitä prosessoitujen uusiotuotteiden ominaisuuksia ja soveltuvuutta maarakennukseen voidaan tutkia laboratoriossa tekemällä

- ympäristökelpoisuustestit (standardoidut liukoisuustestit),
- materiaalien luokitus- ja indeksikoeket (rakeisuus, kiintotiheys, plastiset ominaisuudet ym.)
- geotekniset laboratoriokokeet (huokoisuus, kapillaarisuus, vedenläpäisevyys, eroosioherkkyys ym. sekä erilaiset lujuus- ja muodonmuutoskokeet),
- tiivistettävyysskokeet,
- routivuusominaisuuskokeet (routanousukoe),
- pakkasenkestävyysskokeet,
- lämmönjohtavuuskokeet,
- kantavuusominaisuuskokeet,
- hydraulisen sitoutumisen kokeet sekä erilaiset stabilointi- ja kiinteytyskokeet (sitoutuminen, lujuudenkehitys ja lujuus)

Prosessoimaton betoniliete

Edullisinta olisi, jos lietettä voitaisiin käyttää ongelmitta maarakennuksessa sellaisena, kuin se tulee tehtaan kierrätysysteemistä. Maarakennusmateriaalina betoniliete on kuitenkin erittäin hienojakoista. Rakeisuuden vaikuttaa jossain määrin se, minkälaisesta kierrätysprosessista liete on peräisin.

- Alle 0,020 mm:n aineksen osuus on 8–84 % (keskimäärin 46 %) ja
- alle 0,074 mm:n aineksen osuus on 87–100 % (keskimäärin 94 %).



Lietteen kosteuspitoisuus on suuri tai erittäin suuri (yleensä 35–75 %) ja se vaihtelee prosessointitavan, kuivumisajan sekä olosuhteiden mukaisesti. Häirittynä suuren kosteuspitoisuuden liete muuttuu juokseväksi ja sen käsittely kuten kuljetus, levitys ja tasaus on vaikeaa. Liete, josta vettä on kierrätyssesteemissä puristettu pois (kosteuspitoisuus alle 40 p.-%) on jo hieman prosessoitua ja sen käsittely ja käyttö on helpompaa. Lietteen tehokas kuivattaminen on liian kallista ellei sille löydetä tällöin sopivaa ja kannattavaa käyttötapaa.

Maalajien routivuutta säätelee pitkälti niiden sisältämä hienorakeinen aines, jonka määrään perustuvaa routivuuden arviointia voidaan käyttää silloin, kun tarkkuusvaatimus ei ole suuri. Luotettavampi käsitys lietteen routivuudesta saadaan routanousukokeen avulla. Rakeisuuden perusteella arvioituna routimattomaksi katsotaan yleensä luonnonmaalaji, jossa alle 0,002 mm aineksen osuus on <1 %, alle 0,020 mm aineksen osuus < 3 % ja alle 0,074 mm aineksen osuus < 8 %. Hieno betoniliete on maalajiluokituksen mukaan routivaa materiaalia. Se ei sovellu myöskään monilta muilta osin käytettäväksi kantavuus- ja pysyvyysvaatimuksen omaavissa maarakennuskohteissa.

Uusiotuotteiden teknisen kelpoisuuden tutkiminen on vaativaa. Sen voi tehdä alan asiantuntija, jolla on pätevyys kulloinkin tarvittavan testauksen valintaan ja suorittamiseen. [TEKES 2000]

Hieno liete voi soveltua sellaisenaan kohteisiin, jossa ei ole suuria maarakennusteknisiä vaatimuksia ja mm. kokoonpuristumista voidaan sallia. Tällaisia ovat

- viherrakentaminen,
- maisemointi,
- piharakenteet,
- pengertäytteet,
- meluvallit,
- tietyt kaatopaikkarakenteet ja
- erilaiset täytöt.

Lietteen hienous, suuri kosteuspitoisuus tai lietteen kastuminen rakentamisvaiheessa voi aiheuttaa ongelmia liettymisen vuoksi.

Sijoituspaikalla lietteet on peitettävä muilla materiaaleilla ja lietteen hallitsematon leviäminen veden mukana ympäristöön on estetävä. Sijoitus tärkeille pohjavesialueille ei ole suositeltavaa, mutta muutoin lietteiden ympäristökelpoisuus ei ole ongelma.

Prosessoidut ja stabiloidut betonilietteet ja alhaisen lujuuden täyttömassat

Lietteen stabilointi sideaineella kuten sementillä ja lentotuhkalla tai rakeistus parantavat sen käyttö- ja geoteknisiä ominaisuuksia ja kestävyyttä, jolloin sen käyttömahdollisuudet maarakennuksessa lisääntyvät. Edellä on esitetty alustavia tuloksia lietteen rakeistamisesta (kohta 5.3) sekä stabiloinnista ja käytöstä alhaisen lujuuden massoissa (kohta 5.5). Tulokset koskevat pääosin lujuutta. Lietteen käytön laajentaminen edellyttää siitä valmistetun uusiotuotteen kussakin käyttötavassa oleellisten ominaisuuksien selvittämisen (ks. edellä).

Taulukossa 11 on esitetty edellisen kohdan 5.5 lietemassojen sementtimäärä- ja lujuustietoja sekä vastaavia tietoja muista saman lujuusalueen massoista. Sideaineella stabiloidun lietteen tai lietteestä valmistetun massan lujuus vastaa samalla sementtimäärällä useiden vastaavan lujuusalueen massojen lujuutta (syvästabilointi, juoksevat täyttömassat, kevytsorabetoni, maabetoni). Stabiloitu lietemassa vastaa lujuudeltaan myös esimerkiksi lentotuhkatäyttöä. Sekä betonilietteen että muiden hienojakoisten ja paljon vettä sisältävien materiaalien stabiloinnissa vaadittava sideainemäärä on suhteellisen suuri. Erityisesti suuren kosteuspitoisuuden betoniliete soveltuukin tämän vuoksi parhaiten vain hieman lujitettuihin ja mahdollisesti pois kaivettavissa oleviin täyttömassoisiin, joiden lujuus on alle 0,5 MPa tai ainakin alle 1 MPa. Jatkokehitystä, käytännön hyötykäytön järjestämistä ja aivan uusiakin ideoita tullaan tarvitsemaan, jotta betonilietettä voitaisiin käyttää riittävän taloudellisesti. Haluttuun lujuuteen vaadittavan sideainemäärän pienentäminen voi olla mahdollista paitsi lietettä kuivattamalla



myös käyttämällä esimerkiksi voimakkaasti kosteuttaa sitovaa lisäainetta (ks. kohta 5.2) tai muita lisäaineita sekä yleensä massan koostumusta optimoimalla.

Taulukko 11. Alhaisen lujuustason massojen tai materiaalien tyypillisiä lujuuksia sekä lietemassojen (koemassat, ks. kohta 5.5) lujuuksia.

Massatyyppi	Sideaineen määrä ¹⁾	Puristuslujuus ¹⁾ , MPa
Betoniliete (vesi n. 40 p.-%), tiivistettävä massa	Sementti 50 – 165 kg/m ³	0,4 – 2,0
Betoniliete (vesi 60 p.-%) + sementti (+lentotuhka), valuva massa	Sementti 200 kg/m ³	0,5
	Sementti 310 kg/m ³ + lentotuhka + 310 kg/m ³	4,2
Betonilietettä (vesi 58 p.-%) ja kiviainesta + sementtiä sisältävä massa	110 – 120 kg/m ³	1,1 – 1,2
Syvästabilointi (pilarit)	Sementti 110 – 180 kg/m ³	0,3 – 0,6
Tyypillinen kaivettava valuva täyttömassa	Sementti 30 kg/m ³ + lentotuhka 180 kg/m ³	0,4 – 0,9
Tyypillinen ei-kaivettava valuva täyttömassa	Sementti 90 – 120 kg/m ³ + lentotuhka 180 kg/m ³	> 2,4
Kevytsorabetoni, jonka tiheys kuivana 400 - 700 kg/m ³	Sideaine 100 – 250 kg/m ³	1,0 – 4,5
Maabetoni	3,5 -12 % kuivapainosta 80 – 200 kg/m ³	Jakava: 5,0 – 7,0 Kantava: 7,0 – 10,0
Lentotuhkat: (heikot - stabiloidut)	-	< 0,5 – 4,5

1) Tunnettuja tai kirjallisuudessa esitettyä arvoja tai koetuloksia.



6 KIERRÄTYSPROSESSIT JA LAITTEISTOT

6.1 Johdanto

Suomen betonitehtaissa valmistetaan noin 5 miljoonaa kuutiometriä betonia vuodessa. Sivutuotteena, pääasiassa tuotanto- ja kuljetuskaluston pesussa sekä tuotteiden jatkojalostuksessa, kuten sahauksessa ja hionnassa sekä pesubetonipintojen pesussa syntyy betonilietettä noin 2 % tuotannon määrästä. Betonilietteen lisäksi tuotannossa syntyy sivutuotetta joko tuoreena ylijäämäbetonina tai kovettuneena betonina. Pesu- ja sahaus- sekä hiontalietteen käsittely muodostavat teknisesti vaikeimmat ongelma-alueet sekä taloudellisesti suurimman kustannustekijän tuotannon sivuvirtojen käsittelyssä. Raaka-aineiden hinnan ja kuljetuskustannusten kasvaessa nousee myös raaka-aineiden tehokas käyttö entistä tärkeämmäksi.

Betonin raaka-aineet eivät sisällä ympäristölle haitallisia aineita. Betonilietteen ja kierrätysveden osalta on huomioitava mahdollinen korkea pH-arvo johdattaessa kierrätysvettä kunnalliseen viemäriverkkoon. Lisäksi voimakkaasti emäksisen kierrätysveden ja betonilietteen työturvallisuusriskit on otettava tuotannossa huomioon. Merkittävä tekijä työskentelyolojen parantamisessa ja työturvallisuuden kehittämisessä sekä tehtaiden tuotantohäiriöiden vähenemisessä on betoniliete ja vedenkierrätys prosessin hallinta. Työskentelyolojen parantamisella on suora vaikutus myös toimialan imagoon ja työviihtyvyyteen. Uudet betonin raaka-aineiden kierrätystä koskevat EU-standardit tarjoavat selkeitä lisäohjeita ja mitoitusarvoja kierrätysprosessien suunnittelulle ja toteutukselle, tavoitteena raaka-aineiden ja veden suljettu kierto betonivalmistuksessa.

Tämä raportti sisältää tilannekuvauksen kotimaisissa valmisbetoni- ja elementtitehtaissa käytössä olevista kierrätysmenetelmistä ja niiden toimivuudesta sekä kierrätyksen ongelma-alueista. Lisäksi esitetään esimerk-

kejä eurooppalaisten betonitehtaiden kierrätysprosesseista. Referenssitiedot on kerätty vuoden 2003 aikana tehtyjen tehdasvierailujen yhteydessä. Raportissa esitetään tiiviissä muodossa myös kiviteollisuuden käyttämiä lietteenkäsittelyprosesseja.

Raportin kohdassa 6.5 esitetään käyttökelpoiset betonin ja betonilietteen kierrätysteknologiat kaavioina ja laitteistoratkaisuina. Tässä osassa esitetään myös tehdastyypikohtaisia esimerkkiratkaisuja.

Raportin kohdassa 6.6 on lueteltu laitetoimittajien yhteystietoja.

6.2 Suomen betoniteollisuuden nykytilanne

Valmisbetonitehtaat

3/7 kartoitetuista tehtaista käyttää kierrätysvettä betonin valmistuksessa. Kaikissa näissä kolmessa kohteessa on käytössä betonilietteen ja/tai ylijäämäbetonin pesuun soveltuva pesurilaitteisto. Yhdessä kohteessa kierrätysveden tiheyttä säädetään sivukierrossa olevalla kiintoainetta poistavalla syklonilla.

1/7 kartoitetuista tehtaista hyödyntää selkeytettyä kierrätysvettä betonin valmistuksessa (laitteisto asennusvaiheessa kartoitusta tehtaassa). Veden selkeytys suoritetaan selkeytysaltaissa.

3/7 kartoitetuista tehtaista ei hyödynnä kierrätysvettä betonin valmistuksessa.

Kaikissa kartoitetuissa tehtaissa kuljetuskaluston ja pumppujen pesu suoritetaan pääasiassa kierrätysvedellä (3 tapauksessa selkeyttämätön kierrätysvesi, 4 tapauksessa



selkeytetty tai osittain selkeytetty kierrätysvesi). Pesun jälkeiseen huuhteluun käytetään puhdasta vettä.

Pesussa tai selkeytyksessä erotettua karkeaa kiviainesta ($> 0,2$ mm) ei hyödynnetty betonin raaka-aineena yhdessäkään kartoitettua tehtaista.

Laitetekniikan osalta tuli kaikissa kohteissa esiin kierrätysveden, etenkin selkeyttämättömän kierrätysveden pumppuja ja putkistoja kuluttava vaikutus ja kerääntymisominaisuus (kovettumat / tukkeumat) pumppuissa, venttiileissä ja putkistoissa. Putkistojen huuhtelu ja säännöllinen ennakkohuolto ovat toimivuuden perusedellytyksiä.

Erittäin merkittävän tekijän muodostaa pesulaitteistojen käyttäjien eli autonkuljettajien kouluttaminen ja perehdyttäminen pesulaitteistojen oikeaan käyttöön. Huolellisella käytöllä ja vesimäärien optimoinnilla sekä pesupaikan siisteyden ylläpitämisellä pystytään parantamaan laitteistojen toimivuutta ja kapasiteettia. Talviolosuhteet Suomessa edellyttävät katettuja ja lisälämmityksellä varustettuja pesupaikkoja sekä lämmitettyjen pesuvesien käyttöä kylmimpinä vuoden aikoina. Yleisesti pesussa käytettävät vesimäärät ja huuhteluvesimäärät ovat ylimitoitettuja.

Uutena haasteena tulee esiintymään enenevässä määrin kuitujen käyttö betonimassassa, jolloin kuitujen erottelu muodostaa oman liitännäisprosessinsa kierrätyslaitteistoon.

Pääongelmana valmisbetonitehtaissa on kierrätysveden määrän tasapainottaminen kierrätysveden allaskapasiteetin ja tehtaiden kuormitusvaihteluiden rajoissa. Laitteistojen ja kierrätysprosessin mitoituksessa on huomioitava riittävät puskurit huippukuormia ajatellen. Lisäksi kaluston pesussa käytettävän tuoreveden määrä tulee minimoida. Yleensä kuljetuskaluston pesu ajoittuu lyhyelle ajanjaksolle työpäivän loppuun.

Putkistot ja pumput ovat merkittäviä huoltokohteita kierrätyslaitteistossa. Kierrätysvesialtaiden kulmiin pyrkii kasaantumaan

ja kovettumaan betonilietettä. Altaiden mekaaninen tyhjennys suoritetaan kuitenkin harvemmin kuin vuosittain (1 – 2 vuoden välein). Kaluston pesujen osalta betonin kuljetuspumput ovat ongelmallisia. Pesuhallissa oman ongelmansa muodostaa runsas käyttäjäkunta, jonka koulutus ja perehdyttäminen on välttämätön lisätyö.

Ontelolaattatehtaast

Ontelolaattatuotannossa betonilietteen kierrätyksen pääongelma on sahauksessa syntyvän betonilietteen määrä ja sen johtaminen kierrätysprosessiin. Sahauksessa syntyvä betoniliete aiheuttaa siisteys- ja työturvallisuongelmia tuotantotiloissa ja on selkeästi tuotannon sivuvirtojen käsittelykustannuksia määräävä tekijä. Sahauksessa syntyvä betoniliete ei kuitenkaan pyri voimakkaasti kovettumaan, joten sen käsittelyyn on löydettävissä ratkaisuja. Koneiden ja alustojen pesuvedet sekä suurikokoiset, kovettuneet betonijakeet, ovat määrältään pienempiä eriä. Yleensä ne kuitenkin sekoittuvat sahauksessa syntyvän betonilietteen joukkoon ja johtavat jätteen luokittelutarpeeseen, mikäli betonilietteen hienoaines halutaan hyödyntää betonin raaka-aineena tai kuivata suotopuristimella.

Betonilietteen sisältämän hienoaineen kierrätyksen osalta on havaittavissa selkeästi kaksi koulukuntaa, joilla kummallakin on omat perustelunsa. Yksi koulukunta hyödyntää hienoaineen betonin raaka-aineena ja toinen haluaa hienoaineen pois prosessista välttääkseen kierrätysveden käsittelyongelmat betoniasemalla ja mahdolliset tuntemattomat laatuvaikutukset. Valintaan vaikuttavista tekijöistä tärkeimmät ovat tuotantovolyyymi, betoniaseman laitteistovalmiudet, betonilietteen ja hienoaineen sijoitusvaihtoehdot muuhun käyttöön sekä asiasta kertyneet kokemukset.

Kierrätysvettä käytetään yleisesti betonin valmistuksessa joko selkeytettynä tai selkeyttämättömänä. Selkeytettyä kierrätysvettä voidaan käyttää myös sahausvetenä ja prosessin muissa kohteissa. Kierrätysveden korkea pH-



arvo on huomioitava tuotannossa. Samoin on huomioitava putkistojen ja pumppujen suurempi huoltotarve kierrätysvesijärjestelmissä verrattuna tuorevesijärjestelmiin.

Yleisenä ongelmana ontelolaattaprosessissa on tuotantoalan laajuus. Betonilietteen ja prosessissa syntyvien kuivien betonijakeiden siirtomatkat muodostuvat pitkiksi ja lisäksi betonilietettä syntyy tuotantoalan kaikissa pisteissä. Kierrätysprosessin suunnittelun yhtenä lähtökohtana tuleekin olla betonilietteen ja kovettuneiden betonijakeiden logistiikan suunnittelu ja siirtomatkojen minimointi.

Hiontalinjat

Hionnassa vesimäärät ovat yleensä suuria, joten veden kierrätykselle on taloudelliset perusteet olemassa. Kartoitetuissa tehtaissa ei pyritty hyödyntämään kierrätysvedestä erotettua hienoaainetta betoninvalmistuksessa. Tähän on syynä suuri betonilietemäärä suhteessa valmistettavaan betonimäärään sekä toisaalta betonien värivaatimukset.

Kierrätysveden selkeytyksessä käytetään pienemmillä tuotantovolyymeillä allasselkeytystä. Selkeytystorni soveltuu suurille tuotantovolyymeille. Selkeytystornien yhteydessä käytetään selkeytyksen tehostamiseen flokkulointikemikaalia. Kierrätysveden korkea pH-arvo edellyttää asian tiedostamista tuotannossa.

Betonilietteen hyötykäytön kehittäminen on jatkossa avainasemassa. Hyötykäytön ja betonilietteen tuotteistuksen mahdollisuuksia parantavat betonilietteen homogeenisuus, laadun hallinta ja käsittelyn rationaalisuus.

Julkisivuelementtitehtaat

Julkisivutehtaiden pienet materiaalivirrat ja runsas väri- ja materiaalivalikoima vaikeuttavat kierrätyksen taloudellista ja rationaalista järjestämistä. Kartoituksen kohteena olleissa tehtaissa pesuveden kierrätys oli käytössä ainoastaan yhdessä suuren tuotan-

tovolyymien tehtaassa. Kiinteitä materiaaleja ei kierrätetty takaisin tuotantoon.

Yleisenä ongelmana on pesupaikkojen siisteystä huolehtiminen. Pesupaikoille kerääntyvä ja kovettuva materiaali aiheuttaa kanavien ja virtausteiden tukkeutumista etenkin pienillä nestevirtauksilla, jotka yleensä ovat käytössä korkeapainepesuissa.

Tehtaiden lattialle kerääntyvä kiinteä jäte vaikeuttaa omalta osaltaan betonilietteiden kuljetusta ja käsittelyä.

Ylijäämäbetonin käyttö oli tuotteistettuna yhdessä julkisivutehtaassa.

Yhteenveto Suomen betoniteollisuuden tilanteesta

Muutamia edelläkävijöitä lukuun ottamatta kierrätysteknologian käytössä ja pääraaka-aineiden kierrätyksessä ollaan vielä alkuvaiheessa. Kierrätysveden laatua ja käyttöperiaatteita selventävän standardin käyttöönotto selkeyttää tilannetta jatkossa ja mahdollistaa kierrätysprosessien suunnittelun. Osaltaan jätemateriaalien kaatopaikkamaksujen nousu sekä raaka-aineiden hinnan ja kuljetuskustannusten nousu tulevat parantamaan kierrätysinvestointien kannattavuutta. Kierrätysratkaisuilla aikaansaattavia muita merkittäviä tekijöitä ovat tehtaiden työskentelyolosuhteiden paraneminen ja siivouskustannusten pieneneminen.

6.3 Euroopan betoniteollisuuden nykytilanne

Prosessi- ja laitteistokartoitusten yhteenveto on koottu Saksan, Hollannin, Italian ja Ruotsin tehdasvierailujen perusteella.

Euroopassa yleisesti käytössä olevaa kierrätysteknologiaa ja kierrätysprosesseja kuvataan seuraavassa maakohtaisina yhteenvetoina. Vierailukohteet valittiin siten, että mahdollisimman monen laitevalmistajan referenssejä pystyttiin tarkastelemaan.



Tehdasvierailujen yksityiskohtaiset raportit esitetään liitteessä 2.

6.3.1 Saksalaiset referenssi-kohteet

Saksalaiset referenssikohteet (kohteet 1 – 6 liitteessä 2) olivat kaikki hyvin toimivia. Ertispiirteenä on sadeveden hyödyntäminen vedenkierrätyksen yhteydessä. Betoninvalmistuksessa käytettävän kierrätysveden tiheyttä kontrolloidaan näytteenoton avulla. Kaikissa kohteissa ei pystytty hyödyntämään pestyä kiviainesta betoninvalmistuksessa johtuen pesutuloksen laatuvaihteluista. Laitteiden ennakkohuollon tärkeyttä korostettiin kaikissa kohteissa. Säännöllisellä ennakkohuollolla ja käyttäjien koulutuksella todettiin olevan tärkeä rooli kierrätysprosessien toiminnassa. Ilmasto-olosuhteet Saksassa eivät muodosta merkittävää häirtetekijää ja laitteet ovat pääasiassa lämmittämättömissä katoksissa ja ulkotiloissa.

Rumpupesurikohteissa pesutulos oli hyvä ja mahdollistaa kiviaineksen kierrätyksen takaisin betoninvalmistukseen (talviolosuhteet huomioitava). Tärysyötin pesurummun jälkeisenä jatkokuljettimena on tehokas vedenpoistaja pestylle kiviainekselle. Pesurin hallittu syöttö estää ylikuormitustapaukset. Yleisesti laitteistoissa on pieni huoltotarve. Laitevalmistajalla on valmiita ratkaisuja erilaisille kapasiteeteille ja erityyppisille prosesseille. Valmisbetonitehtaille on valmiita standardiratkaisuja. Laitevalmistajalla (Geco) on referenssejä kaikkiaan n. 350, joista valmisbetonipuolella n. 200 kpl ja elementtitehdaspuolella n. 150 kpl. Elementtitehdasreferensseissä alle 10 prosentissa on suotopuristin mukana laitteistokokonaisuudessa. Ensimmäiset pesurit on toimitettu 1975. Kierrätysveden tiheyden mittaukseen on saatavissa on-line-mittaus.

Esimerkki

Esimerkkikohteena Saksasta on valmisbetonitehdas, jonka tuotanto on 30 000–40 000 m³/a, pääasiassa betonia K30–K40. Lisäaineita on vähän käytössä.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Laitteistona Geco Flotmat Kombi S –rumputyyppinen pesuri, kapasiteetti 25 m³/h. Laitteisto ulkoasennuksena, asennettu vuonna 2001. Autojen pesuun on 2 paikkaa, lisäksi 1 paikka pumpun pesulle. Asemalla pestään 12–14 autoa päivittäin. Pesuajat ovat n. 5 min/auto.

Kiviaineksen ulostulo pesurista on hoidettu tärysyöttimellä, joka poistaa tehokkaasti jäännösvettä kiviaineksesta. Pesty kiviaines käytetään betonin valmistuksessa yhtenä sekafraktiona.

Kierrätysvesialtaassa on yksi sekoitin, jolla hienoainetta sisältävä kierrätysvesi pidetään homogeenisena ja estetään kierrätysveden selkeytyminen. Altaassa on höyrylämmitys kylmää kautta varten. Altaan jäätyminen ei ole ongelma; talviongelma esiintyy ensimmäiseksi kiviaineissa. Altaan nestesyvyys on 4,2 m, nestetilavuus n. 100 m³. Altaan neliömuoto on toimiva, kulmat muodostavat luonnollisen virtaushäiriön. Kierrätysvesi pumpataan altaasta suoraan betoniasemalle sekoittimeen. Pumppu käynnistyy ja pysähtyy automaattisesti annostuksen mukaan. Vakiobetoneihin käytetään 100 prosenttisesti kierrätysvettä, ei puhdasta raakavettä ollenkaan.

Betonin kuljetussäiliöiden pesu suoritetaan kierrätysvedellä, jonka jälkeen huuhtelu suoritetaan pienellä määrällä tuorevettä. Laitteisto ja ympäristö ovat erittäin siistit. Ertisishuomiota on kiinnitetty kuljettajien koulutukseen laitteiston käytössä.

Ruuvipesurikohteissa kaikki esitetyt referenssit olivat hyvin toimivia. Ruuvipesurin pesutulos oli hyvä/tydyttävä ja mahdollistaa kiviaineksen kierrätyksen betonin valmistukseen varauksella. Pesurin ruuvi ja ruuvin kaukalo ovat melko voimakkaasti kuluvia osia. Laitevalmistajalla (Klärfix) on ratkaisuja erilaisille kapasiteeteille ja erityyppisille prosesseille. Valmisbetonitehtaille on valmiita standardiratkaisuja. Referenssien lukumäärä on n. 2000 ja laitetoimituksia on alkaen vuodesta 1975.



Kuva 23. Yleiskuva kierrätyslaitteistosta

6.3.2 Hollantilaiset referenssi-kohteet

Hollantilaisten referenssikohteiden (kohteet 7–10 liitteessä 2) kierrätysprosessit ovat tehdaskohtaisia ratkaisuja. Tavoitteena kaikissa kohteissa oli suljettu kierto. Ympäristötietoisuus ja -vaatimukset ovat korkealla tasolla ja raaka-aineista sekä tuotantotilasta on niukkuutta. Betoniteknologian taso on korkea, mikä osaltaan edellyttää hyvää betoninvalmistusprosessin hallintaa. Betoninvalmistuksessa käytetään yleisesti kiviaineksenä tietty määrä murskattua betonia, joka on murskauksen jälkeen pesty. Erilaiset murskatun betonin kierrätysvaatimusprosentit ovat tuotekohtaisia. Selkeytetyn kierrätysveden neutralointi hoidettiin kahdessa kohteessa hiilidioksidi-kaasulla. Suuret tuotantovolyymit ja tuoteohjelmien kapeus tehdaskohtaisesti helpottavat toimivien ratkaisujen löytämistä. Merkittäviä kehitysaskelaita on otettu Hollannissa vasta viimeisten viiden vuoden aikana.

Esimerkki

Esimerkkikohteena on suuri valmisbetonia ja elementtejä valmistava tehdas

Valmisbetonia tuotetaan n. 700 m³/d ja laattaelementtejä 100 m³/d (betonia).

Kierrätyslaitteisto on investoitu noin 5 vuotta sitten.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Valmisbetoniasema: Autojen pesupaikan betoniliete johdetaan ruuvipesurin kautta kaivoon, josta pumppaus pystyselkeyttimellä. Flokkulanttia annostellaan putkeen automaattisesti. Pystyselkeyttimestä vesi pumpataan varastosäiliöön, josta vesi pumpataan betonin valmistukseen ja pesuihin (huuhtelut). Betoniliete pumpataan selkeyttimen kartiosta suotopuristimelle. Suotopuristimessa on n. 15 levyä. Puristettu betoniliete kuljetetaan avokontissa n. 300 m:n päässä sijaitsevalle murskattavan betonin alueelle kuivumaan. Alueelle toimitetaan myös valmisbetonin ylijäämää kovettumaan ja murskattavaksi. Alihankkija kuljettaa kovettuneen betonin ja betonilietteen murskattavaksi tehtaan ulkopuolelle ja palauttaa murskeen valmisbetoniaseman kiviainekseksi. Kiviaineksesta 18–20 % on kierrätysmateriaalia.

Ruuvipesurissa pesty kiviaines hyödynnetään sellaisenaan betoninvalmistuksessa.

Ontelolaattatuotanto ja massiivilaattatuotanto: Oma betoniasema laattatuotannolle. Puhdas sahausvesi otetaan kaivosta pois lukien uusimman sahan vesi, joka otetaan kunnallisesta verkosta. Sahauksessa syntyvä betoniliete, petivedet ja koneiden sekä sekoittimen pesuvedet johdetaan kanaaleissa keräilykaivoon, josta karkeat jakeet erotellaan ruuvipesurilla takaisin betoniasemalle raaka-ainekseksi. Betoniliete johdetaan n. 200 m pitkää putkistoa pitkin valmisbetoniasemalla sijaitsevan pystyselkeyttimen kautta suotopuristimelle. Ontelolaatta-tuotannon betoniliete käytetään siis valmisbetoniaseman tuotannossa (kuivauksen ja murskauksen jälkeen). Betonilieteputkisto on 80 mm:n muoviputkea. Pitkän putkiston kanssa on esiintynyt runsaasti huolto-ongelmia. Putkistossa on jatkuva kierrätys tietyllä jaksotuksella (tuplaputkisto).

Huomiot:

Lietteen käsittely ei häiritse betoniaseman vedenannostelua.

Raakkielementtien murskauksessa



eristelaattojen styrox muodostaa suuren ongelman.

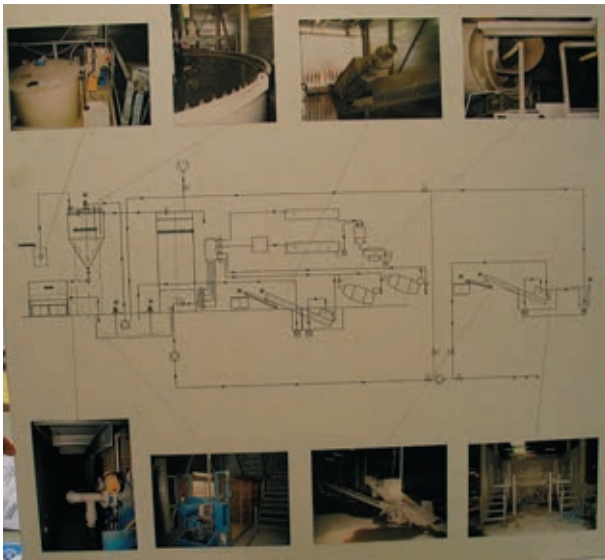
Systeemi vaikutti hyvin toimivalta erikoisratkaisulta, kustannustehokkuus ei ole tiedossa.

Laitteiston huoltotarve:

Pitkä betonilieteputkisto aiheuttaa paljon huoltotyötä.

Ruuvipesurit ja suotopuristin huolto-kohteina.

Normaalisti laitteisto toimii miehittämättömänä.



Kuva 24. Kokonaiskaavio prosessista ja materiaalien kierrätyksestä

6.3.3 Italialaiset referenssi-kohteet

Italialaiset referenssit edustavat selkeytetyn veden kierrätystä (kohteet 11–15 liitteessä 2) ja valmisbetoniaseman kierrätysprosesseja (kohteet 16 ja 17 liitteessä 2).

Kierrätysveden selkeytyksestä pystyselkeytimillä ja veden käsittelystä runsaasti vettä käyttävissä prosesseissa, kuten hiontalinjoiissa, on Italiassa kertynyt pitkäaikaista kokemusta. Italian voimakas kiviteollisuus on toiminut pääasiallisena asiakaskuntana laitevalmistajille. Betoniteollisuuden osalta vedenkierrätysreferenssit ovat uudempia. Ympäristönsuojeluvaatimuksiin suhtautu-

misen osalta tehdas- ja aluekohtaiset erot Italiassa ovat suuria.

Kohteiden 11–15 laitetoimittajalla (Fraccaroli & Balzan) on pitkä kokemus ja referenssilista mm. kivi- ja kaivosteollisuuden kierrätysvesien käsittelystä. Pystyselkeytin- ja suotopuristinreferenssejä on yli tuhat kappaletta, betoniteollisuusreferenssejä on yli 30 kpl. Toimitettujen prosessien pääasiallinen toiminto on kierrätysveden selkeytys. Vedestä poistetulle hienoainekselle ei referenssikoh-teissa pyritty löytämään kierrätysvaihtoehtoa takaisin betoninvalmistusprosessiin. Mielenkiintoinen pienelle kapasiteetille kehitetty uutuus on asennusvalmis pystykontti, joka sopii pieneen tilaan ja sisältää kaikki selkeytyslaitteiston avainlaitteet.

Kohteiden 16 ja 17 valmisbetoniasemilla kierrätyslaitteistot muodostuivat rumpu-tyyppisestä pesurista ja potkurisekoittimella varustetusta kierrätysvesialtaasta. Kompaktit laitteistot (Simem) soveltuvat tuorebetonin pesuun ja kuljetuskaluston sekä sekoittimen ja muun kaluston pesuvesien käsittelyyn. Laitteet vaikuttavat yksinkertaisilta ja toimintavarmoilta. Pesuria valmistetaan kahta eri kokoa, kapasiteetit 10 ja 25 m³/h. Pesurin budjettihinnat n. 35 k€ ja 45 k€ (Ex Works). Laitetoimittajalla on n. 100 kpl pesuritoimintuksia valmisbetoniasemille ja tehtaille.

Esimerkki

Italialaisena esimerkkikohteena on viinitarhan varusteita valmistava tehdas.

Tehtaan päätuotteena ovat viinitarhoilla käytettävät betoniset köynnösten tukemiseen tarkoitetut esijännitetyt pylväät, joita valmistetaan pitkillä valualustoilla. Pylväät valetaan pitkinä ja sahataan asiakastilausten mukaisiin pituuksiin. Sahauslietteen käsittelyongelmat ovat johtaneet kierrätyslaitteiston investointiin.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Vedenkäsittelylaitteisto: Fraccaroli&Balzan. Valualustoilta tuleva prosessi- ja sahausvesi



sekä valukoneiden pesuvesi kootaan kanaaleista tehdashallin ulkopuolella sijaitsevaan kokoomakanaaliin, josta betoniliete pumpataan välisäiliöön. Mahdolliset karkeat jakeen jäävät kokoomakanaaliin, josta ne poistetaan mekaanisesti kaivurilla. Välisäiliöstä betoniliete pumpataan pystyselkeyttimeen. Putkistossa lisätään flokkulantti automaattiannosteluna.

Pystyselkeyttimestä betoniliete pumpataan letkupumpulla pienelle 5-väliselle suotopuristimelle. Puristin purkaa kuivatun betonilietteen pieneen (n. 1 m³) kuljetuskonttiin. Betonilietteen määrä on n. 1 m³/d ja se sijoitetaan täyttökohteeseen. Selkeytetty vesi johdetaan ulos prosessista, toisin sanoen kierrätysvettä ei hyödynnetä.

Huomiot:

Toimiva laitteisto. Laitteisto on ollut käytössä n. 4 kk. Prosessista poistettavien materiaalien (kuivattu betoniliete ja selkeytetty vesi) hyötykäyttöä ei ole toistaiseksi toteutettu. Pää tavoite eli sahauslietteen käsittelyongelma tehtaalla on ratkaistu.

Laitteiston huoltotarve:

Käyttökokemukset ovat toistaiseksi lyhyeltä ajalta, joten huoltotarvetta ei ole esiintynyt.

6.3.4 Ruotsalaiset referenssi-kohteet

Ruotsalaiset referenssi-kohteet (kohteet 18–23 liitteessä 2) edustavat valmisbetonitehtaita. Yhden kohdeyrityksen pitkää kierrätyskokemusta lukuun ottamatta ruotsalaiset valmisbetonitehtaat ovat melko alkuvaiheessa kierrätysasioiden suhteen. Pesuveden kierrätystä on harjoitettu jo pidempään, mutta kierrätysmateriaalien käyttö betonivalmistuksessa on varsin alkuvaiheessa. Yksi suurista valmisbetonin tuottajista on johdonmukaisesti aloittanut erityyppisten ratkaisujen testaamisen eri tehtaillaan (kohteet 18, 21 ja 22 liitteessä 2).

Ruotsalaisia pesurilaitteistoja ei tavattu, eikä niitä myöskään kukaan tuntenut. Kaikki avainlaitteet olivat keskieuropalaista alkuperää. Pesuveden kierrätyksessä yleisesti käytetty perusratkaisu on ruuvipesurin ja allasselkeytyksen yhdistelmä, jolloin selkeytysaltaiden kiintoainekuormitus saadaan pienemmäksi ja karkean kiviaineksen hyötykäyttömahdollisuudet paranevat. Yleisesti ruuvipesurien pesutulos oli referenssi-kohteissa hyvä.

Esimerkki

Esimerkkikohteena on uusi valmisbetonitehdas, joka on ollut tuotantokäytössä toukokuusta 2003 lähtien.

Tuotanto: Maksimi kapasiteetti 90 m³/h, nykyinen tuotantotaso on n. 30 000 – 40 000 m³/a, pääasiassa vakiobetonia K30–K40, lisäaineita on vähän käytössä. Teräskuitua käytetään merkittävässä määrin betoniin sekoitettuna. Betoniasema ei ole toistaiseksi saavuttanut vielä täyttä tuotantokapasiteettia markkinatilanteesta johtuen. Talvikokemukset puuttuvat toistaiseksi eikä koko prosessista ole vielä pitkäaikaiskokemuksia.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Suomalaisen valmistajan toimittama siirrettävä betoniasemalaitteisto, jonka yhteyteen on kytketty Bibko:n valmistama ”recycling-kontti”. Laitteiston avainkomponentteja ovat:

- rumputyyppinen pesurilaitteisto
- pesuveden selkeytin
- pesuveden säiliöt (kierrätysvedelle ja selkeytetylle kierrätysvedelle erilliset säiliöt)
- betonilietesäiliö siirtopumppuineen
- pestyn kiviaineksen seula
- magneettirumpu teräskuitujen erotukseen.
- putkistot, pumput, annostelulaitteet ohjelmistokytkentöineen

Betoniasemalle pystytään syöttämään haluttuja pesutuloksia (hienoainesliete – kierrätysvesi - selkeytetty kierrätysvesi) haluttuja



määriä. Selkeyttimessä erotetun betonilietteen osalta ylimääräinen osa pumpataan siirtolavalle, jotta tasapaino betonilietteen käytön ja "tuotannon" välillä saavutetaan. Kierrätysveden tiheyden osalta on käytössä ON-line mittaus.

Kiviaineksen osalta betoninvalmistukseen kierrätetään pesty karkeampi fraktio (≥ 4 mm). Hienompi fraktio (< 4 mm) ei ole pesutulokseltaan ainakaan toistaiseksi riittävän puhdasta eikä kuivaa kierrätettäväksi.

Laitteisto on pääosin sijoitettu lämpöeristettyyn konttiin. Autojen pesuun on yksi (1) pesupaikkaa, lisäksi 1 paikka pumpun pesulle. Asemalla pestään n. 6 autoa päivittäin. Pesuajat n. 5 min/auto. Pesupaikat ovat ulkona kattamattomina.

Pesurin toiminta-ajat manuaaliohjauksen lisäksi 3–5 min käyntiä/pesua + n. 15 min tauko (ajat ohjelmoitavissa). Pesurin syötössä on säätölaite, jolla voidaan rajoittaa pesuriin johdettavaa massavirtaa. Pestyn kiviaineksen ulostulo kontista on hoidettu hihnakuljettimella. Kuljetin purkaa täryseuralle, joka poistaa tehokkaasti jäännösvettä karkeammasta kiviaineksesta.

Kierrätysmateriaalien vaikutuksesta betonin laatuun ei ole toistaiseksi kertynyt kovin runsaasti kokemuksia. Tavoitteena on käyttää kierrätysmateriaaleja kaikissa valtaladuissa, erikoisbetonit pois lukien.

Huomiot:

Laitteisto ja ympäristö siistit. Kompakti paketti, joka on saatu sopimaan pieneen tilaan.

Pesupaikkoja niukasti. Ennustettavissa ongelmia pakkas- ja lumikaudella, koska pesupaikat ovat kattamattomia. Säiliöiden kapasiteetti toistaiseksi riittävä. Kierrätysvesisäiliö vaikuttaa pieneltä.

Betonilietteen ulospumppausmahdollisuus parantaa selkeästi mahdollisuuksia tasapainon saavuttamisessa.

Pesutulos karkean kiviaineksen osalta hyvä, pesty kiviaines irtonaista ja

kuivaa. Sementtimäärä pieni. Hieno kiviaines ei ole kierrätyskelpoista ainakaan nykyisillä kokemuksilla. Kuitujen erottelu yksinkertaisuudessaan toimiva. Pesurissa kuidut eivät aiheuta ongelmia.

Kierrätyslaitteiston budjettihinta n. 200 000 €.

Läpikäydyistä Ruotsin kohteista esimerkkikohde on kaikkein pisimmälle kehitetty kierrätysratkaisu.

Laitteiston huoltotarve:

Toistaiseksi melko pieni huoltotarve. Lietepumpun kanssa pieniä ongelmia (ruuvipumppu).

6.4 Kiviteollisuuden kierrätyslaitteistot

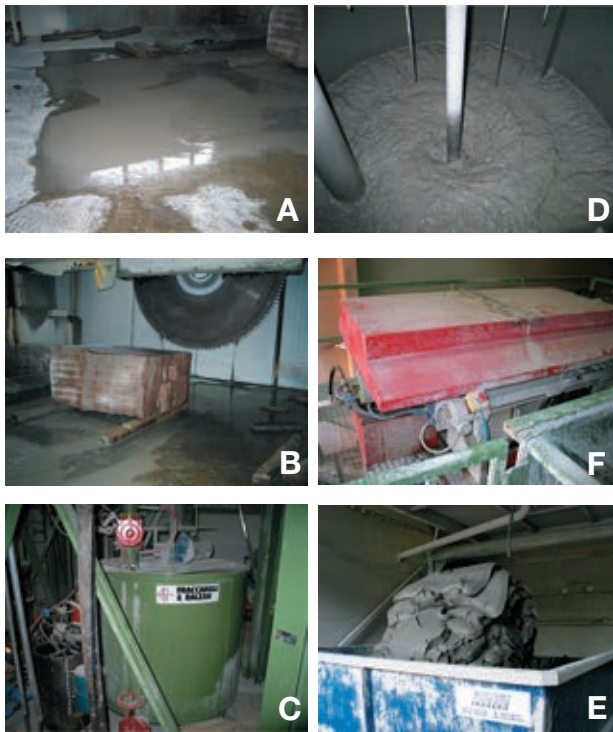
Kivenjalostusteollisuudessa syntyy suuria määriä hienojakoista sahaus- ja hiontalietettä, joka on rakeisuudeltaan samantyyppistä kuin elementtitehtaiden hienoainetta sisältävä betoniliete. Merkittävin ero kiviteollisuuden ja betoniteollisuuden välillä on sementin puuttuminen kiviteollisuuden lietteestä. Tästä syystä kivilietteen kovettumis-/kerääntymisongelmaa ei juuri esiinny kiviteollisuudessa. Seuraavassa esitetään kaksi kiviteollisuuden referenssikohdetta Suomessa. Molemmissa kohteissa prosessiveden suuri tilavuusvirta edellyttää veden kierrätystä ja selkeytystä.

Esimerkki: Kovia kivilaatuja työstävä tehdas

Prosessin kuvaus

Tehtaalla sahataan ja hiotaan kovia kivilaatuja. Valtaosa lietteestä syntyy sahauksen tuloksena, yhteensä lietettä syntyy n. 200 m³/a. (vastaa n. 500 tn/a).

Sahaus- ja hiontapakoilla on melko voimakkaat lattiakallistukset, joiden ansiosta



Kuvat 25 A–E.

- A. Sahauslietettä
- B. Sahaustilanne
- C. Sekoitussäiliö (Lietteen homogenointi ennen pystyselkeytintä)
- D. Sekoitussäiliö sisäpuolelta
- E. Suotopuristin
- F. Suotopuristimen tuotosta, kuivattua lietettä

puhtaanapito ja lietteen johtaminen kanaaleihin sujuu melko hyvin. Lieite ei kovetu (ei sementtiä). Lietteet kootaan kanaalien ja putkistojen avulla vedenkäsittelylaitokselle, joka investoitiin 4 vuotta sitten. Kokonaisinvestointi oli n. 115 k€, josta rakennus ja putkistot edustivat n. 50 %. Laitteiston käsittelemä vesimäärä vaihtelee välillä 0 – 600 l/min. Laitteisto toimii hyvin.

Laitteistona Fraccaroli & Balzan pystyselkeytin. Selkeytysprosessissa käytetään flokkulointikemikaalia. Lieite johdetaan selkeyttimen kartiosta suotopuristimelle, josta suotopuristamalla kuivattu lieite kuljetetaan läjitys-/täyttöalueelle avokontissa. Kivilietteelle ei ole hyötykäyttöä toistaiseksi.

Esimerkki: Pehmeitä kivilaatuja työstävä tehdas

Prosessin kuvaus

Tehtaalla sahataan ja hiotaan pehmeitä kivilaatuja. Valtaosa kivilietteestä syntyy sahausksen tuloksena, yhteensä kivilietettä syntyy yli 10000 m³/a. (vastaa n. 25000 tn/a). Päivittäinen lietemäärä on n. 50–60 m³, kosteus käytännössä 20–30 %.

Sahaus- ja hiontapaikeilta lieite pumpataan invertterikäyttöisillä pumpuilla. Osassa tehdasta käytetään painovoimaista siirtoa. Invertterikäyttöillä mahdollistetaan vesimäärän taloudellinen pumppaus tarvittavan tilavuusvirran mukaisena. Vedellä on suljettu kierto, korvausvesi saadaan suodatinlaitteiston kankaan pesuvedestä. Vesivirtaus kokonaisuudessaan n. 2–3 m³/min. Putkistot maksimissaan 100 m pitkiä.

Vedenkäsittelylaitteisto on investoitu vuonna 1998. Ennen selkeytintä mekaaninen seula erottelee yli 8 mm:n jakeet pois. Pystyselkeyttimessä käytetään flokkulointikemikaalia, annostus ei-automaattinen. Selkeyttimen tilavuus on 225 m³. Lietteen tiheyttä mitataan selkeyttimen kartion alapäässä jatkuvana mittauksena, jonka perusteella lieite ohjataan nauhapuristimelle (3 väliä). Selkeytetylle vedelle on 200 m³:n säiliö, jossa pintakaavari (kola) poistaa roskat. Ohjatulla virtauksella aikaansaadaan hidas kierto vesisäiliöön. Koko vesimäärä vaihdetaan 2 vuoden välein. Veteen kertyy rasvoja ja muita epäpuhtauksia.

Nauhapuristimelta kiinteä, kuivattu kivilieite kuljetetaan kauhakuormaajalla kaivoksen täyttöön ja samalle läjitysalueelle kuin sivukivi. Lietteen loppusijoituksen ja tuotetuksen osalta on ohjelmassa ollut useita projekteja ja ideoita, mm. lannoituskokeiluja, keraamisia esineitä, puristettuja kivilankkuja. Lieite sisältää runsaasti kalkkia.

Huomiot ja käyttäjän kommentit:

Nauhapuristin on toiminut erittäin



Kuva 26. Vedenkäsittelylaitoksen rakennus



Kuva 27. Seulaverkko kuljetinhihnana erottelee karkeat jakeet betonilietteestä ennen selkeytintä

luotettavasti, samoin koko laitteisto on toimiva.

Laitteisto toimii automaattisesti (pl. flokkulantin lisäys). Tarkkailua muuttaman kerran päivässä.

Ruostumattomat putkistot omaavat paremman kulutuskestävyyden (kuin mustat).

Kiviaines tarttuu vähitellen putkien seinämiin. Pumpattavan lietteen määrän pienentyessä lisätään kierrätystä putkistossa sakkautumisen estämiseksi.

Pumpun siivissä ilmenee melko voimakasta kulumista.

6.5 Käyttökelpoiset teknologiat

Seuraavissa kaavioissa esitetään erityyppiset markkinoilla ja käytännössä testatut kierrätysprosessivaihtoehdot sekä niissä käytettävien päälaitteiden toimintaperiaatteet.

Prosessivaihtoehtojen yhteydessä esitettävät investointilaskelmat ovat laitteiden ja rakenteiden yksikköhintojen mukaan laskettuja budjettihintoja. Käytännön investointikohteissa on merkittävä vaikutus sillä, suoritetaanko prosessin investointi uuteen laitokseen vai olemassa olevaan vanhaan laitokseen. Uuden laitoksen ollessa kysymyksessä pystytään laitteet ja altaat yleensä integroimaan tehtaan rakenteisiin ja prosesseihin ilman merkittäviä lisäkustannuksia rakentamisen osalta ja investointi muodostuu pääosin laitehankinnoista. Vanhoihin tehtaisiin investoitaessa saattavat rakentamiskustannukset muodostaa valtaosan kokonaisinvestoinnista. Molemmissa tapauksissa prosessisuunnittelun lähtökohtana ja investoinnin kannattavuuden laskentaperusteena tulee aina käyttää huolellista analyysiä tehtaan materiaali- ja kuljetuskustannuksista sekä kunkin tehtaan materiaalien hankinta- ja kuljetuskustannuksista. Vaikeimmin arvioitavia kustannustekijöitä ovat työpaikkojen siivouskustannusten muutokset ja työviihtyvyyteen sekä työturvallisuuteen vaikuttavat tekijät.



6.5.1 Allasselkeyty

Laitteisto koostuu sarjasta (yleisesti 4 alasta) selkeytysaltaita ja niitä yhdistävistä putkistoista ja kanavista venttiileineen sekä pumppauslaitteistosta ja raakavesi- posteista (huuhtelut ja muut käyttötarkoitukset). Altaat ovat yleisesti betonirakenteita, jotka ovat upotettuina maanpinnan / lattiapinnan tasoon. Tyypillisesti ensimmäiseen altaaseen johdetaan pesuliete, joka muodostuu tuotantokaluston ja betonin kuljetuskaluston pesujen tuotoksena. Betoniliete sisältää kaikki betonin kiviaineksen fraktiot ja sementin sekä lisä- ja seosaineiden aineosat.

Selkeyty tapahtuu painovoiman vaikutuksesta ja kiinteät ainesosat painuvat altaan pohjalle. Vesi selkeytyy asteittain virratessaan ylivirtausperiaatteella seuraaviin altaisiin. Vaihtoehtoisesti käytetään pumppausmenetelmää, jossa ensimmäisen altaan veden annetaan selkeytyä yön aikana, jolloin pesuja ei suoriteta, ja ennen ensimmäisten pesujen aloitusta selkeytynyt vesi pumpataan seuraavaan altaaseen. Pesut aloitetaan tässä tapauksessa selkeytetyllä vedellä. Normaalisti kaluston pesuun käytetään ensimmäisen altaan vettä ja huuhtelu suoritetaan selkeytetyllä vedellä tai vesijohtovedellä.

Allassarjan kolmas allas toimii yleensä öljynerotuskaivona ja neljäs allas selkeytetyn veden varastosäiliönä, josta vesi pumpataan eri käyttötarkoituksiin, kuten betoniasemalle betoninvalmistukseen ja pesuihin ensimmäiselle altaalle. Neljännestä altaasta voidaan järjestää ylivirtaus myös kunnalliseen viemäriverkostoon lupaehtojen puitteissa. Allasjärjestelyissä on useita vaihtoehtoisia ratkaisuja, joiden valintaan vaikuttavat paikalliset tilankäyttömahdollisuudet ja tehtaan kapasiteetti, tuotantotyyppi ym. asiat. Altaat on aina mitoitettava tehdaskohtaisesti huomioiden tarvittava varakapasiteetti kuormitushuippuja varten.

Ensimmäinen ja pinta-alaltaan laajin allas käsittää yleensä ajoluiskan, jonka kautta suoritetaan altaan tyhjennys kiintoaineesta määräväliajoin. Tyhjennys suoritetaan tyypillisesti kahden-neljän viikon välein

kauhakuormaajalla tai kaivurilla. Muiden altaiden tyhjennysväli on huomattavan pitkä, yleensä useita kuukausia. Kiintoaineen annetaan yleensä esikuivua altaan yhteyteen rakennetulla kaltevalla tasolla, josta vesi valuu takaisin altaaseen. Suomen olosuhteissa altaat tulee varustaa jäätymistä vastaan riittävällä lämpöeristyksellä. Myös pohjalämmityksellä ja eristyskannella varustettuja altaita on käytössä hyvin kokemuksiin. Tällöin altaiden osalle ei tarvita suojarakennusta. Pesupaikan tulee olla vähintään nk. puolilämmin ja katettu tila. Kuljetuskaluston (autot) ulkopuolisen pesun vedet tulee ohjata erilliseen öljynerotuskaivolla varustettuun viemärijärjestelmään.

Allasselkeytysprosessin hyviä ominaisuuksia ovat yksinkertainen rakenne ja pieni koneiston huoltotarve (pumput ja venttiilit huoltokohteina).

Huonoja ominaisuuksia ja rajoitteita ovat altaiden suuri tilantarve, altaan tyhjennyskustannukset ja prosessista erotettavan kiintoaineen suuri määrä sekä sen hyötykäyttömahdollisuuksien puuttuminen. Myöskään tuoreen ylijäämäbetonin rationaaliseen käsittelyyn allasselkeyty ei sellaisenaan sovellu, vaan ylijäämäbetoni joudutaan käsittelemään kovettuneena.

Investointikustannukset

Investointikustannukset muodostuvat pääasiassa altaiden ja pesupaikan puolilämpimän tilan rakentamiskustannuksista suunnitteluineen. Altaiden mitoitus määräytyy ensisijaisesti käyttöperiaatteen (pumppausjärjestelyt) perusteella. Edullisimmillaan altaita on 2 kappaletta, joista ensimmäinen on laaja selkeytysallas ja jälkimmäinen on selkeytyneen veden varastoallas, johon selkeytynyt vesi pumpataan työpäivän alkaessa. Altaiden lisäksi tarvitaan pumput ja putkistot sekä tuorevesipisteet ja hoitotaso pesutyötä varten pesupaikalle. Altaasta tyhjennettävälle kiintoaineelle tarvitaan lisäksi varastoalue. Esimerkkilaskelma joka sisältää betonirakenteisen, ulos sijoitetun ja eristyskannella varustetun kolmesta altaasta

muodostuvan allasrakenteen. Altaiden nestetilavuudet ovat 1 x 75 m³ ja 2 x 30 m³.

- Allasrakennus	50000,-
- Pesupaikan puolilämmin suojarakennus varusteineen (1 pesupaikka)	24000,-
- Pumput, putkistot ja tuorevesipisteet asennuksineen	7500,-
- Autojen ulkopuolisen pesun laitteet ja viemärijärjestelmä (mm öljynerotyskaivo)	4000,-
- Instrumentointi, sähköistys ja ohjeistus	6000,-
Yhteensä	€ 91.500,-

Esimerkkilaskelmassa selkeytysaltaat ja autonpesupaikka ovat sijoitettuna betoniaseman välittömään yhteyteen. Edellä kuvattu järjestelmä soveltuu n. 20000 m³:n vuosituo-

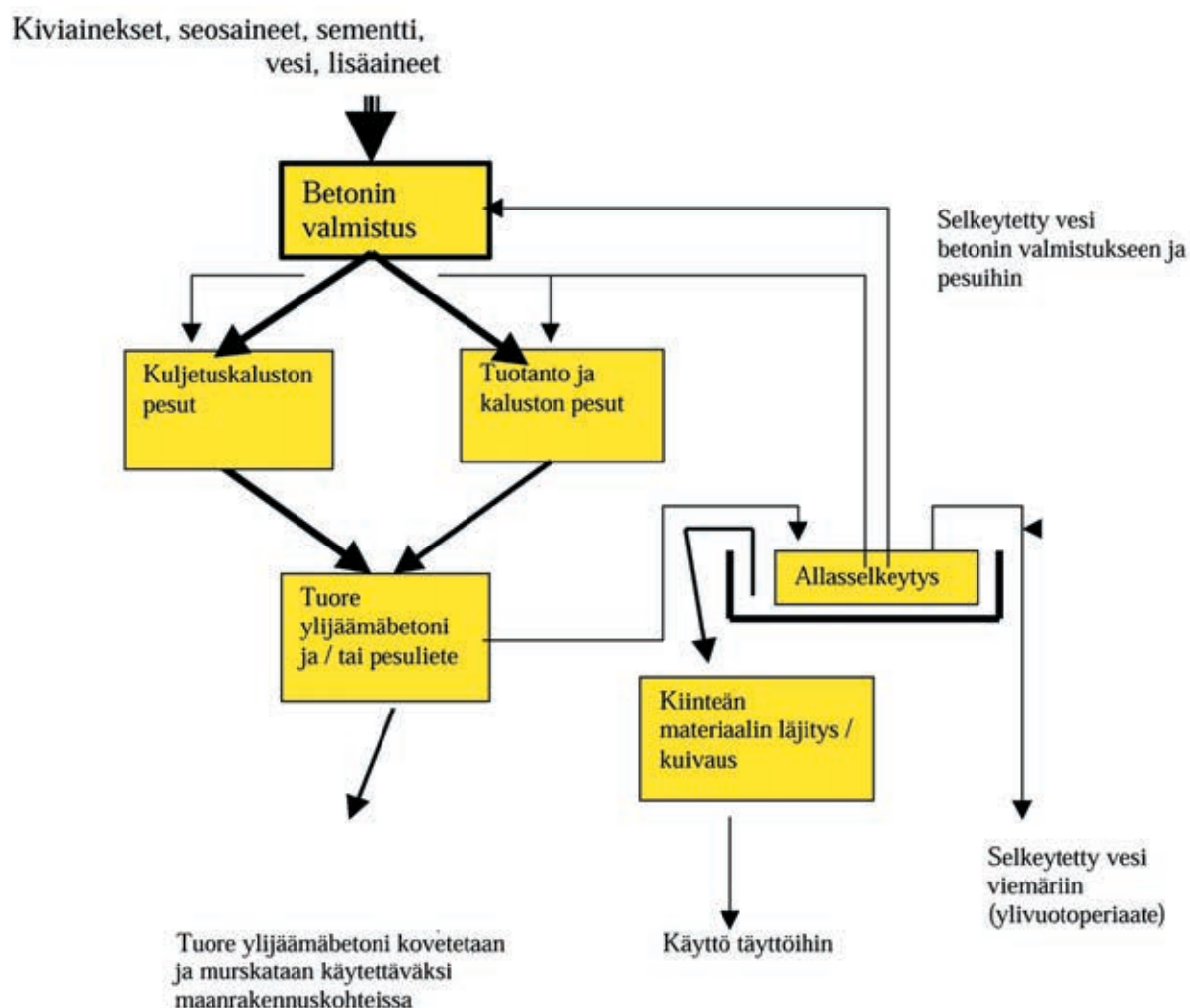
tannon valmisbetoniasemalle. Pienemmän tuotannon tehtaissa altaiden tilavuutta voidaan pienentää, jolloin kustannukset siltä osin pienenevät.

Käyttö- ja huoltokustannukset

Käyttökustannuksissa on huomioitava päivittäinen valvonta ja kierrätysveden laatu-kontrollointi veden käyttökohteesta riippuen. Ensimmäisen altaan tyhjennystyö toistuu 2–4 viikon välein. Pumppujen, putkistojen ja venttiilien huoltotyö on tehtävä vähintään vuosittain.

Kierrätyksen säästöpotentiaali

- pesuveden kierrätys.



Kuva 28. Prosessikaavio allasselekeytyksestä



Kuva 29. Ruuvityyppinen pesuri, laitteistona Klärfix-ruuvipesuri

6.5.2 Allasselkeytykseen pesurilla tehostettuna

Allasselkeytystä voidaan tehostaa yhdistämällä siihen pesulietteen ja tuoreen ylijäämäbetonin käsittelemiseksi pesurilaitteisto. Tässä järjestelyssä kuljetuskaluston ja tuotantokaluston pesuliete sekä ylijäämäbetoni käsitellään pesurissa ennen pesulietteen johtamista ensimmäiseen selkeytysaltaaseen.

Pesureina käytetään joko rumputyyppisiä tai ruuvityyppisiä pesureita, joissa pesulietteen karkeat jakeet, yleensä $> 0,2$ mm, erotellaan pesulietteestä nestepesun ja mekaanisten seularakenteiden ja muun laitteiston avulla. Pesuriin syötetään pesulietteen lisäksi kierrätysvettä ja selkeytettyä vettä loppuvaiheessa tai pelkästään selkeytettyä vettä. Pesureita valmistetaan eri suuruisille tuotantokapasiteeteille. Pesurit toimivat yleensä automaattisesti ohjattuna, jolloin varmistetaan oikeat käyttötavat ja estetään sementin sitoutumisen aiheuttamat juuttumiset liikkuvissa osissa.

Pesurilaitteiston käyttö mahdollistaa karkean kiviaineksen hyötykäytön (kierrätyksen) ja mahdollistaa allaskapasiteetin pienentämisen (tarvitaan pienempi ensimmäinen allas) sekä aikaansaa näin tilansäästöä. Lisäksi pesurin käyttö pienentää olennaisesti altaiden tyhjennystarvetta sekä samalla kierrätykseen sopimattoman materiaalin määrää.

Pesurilaitteisto lisää osittain huoltotyön tarvetta. Pesuri on sijoitettava puolilämpimään tilaan Suomen olosuhteissa.

Investointikustannukset

Investointikustannukset muodostuvat pääasiassa altaiden ja pesupaikan puolilämpimän tilan rakentamiskustannuksista suunnitteluineen sekä pesurilaitteistosta. Altaiden mitoitus määräytyy ensisijaisesti käyttöperiaatteen (pumppausjärjestelyt) perusteella. Edullisimmillaan altaita on 2 kappaletta, joista ensimmäinen on laaja selkeytysallas ja jälkimmäinen on selkeytyneen veden varastoallas, johon selkeytynyt vesi pumpataan työpäivän alkaessa. Laitteisto sisältää lisäksi pumpput ja putkistot sekä tuorevesipisteet ja hoitotason pesutyötä varten pesurin yhteyteen.

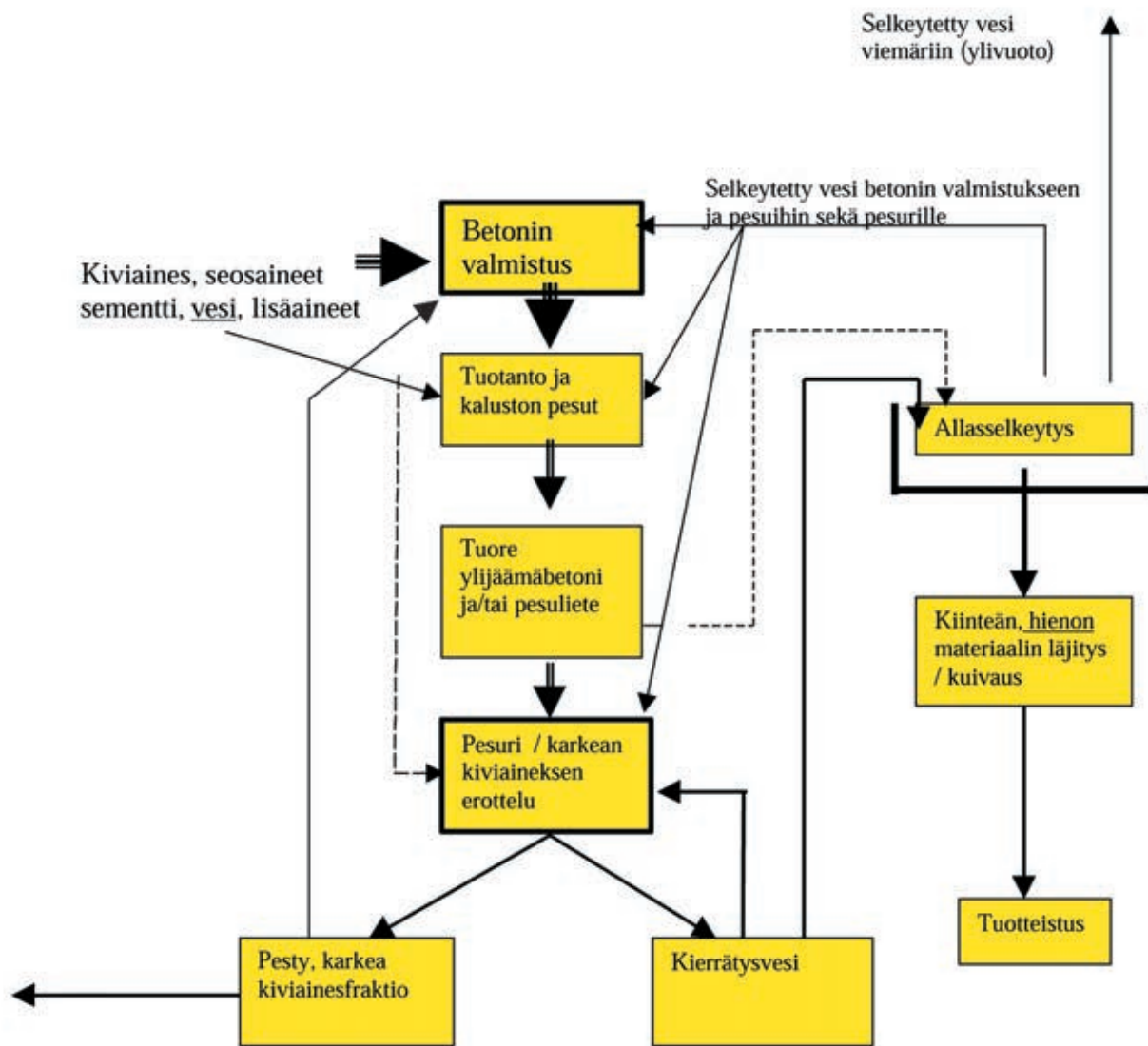
Esimerkkilaskelma, joka sisältää betonirakenteisen, ulos sijoitetun ja eristyskannella varustetun kolmesta altaasta muodostuvan allasrakenteen. Altaiden nestetilavuudet ovat $1 \times 40 \text{ m}^3$ ja $2 \times 30 \text{ m}^3$.

- Allasrakennus	45000,-
- Pesupaikan ja pesurin puolilämmin suojarakennus varusteineen (1 pesupaikka)	28000,-
- Pesurilaitteisto + kiviaineksen siirtokuljetin	40000,-
- Pumput, putkistot ja tuorevesipisteet asennuksineen	10000,-
- Autojen ulkopuolisen pesun laitteet ja viemärijärjestelmä (mm öljynerotyskaivo)	4000,-
- Instrumentointi, sähköistys ja ohjeistus	10000,-
Yhteensä	€ 137.000,-

Esimerkkilaskelmassa selkeytysaltaat ja autonpesupaikka sekä pesuri ovat sijoitettuna betoniaseman välittömään yhteyteen. Edellä kuvattu järjestelmä soveltuu n. 20000 m^3 :n vuosituotannon valmisbetoniasemalle.

Käyttö- ja huoltokustannukset

Käyttökustannuksissa on huomioitava päivittäinen valvonta ja kierrätysveden laatu- ja sekoitusvalvonta veden käyttökohteesta riippuen.



Kuva 30. Prosessikaavio pesurilla tehostetusta allasselkeytyksestä

Ensimmäisen altaan tyhjennystyö toistetaan 6–8 viikon välein. Pesurin, pumppujen, putkistojen ja venttiilien huoltotyö on tehtävä vähintään vuosittain.

Kierrätyksen säästöpotentiaali:

- Pesuveden kierrätys
- Karkean kiviaineksen hyötykäyttö betonin raaka-aineena tai maanrakennusmateriaalina

6.5.3 Kierrätysveden ja pestyn karkean kiviaineksen kierrätys betoninvalmistukseen

Tässä kierrätysprosessissa pesulietettä ei pyritä selkeyttämään, vaan se jaetaan kahteen eriluonteiseen komponenttiin, jotka syötetään mahdollisimman homogeenisina takaisin betoniasemalle betoninvalmistuksen raaka-aineina. Prosessi soveltuu erityisen hyvin valmisbetonitehtaisiin ja muihin keskisuuren ja suuren kapasiteetin betoniasemiin.



Prosessin avainlaitteet ovat pesulietteen pesurilaitteisto, kierrätysvesialtaat (1 tai 2 kpl), kierrätysvesialtaiden potkurisekoittimet ja kierrätysveden pumppaus sekä annostelulaitteet putkistoihin, venttiileihin ja huuhtelujärjestelmään. Lisäksi betoniaseman ohjausjärjestelmän ja ohjelmiston osalta edellytetään valmiuksia ja soveltuvuutta lisätoimintoihin. Prosessin käyttö edellyttää lisäksi henkilökunnalta laatuasioiden hyvää hallintaa sekä perehtymistä betonin suhteutusasioihin ja standardeihin. Laitteistot sijoitetaan puolilämpimään tilaan, yleensä betoniaseman alatasolle. Altaat ovat yleensä lattiapinnan alapuolella, jolloin säästetään tilaa ja maalämpö huolehtii riittävästä lämpökapasiteetista.

Prosessissa suoritetaan kuljetuskaluston pesu pääasiassa kierrätysvedellä. Pesun loppuhuuhdeltu voidaan suorittaa pienellä määrällä vesijohtovettä. Pesuliete johdetaan pesurilaitteistoon (rumpu- tai ruuvipesuri), jossa karkeat jakeet ($> 0,2$ mm) pestään ja erotellaan pois. Kierrätysvesi johdetaan sekoittimella varustettuun säiliöön tai säiliöihin, jossa sekoitin jaksottaisella pyörinnällä pitää kierrätysveden mahdollisimman homogeenisena (estää painovoimaisen selkeytymisen) ja samalla pitää kierrätysveden liikkeessä ja juoksevana. Säiliöt ovat yleensä (poikkeuksetta) muodoltaan nelikulmion muotoisia, jolloin nurkkien vaikutus yhdessä sekoitinsiipien liikkeen kanssa aikaansaa tarvittavan pyörrevirtauksen. Säiliöiden nurkkiin pyrkii kuitenkin kasaantumaan kovettunutta materiaalia, joka poistetaan yleensä vuosihuoltojen yhteydessä. Tyypillisesti kierrätysvesisäiliön mitat ovat $5\text{ m} \times 5\text{ m} \times 5\text{ m}$, jolloin nestetilavuus on n. 100 m^3 huomioiden täyttöaste. Kierrätysveden pH-arvo on yleensä korkea (11–12), joka on syytä huomioida pesujen ja huoltotöiden työturvallisuusnäkökohtana.

Kierrätysveden tiheys säiliössä vaihtelee pesukuormituksen ja tehtaan tuotantovaihteluiden mukaisesti. Tiheyttä mitataan joko säännöllisellä näytteenotolla tai on-line-mittauksella. Hallittu kierrätysveden annostelutarkkuus edellyttää tiheysarvon tuntemista.

Tarvittaessa voidaan kierrätysveden tiheyttä pienentää vedenlisäyksellä, mikäli allaskapasiteetti sen mahdollistaa. Toisena vaihtoehtona on hienon kiintoaineen poistaminen kierrätysvedestä joko sivuvirtaukseen sijoitettavalla märkäsyklonilla tai käyttämällä suotopuristinta. Jälkimmäinen ratkaisu on investointi- ja käyttökustannuksiltaan selvästi kalliimpi, mutta poistettu kiintoaines on paremmin käsiteltävässä muodossa kuljetusta varten. Normaalisti kierrätysveden tiheys pystytään hallitsemaan, kun altaiden mitoituksessa ja prosessin käytössä varaudutaan poikkeustilanteisiin.

Pesty karkea kiviaines voidaan syöttää betonivalmistukseen joko yhtenä sekafraktiona tai seulottuna haluttuihin fraktioihin. Talviaikana on huolehdittava kiviaineksen jäätyminen estämisestä, mikä tapahtuu edullisimmin siilolämmityksen avulla. Pestyn kiviaineksen vaihtoehtoinen hyötykäyttö on maanrakennuskohteissa.

Kierrätysveden käytöllä pystytään vähentämään hienoaineen kulutusta ja välttämään pesulietteen kiintoaineen jatkokäsittely ja sijoitustarpeelta. Normaaliolosuhteissa ja tilanteissa prosessi mahdollistaa nk. suljetun kierron.

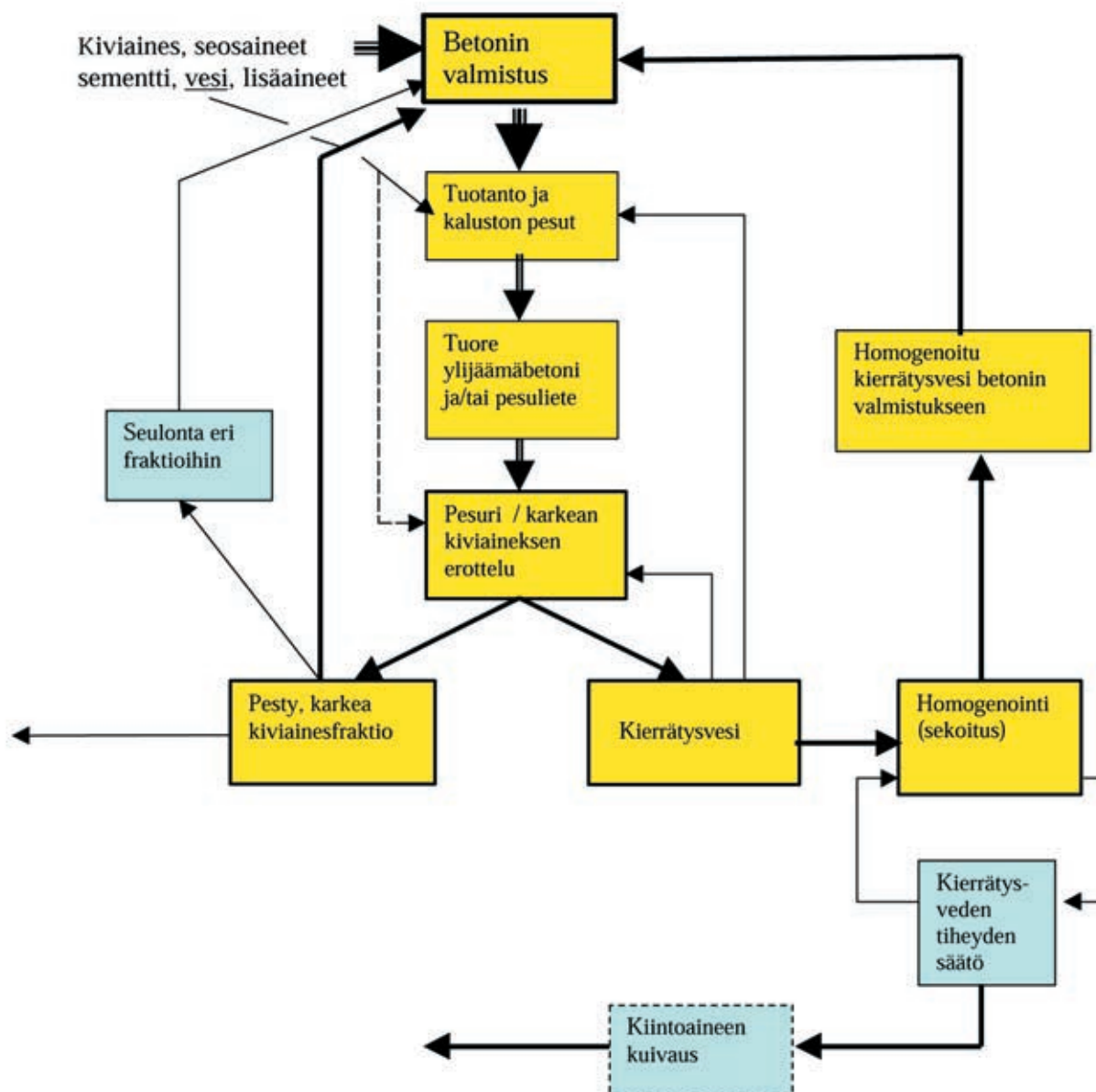
Investointikustannukset

Investointikustannukset muodostuvat pääasiassa altaiden ja pesupaikan puolilämpimän tilan rakentamiskustannuksista suunnitteluineen sekä laitteistosta, johon kuuluu pesuri, kierrätysvesialtaiden potkurisekoittimet, pestyn kiviaineksen kuljettimet (tyypillisesti hihnakuljetin) ja kierrätysvesijärjestelmän putkistot, pumpput ja annostelulaitteet ohjelmistoihin betoniaseman ohjausjärjestelmään liitettynä. Altaiden ja laitteiden mitoituksessa on huomioitava se, että kuljetuskaluston pesut ajoittuvat lyhyelle aikajaksolle työpäivän loppuun. Tuorevesipisteet ja hoitotasot tarvitaan pesupaikalle. Pestyn kiviaineksen seulontalaitteisto ja kierrätysveden tiheydensäätölaitteisto ovat optioita.

Esimerkkilaskelma 40 000–50 000 m³:n vuosituotantoa valmistavan valmisbetoniase-
man kierrätysjärjestelmän investoinnista:

- 2 kpl betonirakenteisia kierrätys-
vesialtaita (2 x 80 m³) 40000,-
- 2 kpl altaiden potkurisekoittimia
ja kansirakenteita (ritilätasot) 15000,-
- Pesupaikan ja pesurin puolilämmin
suojarakennus varusteineen
(2 pesupaikkaa) 32000,-

- Pesurilaitteisto + kiviaineksen
siirtokuljetin 60000,-
- Pumput, putkistot ja tuorevesi-
pisteet asennuksineen 18000,-
- Autojen ulkopuolisen pesun
laitteet ja viemärijärjestelmä
(mm öljynerotyskaivo) 6000,-
- Instrumentointi, sähköistys ja
ohjeistus 13000,-
- Yhteensä € 184.000,-**



Kuva 31. Prosessikaavio kierrätysveden ja pestyn karkean kiviaineksen kierrätyksestä takaisin betoninvalmistukseen (Suuren / keski-suuren valmisbetonitehtaan tyyppiratkaisu). (Siniset laatikot edustavat perusprosessin mahdollisia täydennyksiä)



Käyttö- ja huoltokustannukset

Käyttökustannuksissa on huomioitava päivittäinen valvonta ja kierrätysveden laatukontrollointi. Lisäksi on huolehdittava laitteiston käyttökoulutuksesta kuljettajien osalta. Pesurin, pumppujen, putkistojen ja venttiilien huoltotyö sekä kiertovesialtaiden huoltopuhdistus on tehtävä yleensä vähintään vuosittain.

Kierrätyksen säästöpotentiaali:

- Pesuveden kierrätys
- Hienoaineksen säästö
- Karkean kiviaineksen säästö / pestyn kiviaineksen hyötykäyttö betonin raaka-aineena tai maanrakennusmateriaalina
- Säästöt käsittely- kuljetus- ja kaatopaikkamaksuissa (kiinteän sivutuotemateriaalin osalta ei synny poiskuljetustarvetta)
- Säästö tehdasalueen varastotilan tarpeen osalta (lajitysaluetta ei tarvita)

6.5.4 Selkeytetyn veden ja karkean kiviaineksen kierrätys, hienoaines erotetaan kierrätysprosessista (Esim ontelolaatta-tehtaan tai hiontalinnan kierrätysratkaisu)

Tämä kierrätysprosessi soveltuu tehtaille, joissa tuotannossa syntyy suuri määrä hienojakoista betonilietettä esimerkiksi työstön (sahausta tai hiontaa) seurauksena. Tyypillisesti hienoainemäärä on ylisuuri tuotettavaan betonimäärään nähden, jolloin betonilietettä ei voida hyödyntää betonin raaka-aineena tai betonivalmistuksessa halutaan käyttää vain neitseellisiä hienoainesmateriaaleja esimerkiksi väriin liittyvistä laatutekijöistä johtuen. Tyypillisesti myös prosessissa käytettävä vesimäärä on suuri, jolloin veden selkeytys ja kierrätys ovat taloudellisesti merkittävässä roolissa.

Suuresta vesimäärästä ja hienoainemäärästä johtuen selkeytysprosessin teho on kriittinen

tekijä tässä prosessissa. Tämänäyttöisissä prosesseissa käytetään tehokkaita pystyselkeyttimiä, joissa selkeytystä tehostetaan kemikaalien avulla. Prosessin avainlaitteet ovat lietteen keräilyjärjestelmä (kanaalit, putkistot, siirtopumput), pesuri ja / tai seulalaitteisto karkeiden jakeiden erotteluniseksi (>2 – 4 mm), selkeytystorni oheislaitteineen ja suotopuristinlaitteisto selkeyttimessä erotellun betonilietteen kuivaamiseksi.

Prosessin päätoiminto on kierrätettävän veden selkeytys. Pesulietteet ja työstölietteet (sahausliete tai hiontaliete) kootaan kanaaleiden avulla yhdeksi betonilietevirraksi, joka ensimmäisessä vaiheessa johdetaan joko seulalaitteistolle tai pesurilaitteistolle. Kanaaleissa voidaan käyttää kolakuljettimia, jolloin prosessin toiminta tehostuu ja vältetään kanaaleiden manuaaliselta puhdistustyöltä. Karkeat jakeet erotellaan lietevirrasta seulalla tai pesurilla. Pesty karkea kiviaines voidaan syöttää betonivalmistukseen joko yhtenä sekafraktionä tai seulottuna haluttuihin fraktioihin. Talviaikana on huolehdittava kiviaineksen jäätyneen estämisestä, edullisimmin siiloissa tapahtuvan lämmityksen avulla. Pestyn kiviaineksen vaihtoehtoinen hyötykäyttö on maanrakennuskohteissa.

Hienoainesliete pumpataan homogenointisäiliön (sekoitussäiliön) kautta pystyselkeyttimeen. Menoputkessa virtaukseen sekoitetaan flokkulointikemikaalia, joka tehostaa tornissa tapahtuvaa selkeytystä. Betonilietepartikkelit painuvat selkeyttimen pohjakartioon, josta betoniliete pumpataan eräsyöttönä suotopuristimelle jatkokäsittelyyn. Suotopuristimessa betonilietteestä poistetaan vesi mahdollisimman tehokkaasti, jonka jälkeen betoniliete on käsiteltävissä kiintoaineena. Puristimessa poistettu vesi palautetaan homogenointisäiliön kautta selkeytysprosessiin.

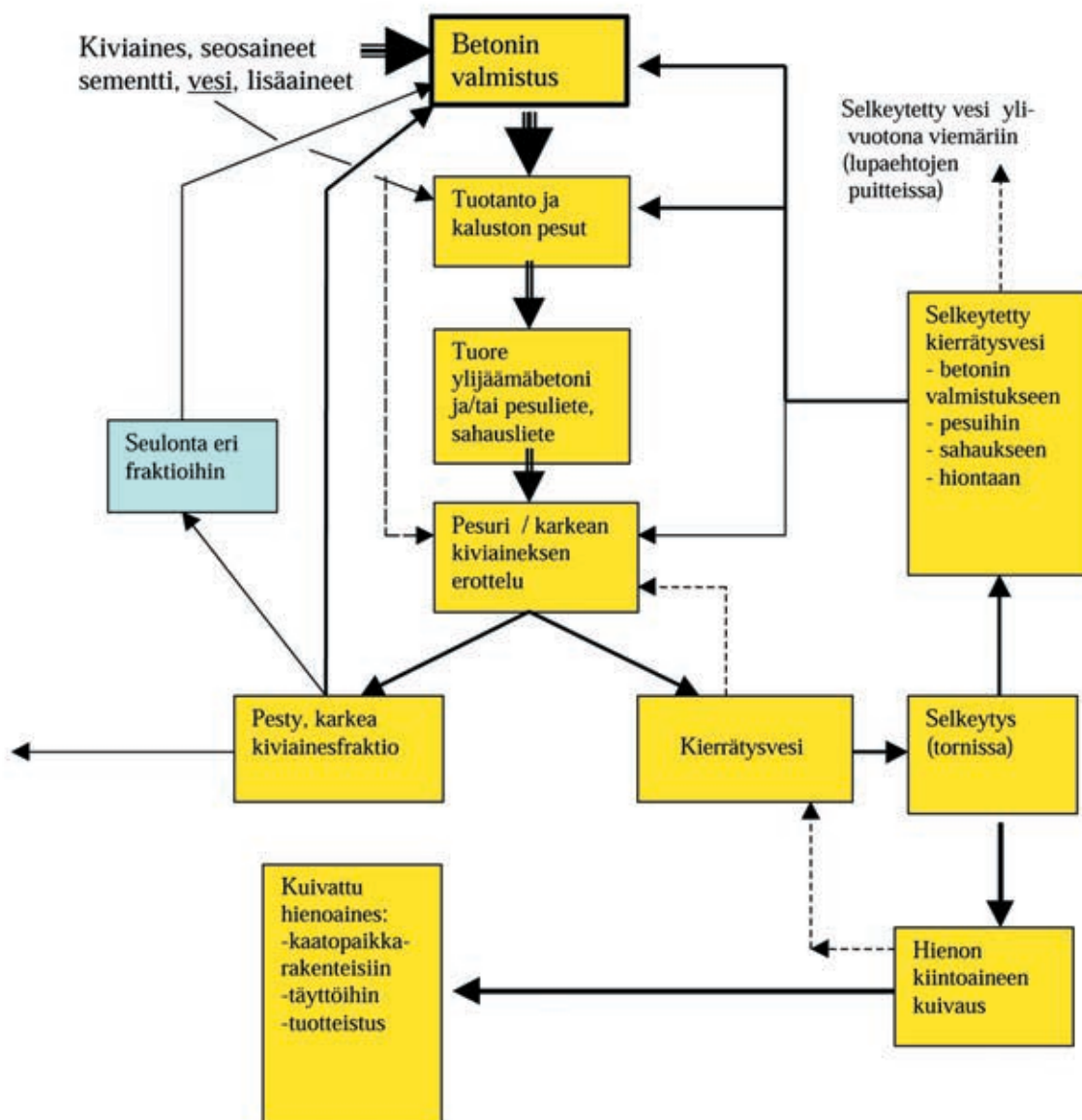
Pystyselkeyttimen yläosasta johdetaan selkeytetty vesi ylivirtauksena varastosäiliöön ja pumpataan sieltä edelleen takaisin tehtaan prosessiin käytettäväksi halutuissa kohteissa. Kierrätysveden osalta on huomioitava korkea pH-arvo. Lisäprosessilla pH-arvo on neutraloitavissa halutulle tasolle.

Investointikustannukset

Investointikustannukset muodostuvat pääasiassa betonilietteen keräysjärjestelmän laitteiden (kanaaleiden kuljettimet, putkistot, pesuri/seula) ja selkeytyslaitteiston hankinnasta sekä selkeytyslaitteiston suojarakennuksesta. Laitteet on sijoitettava puolilämpimään tilaan. Rakennusteknisten töiden osuus on tyypillisesti n. 50 prosenttia kokonaisinvestoinnista.

Esimerkkikohteena on suuri ontelolaattatehdas, jossa betonilietteen käsittelyyn investoidaan kierrätysveden selkeytyslaitteisto. Tehaan betonituotanto on 70 000–80 000 m³/a. Käsiteltävä (selkeytettävä) vesimäärä on n. 35–40 m³/d, mikä muodostuu pääasiassa sahausvedestä ja vastaa määrältään n. 70–80 prosenttia betoninvalmistukseen tarvittavasta vesimäärästä. Selkeytetty vesi pystytään tässä prosessissa käyttämään kokonaisuudessaan betonin valmistukseen. Kierrätysvedestä poistettava kiintoaine tuoteistetaan

Selkeytetyn kierrätysveden ja karkean kiviaineksen kierrätys betonin valmistukseen, hienoaines erotetaan kierrätysprosessista



Kuva 32. Prosessikaavio ontelolaattatehtaan / hiontalinjan betonilietteen käsittelyprosessista (Suuren tehtaan tyyppiratkaisu)



tai käytetään täyttökohteisiin murskattavan kovettuneen betonin yhteydessä.

Esimerkkikohteen laitteisto koostuu seuraavista laitekokonaisuuksista:

- betonilietekanaalin kolakuljetin (hallin yhdessä päässä)
- ruuvipesuri (pieni kapasiteettinen) karkeiden jakeiden erottelemiseksi
- pystyselkeytin putkistoiheen, pumppuineen ja sekoitussäiliöineen
- suotopuristin
- selkeytetyn veden säiliöt ja putkistot pumppuineen

Selkeytyslaitteisto sijoitetaan erilliseen lämpimään lisärakennukseen.

Kokonaisinvestointi on n. 0,9–1 milj. €

Käyttö- ja huoltokustannukset

Käyttökustannuksissa on huomioitava päivittäinen valvonta ja kierrätysveden laatukontrollointi. Lisäksi on huolehdittava laitteiston käyttökoulutuksesta. Betonilietteen keräys ja kuljetinlaitteiston, selkeytyslaitteiston, pumppujen, putkistojen ja venttiilien huoltotyö sekä huoltopuhdistus on tehtävä säännöllisin väliajoin.

Kierrätyksen säästöpotentiaali:

- Sahaus- / hiontaveden kierrätys
- Karkean kiviaineksen säästö / pestyn kiviaineksen hyötykäyttö betonin raaka-aineena tai maanrakennusmateriaalina (pieni määrä)
- Säästöt tuotannon sivumateriaalivirtojen käsittelykustannuksissa ja tuotantokatkojen sekä työtapaturmien vähentämisen kautta, säästöt siivouskustannuksissa. (Betonilietteen rationaalinen käsittely tuotannossa)

6.5.5 Suljettu kierto

Tämä kierrätysprosessi soveltuu tehtaille, joissa tuotannossa syntyy suuri määrä hienojakoista betonilietettä työstön (sahaus

tai hionta) seurauksena. Tehtaan kokonaistuotannon betonimäärä on oltava riittävän suuri, jotta hienoainesmäärä pystytään hyödyntämään betonivalmistuksessa. Tyypillisesti myös tuotantoprosessissa käytettävä vesimäärä on suuri, jolloin veden selkeytys ja kierrätys ovat taloudellisesti merkittävässä roolissa.

Suuresta vesimäärästä ja hienoainesmäärästä johtuen selkeytysprosessin teho on kriittinen tekijä tässä prosessissa. Siitä syystä käytetään tehokkaita pystyselkeyttimiä, joissa selkeytystä tehostetaan kemikaalien avulla. Prosessin avainlaitteet ovat betonilietteen keräilyjärjestelmä (kanaalit, putkistot, siirtopumput), pesuri ja / tai seula-laitteisto karkeiden jakeiden erottelemiseksi (>2 – 4 mm), selkeytystorni oheislaitteineen ja kierrätysvedestä erotetun betonilietteen homogenointi- ja syöttöjärjestelmä.

Prosessin päätoiminnot ovat kierrätettävän veden selkeytys ja erotetun betonilietteen jatkokäsittely betoniasemalla käytettävissä olevaan muotoon. Pesulietteen ja työstölietteet (sahaus- tai hiontaliete) kootaan kanaaleiden avulla yhdeksi betonilietevirraksi, joka ensimmäisessä vaiheessa johdetaan joko seulalaitteistolle tai pesurilaitteistolle. Kanaaleissa voidaan käyttää kolakuljettimia, jolloin prosessin toiminta tehostuu ja vältetään kanaaleiden manuaaliselta puhdistustyöltä. Karkeat jakeet erotellaan lietevirrasta seulalla tai pesurilla. Pesty karkea kiviaines voidaan syöttää betonivalmistukseen joko yhtenä sekafraktionä tai seulottuna haluttuihin fraktioihin. Talvikaikana on huolehdittava kiviaineksen jäätymisen estämisestä, edullisimmin siloissa tapahtuvan lämmityksen avulla. Pestyn kiviaineksen vaihtoehtoinen hyötykäyttö on maanrakennuskohteissa.

Hienoainesliete pumpataan homogenointisäiliön (sekoitussäiliön) kautta pystyselkeytimeen. Menoputkessa virtaukseen sekoitetaan flokkulointikemikaalia, joka tehostaa tornissa tapahtuvaa selkeytystä. Betonilietepartikkelit painuvat selkeyttimen pohjakartioon, josta betoniliete pumpataan jatkokäsittelyyn toiseen homogenointisäiliöön.

Toisesta homogenointisäiliöstä betoniliete pumpataan betoniasemalle haluttuina annoksina ja halutussa tiheydessä.

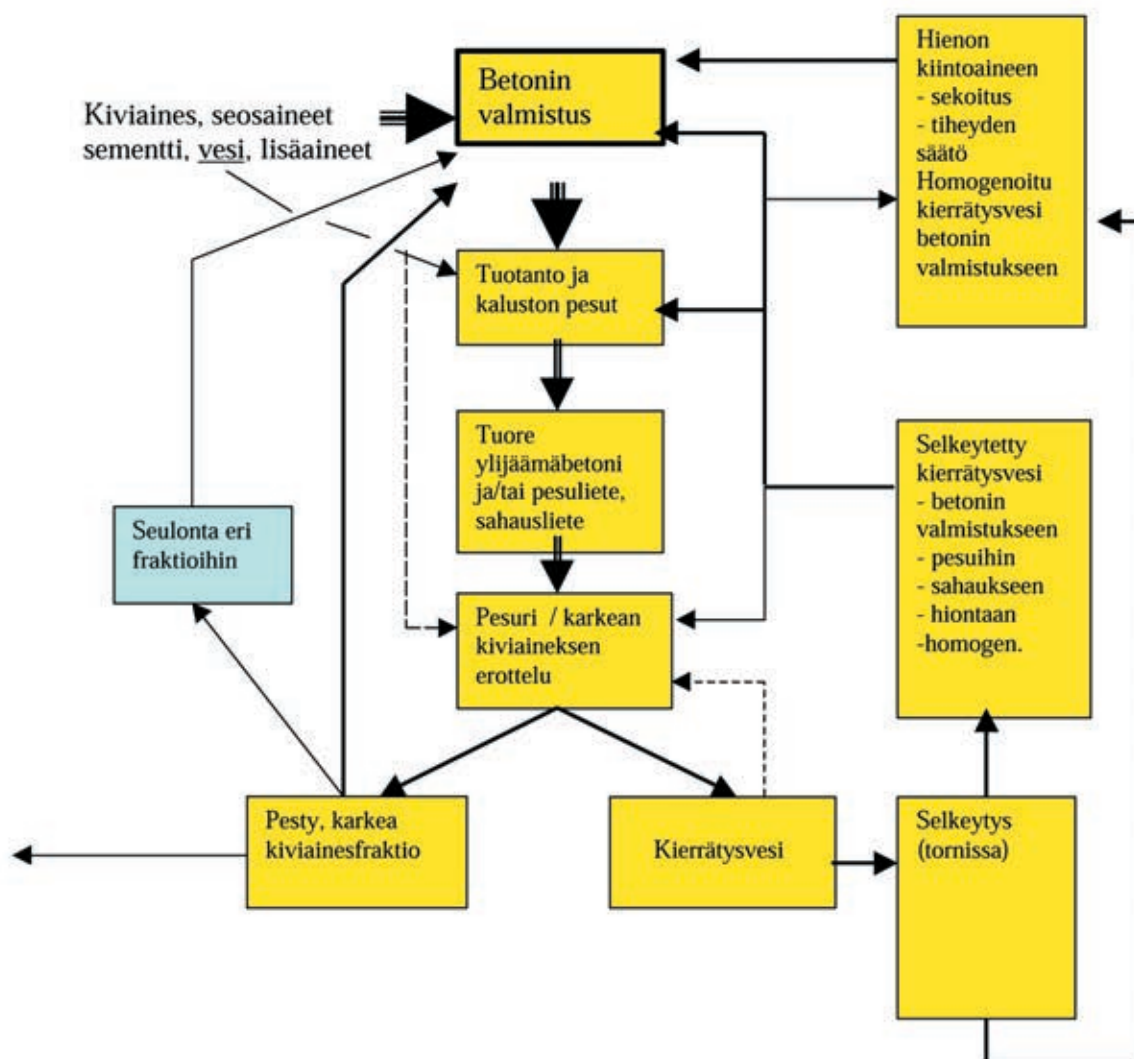
Pystyselkeyttimen yläosasta johdetaan selkeytetty vesi ylivirtauksena varastosäiliöön ja pumpataan sieltä edelleen takaisin tehtaan prosessiin käytettäväksi halutuissa kohteissa. Kierrätysveden osalta on huomioitava korkea pH-arvo. Lisäprosessilla pH-arvo on neutraloitavissa halutulle tasolle.

Tällä prosessilla on saavutettavissa suljettu kierto tehtaan liete-prosessiin.

Investointikustannukset

Investointikustannukset muodostuvat pääasiassa betonilietteen keräysjärjestelmän laitteiden (kanaaleiden kuljettimet, putkistot, pesuri / seula) ja selkeytyslaitteiston hankinnasta sekä selkeytyslaitteiston suojarakennuksesta. Laitteet on sijoitettava puolilämpimään tilaan. Rakennusteknisten töiden osuus on tyypillisesti n. 50 prosenttia kokonaisinvestoinnista. Edelliseen prosessivaihtoehtoon nähden betonilietteen kuivaamiseen käytettävä suotopuristin jää pois mutta sen tilalle tarvitaan betonilietteen sekoitukseen ja homogenointiin tarvittava laitteisto sekä betonilietteen siirto- ja annos-

Selkeytetyn kierrätysveden ja karkean sekä hienon kiviaineksen kierrätys



Kuva 33. Prosessikaavio suljetusta kierrosta (Suuren tehtaan tyyppiratkaisu)



telulaitteisto betonilietteen syöttämiseksi betoniasemalle, joten investointikustannuksissa ei ole merkittävää eroa. Suljetun kierron osalta säästöpotentiaali on selvästi suurempi kuin edellisessä vaihtoehdossa.

Käyttö- ja huoltokustannukset

Käyttökustannuksissa on huomioitava päivittäinen valvonta ja kierrätysveden sekä betonilietteen laatuvalvonta. Lisäksi on huolehdittava laitteiston käyttökoulutuksesta. Betonilietteen keräys- ja kuljetinlaitteiston, selkeytyslaitteiston, pumppujen, putkistojen ja venttiilien huoltotyö sekä huoltopuhdistus on tehtävä yleensä säännöllisin väliajoin.

Kierrätyksen säästöpotentiaali:

- Sahaus- / hiontaveden kierrätys
- Karkean kiviaineksen säästö / pestyn kiviaineksen hyötykäyttö betonin raaka-aineena tai maanrakennusmateriaalina (pieni määrä)
- Säästöt tuotannon sivumateriaalivirtojen käsittelykustannuksissa ja tuotantokatkojen sekä työtapaturmien vähentämisen kautta, säästöt siivouskustannuksissa. (Betonilietteen rationaalinen käsittely tuotannossa)
- Säästöt hienoaineksen kierrätyksestä.
- Säästöt käsittely- kuljetus- ja kaatopaikkamaksuissa (kiinteän sivutuotemateriaalin osalta ei synny poiskuljetustarvetta)
- Säästö tehdasalueen varastotilan tarpeen osalta (lajitysaluetta ei tarvita)

6.5.6 Täydentävät prosessit

Teräskuitujen erottelu

Teräskuidut pystytään erottelamaan pestystä karkeasta kiviaineksesta magneettirummun avulla. Kuituja sisältävä, pesurilta tuleva pestyn kiviaineksen virta ohjataan kulke-



Kuva 34. Teräskuitujen erottelu magneettirummulla

maan magneettirummun kautta. Rumpu erottelee ferriittiset teräskuidut erilleen.

Kevyiden kiviainesten ja partikkeleiden erottelu

Kevytsorajakeet ja EPS-partikkelit voidaan erotella betonilietevirrasta hyödyntämällä niiden kellumisominaisuutta. Virtauskanavaan järjestetään pintaseula, joka kerää virtauksen pinnalla kulkeutuvat partikkelit erilleen. Seulan tyhjennys ja puhdistus on tehtävä helpokäyttöiseksi.

Esiselkeyttimet

Betonilietekanaaleihin johdettavan kiintoaineen määrää pystytään pienentämään käyttämällä pesukohteissa esiselkeyttämiä. Tyyppillinen esiselkeytin on kaksoisastia, jossa on kaksi sisäkkäistä astiaa. Pesuliete ohjataan sisempään astiaan, jonka pohjalle raskaat partikkelit painuvat. Vesi virtaa ylijooksuna sisemmän astian reunan ylitse ulompaan astiaan, joka on yhteydessä virtauskanaaliin. Sisempi astia tyhjenetään siirtolavalle aina sen täyttyessä.



6.6 Laitetoimittajia

Laitetoimittajien yhteystiedot

Geco GmbH, Saksa www.geco.biz
 www.geco-online.de

Edustaja Suomessa:

Semtu Oy: www.semtu.fi

Klärfix GmbH www.klaerfix.de

Edustaja Suomessa:

Baumaschinen / Pertti Salo

baumaschinen.salo@phnet.fi

Fraccaroli & Balzan:

www.fraccarolibalzan.it

Edustaja Suomessa: Orsimex Ky:

www.orsimex.fi

Simem: www.simem.com

Ei edustajaa Suomessa

Bibko: www.bibko.com

Ei edustajaa Suomessa

Liebherr: www.liebherr.de

Edustaja Suomessa (pumpuille):

www.puwimex.fi

Oy Elematic Ab www.elematic.com

Oy Galvatek Ab www.galvatek.fi

Larox Oyj www.larox.fi

Steel-Kamet Oy www.steelkamet.fi

Tecwill Oy www.tecwill.com



7 MURSKATUN BETONIN UUSIOKÄYTTÖ

7.1. Käyttö betonin kiviaineksena

7.1.1 Yleistä

Suomessa kaikesta kiviaineksesta suurin osa (n. 95 %) käytetään maarakentamiseen. Näin ollen myös betonimurskeen potentiaalisin käyttökohde Suomessa on maarakennus. Useissa maissa infrastuktuurin nopean ajanmukaistamisen tai laajamittaisen rakennusten uusimistarpeen sekä toisaalta purkumateriaalin kasvavien sijoitusongelmien vuoksi tilanne on kuitenkin jo toinen. Uusiokiviainekseksi soveltuvan osin korkealujuuksisen materiaalin saatavuus ja tarve sen käyttöön myös betonin osa-aineena on kaikkiaan kasvussa. Yksittäisen betoninvalmistajan on myös Suomessa mahdollista saavuttaa säästöjä kierrättämällä kovettunut hylkybetoni takaisin omaan tuotantoon.

Suomessa betonimurskeen käyttöä ja vaikutusta betonin ominaisuuksiin ei ole tutkittu laajalti. Kaikkiaan tutkimusta on kuitenkin tehty jo 30 vuotta ja tehdään edelleen paljon. Uusille betonirakenteille asetettavat tarkat lujuus- ja säilyvyysvaatimukset ovat lisänneet tutkimuksen tarvetta. Uusimmissa tutkimuksissa säilyvyysnäkökohdat otetaan aina huomioon. Tutkimustulosten soveltaminen käytäntöön ja yleinen ohjeistus on todettu melko vaikeaksi. [Kasai 2004, Levy & Helene 2004, Poon et al. 2004 A & 2004 B, Nagataki et al. 2004, Topcu & Sengel 2004, Shayan & Xu 2003, Katz 2003, Otzuki et al. 2003, Ajdukiewicz & Kliszczewicz 2002]

Betonimurskeen käyttö on suhteellisen helppoa silloin, kun se valmistetaan lujuudeltaan ja ominaisuuksiltaan hyvästä ja tasalaatuisesta lähdemateriaalista. Tällaisia voivat olla purettavat sillat ja muut lujat tai

erikoislujat kantavat rakenteet sekä elementtien tuotannossa syntyvä ominaisuuksiltaan tunnettu, laadukas ja tasalaatuisena pysyvä hylkymateriaali. Jos uusiokiviainesta käytetään tällöin 10–30 % koko kiviaineksesta, betonin perusominaisuudet eivät merkittävästi muutu. Valmistettavan betonin säilyvyyteen tulee kuitenkin kiinnittää huomiota, koska betonimurskeen vaikutusta siihen ei tunnetta riittävän hyvin. Betonimurskeen käyttöä on ohjeistuksissa suunnattu lievimpien rasitusolosuhteiden betoneihin (ks. kohta 7.1.5). Tietyissä tapauksissa ja käyttökohteissa on mahdollista korvata koko kiviaines betonimurskeella.

7.1.2 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 %).

Betonimurskeen vedenimu on yleensä 5–10-kertainen luonnonkiviainekseen verrattuna. Karkealla aineksella se on yleensä 5–6 % ja hienolla 9–10 %. Vedenimu voi kuitenkin olla vähäisempääkin, jos betonimurskeen laastiosuus on pieni tai se on erityisen tiivistä. Vielä massan sekoittamisen jälkeen jatkuva uusiokiviaineksen vedenimu aiheuttaa normaalia nopeamman työstettävyyden menetyksen. Uusiokiviaineksen tasainen esikastelu parantaa sen käytettävyyttä. Optimaalisen kosteuspitoisuuden aikaansaaminen vaatii kuitenkin erityisjärjestelyjä ja on todettu käytännössä melko vaikeaksi. Liiallinen tai hallitsematon kastelu aiheuttaa ongelmia eikä ole suositeltavaa. Kosteuspitoisuuden (uunikuiva/ilmakuiva/kyllästetty pintakuiva) on todettu olevan suhteessa



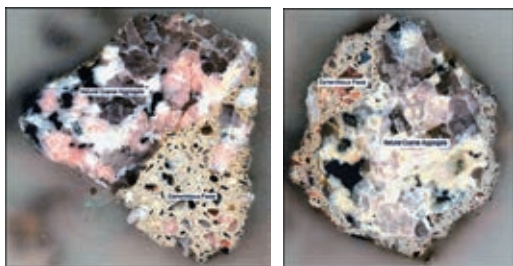
muodostuvan sementtipasta-kiviainesrajan pinnan lujuuteen ja edelleen betonin lujuuteen. [Poon et al. 2004A]

Betonimursketta käytettäessä on kannattavaa hakea optimaalinen massan valmistustapa eli osa- ja lisäaineiden lisäysjärjestys ja sopiva sekoitusaika kussakin vaiheessa [Shayan & Xu 2003]. Niin kutsutun kaksivaiheisen sekoituksen käyttö on perusteltua lujuuden kasvattamiseksi. Tässä sekoitustavassa, jossa koko vesimäärä ei lisätä samanaikaisesti, transitiovyöhykkeet muodostuvat tavallista tiiviimmiksi. Tällä on merkitystä erityisesti vesi-sideainesuhteen ollessa suuri, koska sekä betonin lujuutta että tiiviytttä voidaan näin lisätä. [Otsuki et al. 2003]

Hienon alle 2 mm:n tai alle 4 mm:n betonimurskeen määrää joudutaan rajoittamaan (ks. kohta 7.1.5). Sen on yleisesti todettu huonontavan sekä betonimassan että kovettuneen betonin ominaisuuksia.

7.1.3 Kovettuneen betonin ominaisuudet

Betonimurskeen vaikutus valmistettavan betonin ominaisuuksiin on suhteessa siihen, kuinka lujasta betonista se on lähtöisin ja kuinka suuri sen laastiosuus on (ks. kuva 35). Betonimurskeen laastiosuuden määrään vaikuttaa oleellisesti käytetty prosessointimenetelmä. Murskeen hienoainemäärä sekä sen mahdollisesti sisältämät vieraat



Kuva 35. Betonimurskeen poikkileikkauspinnat, joissa laasti- ja luonnonkiviainesosuudet ovat eri suuruisia ja tämän vuoksi myös murskeen ominaisuudet erilaiset (tiheys, vedenabsorptio, laastiosuuden mahdollisesti sisältämät haitalliset aineet). www.housingauthority.gov.hk/en/businesspartners/ura/0,,,00.html#10475

tai haitalliset aineet vaikuttavat myös sen käyttöominaisuuksiin ja -mahdollisuuksiin. Murske ei saa sisältää liikaa betonin kannalta haitallisia aineita kuten laastiosuuteen kertyneitä klorideja. Valmistettavan betonin ominaisuudet ovat yleensä suhteessa siihen, kuinka suuri osuus luonnonkiviaineksesta betonimurskeella korvataan.

Mekaaniset ominaisuudet

Lujasta betonista voidaan valmistaa laadukasta betonimursketta, jolloin sen osuuden ollessa alle 20–30 % koko kiviaineksesta, vaikutus valmistettavan betonin mekaanisiin ominaisuuksiin on vähäinen. Hyvälaatuinen betonimurske ei sisällä suurta osuutta rakeisuudeltaan alle 4 mm:n ainesta ja pienen laastiosuuden vuoksi sen tiheys on suuri ja vedenabsorptio lähes yhtä pieni kuin luonnonkiviaineksella. Korkealujuusbetonista valmistettua betonimursketta käyttäen on mahdollista valmistaa betonia, jonka lujuus on erityisesti myöhemmässä iässä jopa suurempi kuin luonnonkiviainesta käytettäessä.

Yleisesti betonimurske soveltuu parhaiten alhaisen tai normaalin lujuusluokan betoneihin. Betonimurskeen osuuden ollessa suuri, muodostuu betonin lujuus samalla vesi-sideainesuhteella pienemmäksi kuin vastaavan normaalikiviaineksesta valmistetun betonin lujuus. Oleellisesti lujuuteen vaikuttaa myös hienoaineksen määrä eli se, onko uusiokiviaines pestyä. Vaikutus on selvin vesi-sideainesuhteen ollessa pieni. [Otsuki et al. 2003, Kasai 2004, Chen et al. 3003]

Silika parantaa tehokkaasti betonimursketta sisältävän betonin ominaisuuksia. Erityisellä betonimurskeen silikalietekäsittelyllä on onnistuttu parantamaan sekä valmistettavan betonin lujuus- että myös säilyvyysominaisuuksia. Tällöin hyvää betonimursketta käyttäen on kyetty valmistamaan myös lujuusluokan K50 betonia ja jopa lujuusluokan K80 betonia. [Adjukiewicz & Kliszciewicz 2002, Shayan & Xu 2003, Poon et al. 2004B]

Yleisesti betonimurskeen käytön on todettu pienentävän kimmomoduulia. Tämä johtuu



mm. siitä, että betonissa on sekä uusia että vanhoja transiiovyöhykkeitä, jotka ovat tunnetusti heikkousvyöhykkeitä myös kimmom ominaisuuksien kannalta. Betonimursketta käytettäessä betonin viruma voi myös kasvaa. Sekä kimmomoduulin että viruman suuruus on tapauskohtainen ja suhteessa betonimurskeen laatuun, lujuuteen ja sen määrään betonissa sekä valmistettavan betonin muuhun koostumukseen.

Betonimurskeen on todettu lisäävän kuivumiskutistumista erityisesti silloin, kun sen sisältämän hienon aineksen määrä on suuri.

Säilyvyysominaisuudet

Koska betonimurskeen vedenimun on suurempi kuin luonnonkiviaineksen vedenimu, lisää sen käyttö yleensä betonin vedenimua ja huokoisuutta. Alle 30 % osuudella kiviaineksesta betonimurskeen on todettu myös pienentäneen vedenimua. Tämä saattaa selittyä kiviaineksen tällöin kaikkiaan optimaalisella rakeisuudella ja/tai pozzolanisella vaikutuksella. [Levy & Helene 2004, Kasai 2004]

Betonista, joka ei ole itsessään pakkasenkestävää, ei ole mahdollista valmistaa hyvän pakkasenkestävyyden betoneihin soveltuvaa mursketta. Betonimurskeen prosessointi siten, että sen laastiosuus muodostuu mahdollisimman pieneksi, parantaa kuitenkin siitä valmistettavan betonin ominaisuuksia myös pakkasenkestävyyden osalta. Hyvälaatuisesta huokostetusta betonista peräisin olevasta murskeesta on kuitenkin kyetty valmistamaan myös pakkasenkestävää betonia. [Kasai 2004] Uusiokiviaineksen käytön ohjeistuksissa (ks. kohta 7.1.5) murskeen käyttöä ei suositella ankaran pakkasrasituksen olosuhteisiin (XF3) eikä myöskään suola-pakkasrasitukseen (XF2 ja XF4) ellei riittävää kestävyyttä erikseen osoiteta. Betonimursketta käytettäessä pakkasenkestävyys voidaan todeta luotettavimmin suoran jäädytys-sulatuskokein.

Betonin samalla vesi-sideainesuhteella betonimurskeen käyttö yleensä lisää betonin karbonatisoitumista ja kloridien tunkeutumista

betoniin. Samalla betonien lujuudella karbonatisoituminen voi kuitenkin myös hidastua betonimurskeen määrän kasvaessa tiettyyn rajaan asti (esim. < 50 % kiviaineksesta). Tämä selittyy sillä, että betonimursketta sisältävässä betonissa samaan lujuuteen vaaditaan tyypillisesti enemmän sementtiä kuin luonnonkiviainesta käytettäessä. Lisäksi betonimurske sisältää osin vanhaa sementtipastaa, mikä kasvattaa betonin emäksisyysreserviä. [Otsuki et al. 2003, Levy & Helene 2004]

7.1.4 Betoninormit ja EN-standardointi

Betoninormien [Betoninormit 2004] ja standardin SFS-EN 206-1 mukaan betonin valmistukseen käytetään standardin SFS-EN 12620 mukaista kiviainesta. Yleisenä vaatimuksena osa-aineet kuten kiviaines eivät saa sisältää haitallisia määriä aineita, jotka vaikuttavat tuoreen tai kovettuneen betonin tai terästen ominaisuuksia huonontavasti. Haitallista vaikutusta betonin säilyvyyteen tai raudoituksen korroosioon ei siis saa syntyä. Betonin osa-aineiden eli myös kiviaineksen tulee sopia betonin suunniteltuun käyttöön.

Kiviaines on SFS-EN 206-1:n määritelmän mukaan rakeinen mineraalimateriaali, joka sopii betonissa käytettäväksi. Kiviainekset voivat olla luonnon kiviainesta, keinokiviainesta tai uusiokiviainesta, jota on aikaisemmin käytetty rakentamisessa. Betonimurske (RCA = recycled concrete aggregate) on uusiokiviainesta, joka koostuu pääosin murskatusta betonista [BS 8500-2:2002]. Sen muuratuista rakenteista peräsin olevan aineksen osuus on esimerkiksi alle 5 %.

Uusiokiviaineksen käyttöä betonissa ei siis rajata pois, vaan sen käyttö on täysin hyväksyttävää. Uusiokiviaineksen käyttö ei kuitenkaan ole standardin SFS-EN 206-1:n mukaan mahdollista ilman erillisohjeistusta. Tämä johtuu siitä, että uusiokiviaineksia koskevat erityiset säännökset eivät sisälly voimassa olevaan (2004) standardiin [SFS-EN 12620] (Betonikiviainekset). Uusittavaan EN-stan-



dardiin (noin vuonna 2007) on kuitenkin tulossa lisäsäännökset uusiokiviainekselle. Ennen kuin eurooppalaisia uusiokiviaineksiä koskevia teknisiä vaatimuksia on olemassa, niiden soveltuminen tulee osoittaa standardin SFS-EN 206-1 mukaan joko

- eurooppalaisella teknisellä hyväksynnällä tai
- betonin käyttöpaikalla voimassa olevilla kansallisilla standardeilla tai säännöksillä.

Näiden tulee koskea uusiokiviaineksen käyttöä standardin EN 206-1 mukaisessa betonissa.

Nimenomaan uusiokiviaineksen testaukseen soveltuvia EN-standardeja on tällä hetkellä valmistumassa (syksy 2004). Nämä EN-testausmenetelmät mahdollistavat jatkossa vaatimusrajojen asettamisen SFS-EN 206-1:n mukaisissa betoneissa käytettävälle uusiokiviainekselle [prEN 933-11, prEN 1744-5, prEN 1744-6].

Uusiokiviainekselle asetettuja erityisiä vaatimuksia, joiden määrittäminen vaatii oman testausmenetelmänsä, ovat esimerkiksi puuaineksen, lasin ja metallin määrille asetettavat vaatimukset [prEN 933-11].

Kiviainestandardin SFS-EN 12620 mukaan kiviaineksen vesiliukoisten kloridi-ionien määrä tulee määrittää tarvittaessa (ks. SFS-EN 1744-1, kohta 7). Uusiokiviaineksen kloridimäärä on kuitenkin perusteltua mitata käyttäen happoliuotusta [prEN 1744-5]. Vesiliukoisen kloridipitoisuuden määrittäminen ei ole riittävä menetelmä, koska myös betoniin sitoutuneet kloridit saattavat ajan kuluessa vapautua ja vaikuttaa uusiokiviaineksesta valmistetavan betonin raudoitteiden korroosion käynnistymiseen. Uusiokiviaineksessa voi yleensä olla merkittävästi klorideja vain, jos se on peräisin rakenteesta, joka on altistunut kloridirasitukselle.

Kiviainestandardissa SFS-EN 12620 on esitetty, miten tutkitaan se, että kiviainekset eivät sisällä liiallisesti betonin sitoutumisnopeuteen ja kovettumiseen vaikuttavia aineita. Tällöin tarvittaessa orgaanisen aineksen

vaikutus betonin sitoutumiseen ja kovettumiseen tutkitaan käyttäen alkuperäistä kiviainesta ja vastaavaa kiviainesta, joka ei sisällä orgaanisia aineita. Jälkimmäinen kiviaines saadaan kuumentamalla orgaanisia aineksia sisältävä kiviaines 480°C:een. Tämä menettely ei kuitenkaan ole riittävä selvittäessä sitä, vaikuttaako uusiokiviaines betonin sitoutumisnopeuteen ja kovettumiseen. Sen sijaan valmisteilla olevan standardin [prEN 1744-6] menetelmässä tutkitaan uusiokiviainesuutteen sitoutumista hidastavaa vaikutusta [Collins & Nixon 2003].

Kierrätyskiviainesta sisältävien betonien kuivumiskutistuminen on tyypillisesti tavanomaista suurempi. Kuivumiskutistuman määrittäminen standardin [SFS-EN 1367-4] mukaisesti soveltuu vedenabsorptioltaan alle 3,5 %:n normaalipainoista kiviainesta käytettäessä. Tämä johtuu siitä, että betonimassa tehdään standardin mukaisesti kiintein osa-ainemäärin eli myös veden määrä massoissa on vakio. Betonista murskatun uusiokiviaineksen vedenabsorptio on kuitenkin suurempi (n. 5 %), minkä vuoksi menetelmän soveltuvuus on huono. Standardiin onkin ollut valmisteilla liitteeksi vaihtoehtoinen menetelmä, joka soveltuu uusiokiviainekselle. Tässä menetelmässä uusiokiviainesta käytetään kyllästettynä ja pintakuivana [Collins & Nixon 2003].

Kiviainestandardin SFS-EN 12620 mukaan happoliukoisten sulfaattien määrä tulee vaadittaessa määrittää ja ilmoittaa (luokka AS, ks. standardin SFS-EN 12620 taulukko 20). Esimerkiksi uusiokiviainesohteistuksessa [Rilem Recommendation 1994] on annettu vaatimus happoliukoisen sulfaatin enimmäismäärälle. Vesiliukoiselle sulfaatille asetettava vaatimusraja olisi sikäli perusteltu, että sementtikiveen sitoutuneet sulfaatit eivät ole haitallisia. Toisaalta kuitenkin kipsin liukeneminen veteen on rajallista ja luotettava määrittäminen voi vaatia toistoja. Näin ollen uusiokiviaineksessa sallitun sulfaatin enimmäismäärän asettaminen happoliukoiseen sulfaattiin perustuen on ehkä kuitenkin helpompi ja yksiselitteisempi tapa.

Tavanomaisten kiviainesten rapautuvuus-



ominaisuuksien määrittämiseen on olemassa standardoidut päämenetelmät, mutta niiden soveltuvuudesta uusiokiviainekselle ei ole riittävästi tietoutta tai soveltuvuus on todettu huonoksi. Magnesiumsulfaattitesti (SFS-EN 1367-2) ei sovellu uusiokiviainesta testattaessa tällöin mahdollisesti tapahtuvien asiaan kuulumattomien joko massaa lisäävien tai rapauttavien kemiallisten reaktioiden vuoksi ja kiviaineksen jäädytys-sulatuskestävyyden määrittäminen (SFS-EN 1367-1) ei ole erityisen ankara koemenetelmä. Tällä hetkellä käyttökelpoisimmaksi mahdollisuudeksi jää se, että uusiokiviaineksen vaikutus betonin pakkasenkestävyyteen testataan betonikokein. Tällöin valmistettavan betonin kestävyys testataan käyttämällä kulloinkin soveltuvaa betonin suoraa jäädytys-sulatuskoetta [Collins & Nixon 2003].

7.1.5 Käytön lisäohjeistus

Ohjeistus Suomessa

Suomalaiset kiviainesohjeet [Betonin kiviainekset 2001] laadittiin valmistumassa olleen kiviainestandardin EN 12620:n ja siihen liittyvien testausstandardien pohjalta. Ohjeet koskevat ensisijaisesti betonin kiviaineksena käytettäviä kivennäismaalajeista ja kalliosista valmistettuja kiviaineksia. Ne kattavat pääosin myös kivirouheet ja niitä voidaan soveltaa myös keinokiviaineksille (kevytso- ra, masuunikuona). Lisäksi näiden ohjeiden mukaan uusiokiviainesta kuten murskattua betonia voidaan käyttää betonin kiviainekse- na. Ensisijaisesti uusiokiviainesten käytössä tulee noudattaa voimassa olevien Betoninormien ja EN-standardien ohjeistusta. Suomalaisen kiviainesohjeiden uusiminen on käynnissä (2004).

Kiviainesohjeen mukaan (2001) uusiokiviainesta käytettäessä tulee erikseen asianmukaisin ennakkokokein osoittaa, että kyseinen kiviaines on kelvollista aiottuun tarkoitukseen. Tämän tarkempaa kansallista ohjeistusta Suomessa ei tällä hetkellä ole.

Kiviainesohjeissa on esitetty, miten käytettävän kiviaineksen ominaisuuksia voidaan

tutkia betonikokeella. Betonikoe soveltuu käytettäväksi myös uusiokiviainesta käytettäessä. Sen avulla saadaan tietoa kiviaineksen vaikutuksesta betonin vedentarpeeseen ja lujuudenkehittymiseen.

Useissa maissa on käytössä kansallisia ohjeita. Näiden syntyä ovat edesauttaneet esimerkiksi lait, jotka edellyttävät kierrätyksen lisäämistä ja uusiokiviaineksen käyttöä myös betonissa. [Kasai 2004, DAfStb-Richtlinie 1998, BS 8500 Part 1 2002, BS 8500 Part 2 2002]

Lisäohjeistuksen periaatteet

Uusiokiviaineksen käytön ohjeistus voidaan jakaa kahteen osaan:

- A) Vaatimusten asettaminen valittaville uusiokiviainesluokille (esim. luokat I, II ja III) eli luokkia kuvaavien ominaisuuksien valinta ja raja-arvojen asettaminen.
- B) Kuhunkin luokkaan kuuluvan uusiokiviaineksen käytön ohjeistus.

Taulukossa 12 on esitetty uusiokiviaineksen laatuun vaikuttavia tekijöitä sekä niitä vastaavat viitteelliset alueet, joilla uusiokiviainesluokkien raja-arvot voivat kaikkiaan sijaita.

Käytännössä uusiokiviainesluokan määrää se,

- mistä siihen tuleva materiaali pääosin on lähtöisin (uusiotuotannon hylkyelementit, sillat, korkealujuusrakenteet, talonrakennuksen purkubetoni, tiilirakenteet, sekalainen uusiomurske) ja
- miten se on prosessoitu (murskaus-, seulonta-, pesu-, kuumennus- ym. käsittelemenetelmät).

Mitä enemmän uusiokiviaineksessa on laastiosuutta, sitä huonommat sen monet yksittäiset ominaisuudet ovat, mikä voi olla yhtenä luokitteluperusteena. Uusiokiviaineksen laatuun vaikuttavat myös sen sisältämät vieraat ja haitalliset aineet, joiden määrälle joudutaan myös asettamaan raja-arvoja.



Hiekan ja erityisesti hienoaineksen määrää uusiokiviaineksessa joudutaan rajoittamaan, koska se voi sisältää suuria määriä epäpuhtauksia, vaikutusta lujuuteen ja säilyvyyteen ei tunneta riittävän hyvin, hienon uusiokiviaineksen lujuuden ja alkalireaktiivisuuden testausmenetelmää ei ole ja sen sisältämän kosteuspitoisuuden hallinta tuotannossa on vaikeaa.

Periaatteessa uusiokiviaineksen luokittelu voisi perustua myös siihen, mistä uusiokiviaines on lähtöisin. Se voisi olla lähtöisin esimerkiksi tietyn lujuus- ja rasitusluokan vaatimukset täyttävästä betonista. Myös tällöin tulee kuitenkin ottaa huomioon myös sekä käytetyn prosessointitavan että lisäksi mahdollisen edeltäneen ympäristörasituksen vaikutus uusiokiviaineksen laatuun. Tällainen luokittelutapa on yleisenä hankala, epäluotettava, luokkien määrä muodostuu suureksi ja luokittelun yleinen soveltuvuus on huono.

Tietyn luokan uusiokiviaineksen sallitun

käytön ohjeistuksen sisältönä tulee olla ainakin

- suurin sallittu betonin lujuusluokka (esim. < K20, < K60 tai ei rajoitusta),
- sallitut käyttökohteet (rasitusluokat) ja tällöin mahdollisesti vaadittava lisättestaus (pakkasenkestävyys/suolapakkasenkestävyys, alkali-silikareaktiivisuus) ja
- kulloinkin sallittu suurin uusiokiviaineksen osuus betonin kiviaineksesta.

Seuraavassa käsitellään joitakin uusiokiviaineksen luokittelun ja käytön ohjeistuksia.

RILEM:in ohje

RILEM julkaisi jo vuonna 1994 luonnoksen uusiokiviaineksen käytön ohjeistukseksi [Rilem Recommendation 1994]. Ohjeistus koskee vain raekooltaan yli 4 mm:n uusiokiviaineksen käyttöä betonissa. Hienomman aineksen katsotaan mm. aiheuttavan liiallisia ongelmia betonin tehollisen vesimäärän

Taulukko 12. Uusiokiviaineksen luokitteluominaisuuksia ja mahdollisia valittavien luokkien raja-arvoja (vain esimerkkejä).

Luokiteltava ominaisuus	Mahdollinen valittavan luokan raja-arvo
Pienin kuivatiheys	1500 – 2400 kg/m ³
Suurin vedenabsorptio	3 – 15 %
Suurin alle 0,063 mm aineksen määrä (hienoaines)	2 – 3 %
Suurin alle 4 mm aineksen määrä	5 %
Suurin tiettyä tiheyttä pienemmän (<1000 – <2200 kg m ³ , vedellä kyllästetty pintakuiva) materiaalin osuus	0 – 10 %
Suurin yksittäisten materiaalien määrä (tiili/hiekkakivi/asfaltti/lasi/keramiikka/paperi/kipsi/kevytbetoni/kumi/puu/ym.)	Materiaalin mukaan 0,2 – 30 %
Suurin vieraiden ei-mineraalisten materiaalien kokonaismäärä (metalli, lasi, pehmytmateriaalit, bitumi ym.)	1 – 5 %
Suurin metallimäärä	1 %
Suurin orgaanisen aineksen määrä	0,5 – 1 %
Suurin sulfaattimäärä (SO ₄ ²⁻)	0,2 – 1,2 %
Suurin kloridimäärä	0,15 – 0,4 %
Alkali-silikareaktiivisuus	Koemenetelmä ja vastaava raja-arvo
Mekaaniset ominaisuudet, kulutuskestävyys	Pehmeän aineksen osuus alle 3 % tai kulutuskestävyyden tietty raja-arvo
Ympäristöominaisuudet, haitalliset alkuaineet	Määrittämismenetelmät ja niitä vastaavat raja-arvot



ja työstettävyyden hallintaan sekä myös muita ongelmia, jotka johtuvat osin tiedon ja soveltuvien laadunvarmistusmenetelmien puutteesta (1994).

Uusiokiviaines jaetaan RILEM:n ohjeessa kolmeen luokkaan sen mukaan, mistä se on pääosin lähtöisin:

- I: tiilimurska,
- II: betonimurska ja
- III: uusiokiviaineksen, jossa alle 10 % luokan I ainesta, ja luonnonkiviaineksen (yli 80 %) seos.

Ohjeessa on esitetty näille uusiokiviainestyypeille asetettavissa olevia vaatimuksia, jotka ovat suurelta osin taulukossa 12 esitettyjä, sekä vaatimuksia vastaavat testausstandardit tai -menetelmät. Vaatimukset ovat ohjeellisia ja muuttuvat sitoviksi vain, jos ne määritellään kansallisella tai EN-standardoinnilla.

Lisäksi on annettu ohjeet siitä, millä edellytyksin kunkin luokan uusiokiviainesta voidaan käyttää erilaisiin ympäristörasituksiin altistuvissa betoneissa. Mitä vaativampi rasitusluokka ja mitä huonompi uusiokiviaines, sitä enemmän vaaditaan lisätestausta. Lisätestauksena voi olla esimerkiksi pakkasuolakoe. Huonoimman luokan uusiokiviainesta ei saa käyttää kaikissa rasitusolosuhteissa ollenkaan. Sen sijaan, jos korroosion tai rasituksen riskiä ei ole, käyttöä rajoittaa vain betonin lujuusluokka eli ympäristörasitukseen liittyvää lisätestausta ei vaadita.

Ohjeen mukaisesti uusiokiviaines ei saa sisältää aineksia, jotka hidastavat liikaa betonin sitoutumista (yli 15 %) tai jotka ovat betonille haitallisia. Ympäristö- ja terveysnäkökohdat tulee myös ottaa asianmukaisesti huomioon. Uusiokiviaineksen tulee aina täyttää tavanomaiset kiviainekselle asetettavat betoni- ja kiviainesstandardien vaatimukset.

RILEM:in ohje sisältää myös hieman ohjeistusta uusiokiviainesta sisältävän betonirakenteen mitoittamiseen. Normaalit mitoitusmenetelmät soveltuvat, mutta uusiokiviaineksen vaikutus erityisesti kimmomoduu-

liin, virumaan ja kutistumiseen joudutaan ottamaan huomioon joko uusiokiviaineluokkaan (kerroinmenetelmä) tai tehtäviin erillisiin materiaalikokeisiin perustuen.

Jos uusiokiviaines kuuluu luokkaan III (ks. edellä), ei vaikutusta mitoittamiseen katsota olevan. Kaikkiaan uusiokiviainestyyppin mukaan kimmomoduuli voi olla 65–100 % normaalista ja pitkäaikaiskutistuma 1–2-kertainen. Tarkat mitoitusarvot voidaan selvittää kokeellisesti. Kevytbetonin mitoituskäytöjen (esim. kutistuminen) on todettu joissakin tapauksissa soveltuvan uusiokiviainesta sisältävälle betonille.

Japani

Viitteessä [Kasai 2004] on käsitelty mm. japanilaista vuoden 2000 teknistä ohjetta "TR A006 2000 – Concrete using recycled aggregate". Siinä uusiokiviaineksen luokittelun pääperiaatteena on se, että uusiokiviaineksen laastiosuus huonontaa laatua ja tämä ilmenee suurentuvana vedenabsorptiona. Absorption määrä on rajoitettu karkealla kiviaineksella 7 %:iin ja hienolla 10 %:iin.

Ohje sisältää kehitteillä olevat laadunseurantaan soveltuvat pikamenetelmät. Ne perustuvat karkealla aineksella vedenabsorption ja laastiosuuden määrän väliseen yhteyteen, jolloin laastiosuuden määrä arvioidaan erityisellä murskausmenetelmällä (BS 812). Hienolla aineksella laadunseurantamenetelmä perustuu tilavuuspainon (kg/litra) ja vedenabsorption väliseen kokeellisesti todettuun yhteyteen. Hienoaineksen määrää rajoitetaan karkealla aineksella 2 %:iin ja hienolla 10 %:iin. Jos karkean aineksen prosessointi sisältää vesipesun, ei hienoaineksen määrää tarvitse mitata, koska vaatimus täyttyy tällöin automaattisesti. Hienosta murskeesta liiallinen hienoaines voidaan poistaa tuuliseulalla.

Japanissa betonimurskeesta suositellaan valmistettavan vain betonia, joka ei altistu pakkasrasitukselle. Uusiokiviaineksen sopiva osuus kiviaineksesta on tapauskohtaista. Betonissa voi olla esimerkiksi 100 % karkeaa uu-



siokiviainesta kaiken hienon aineksen ollessa luonnonkiviainesta tai sekä hienon että karkean uusiokiviaineksen osuus voi olla 50 %. Alle 30 %:n uusiokiviainesäärällä vaikutuksen betonin lujuuteen sekä muihin ominaisuuksiin katsotaan olevan melko pienen. [Kasai 2004]

BS 8500-1 & 2:2002 (U.K:n EN 206-1:n kansallinen lisäohjeistus)

Seuraavassa käsitellään standardien [BS 8500-1 & 2:2002] (U.K.) lisäehtoja sekä

- betoni- että muuratuista rakenteista lähtöisin olevan karkean uusiokiviaineksen RA (recycled aggregate) että
- pääosin vain betonista murskatun karkean uusiokiviaineksen RCA (recycled concrete aggregate) käyttöön EN 206-1:n mukaisessa betonissa.

RA ja RCA ovat prosessoituja materiaaleja, jotka täyttävät standardivaatimukset. Niiden rakeisuus vastaa luonnonkiviaineksen rakeisuutta ja niiden tulee täyttää luonnonkiviainekselle asetetut yleiset vaatimukset kaikilta soveltuvilta osin.

Hienon uusiokiviaineksen käyttö ei sisälly standardiin BS 8500.

Karkeaa uusiokiviainesta RA käytettäessä esitettyjen vaatimusten lisäksi tarvitaan tapauksen mukaisia lisävaatimuksia, kos-

ka tämän tyyppisen aineksen mahdollinen koostumus on kaikkiaan laaja. Näiden projektikohtaisten vaatimusten tulisi sisältää rajoitukset valmistettavan betonin käytölle sekä myös muita lisävaatimuksia (kloridit ja niiden määrittäminen, sulfaattit, alkali-kiviainesreaktion huomioon otto).

Taulukossa 13 on esitetty BS 8500-2:n vaatimukset RA:lle ja RCA:lle. Vaatimukset on asetettu BS 8500-2:ssa liitteen mukaisella koemenettelyllä ("Annex B (normative) Test method for determining the composition of RCA and RA", 2 s.) saataville arvoille. Menetelmä soveltuu uusiokiviainekselle, jonka rakeisuus on alueella 10–63 mm. Se perustuu standardoituun näytteenottoon, seulontaan, kuivatukseen, punnitukseen ja käsin tehtävään uusiokiviaineksen lajitteluun. Käytettävissä kahdessa rinnakkaisessa näyteerässä tulee olla kummassakin 500 erillistä partikkelia. Tällöin vastaava näytemäärä on aineksen suurimman raekoon (14 – 63 mm) mukaan noin 1–50 kg. Menetelmässä määritetään seuraavien osa-aineiden %-osuudet (ilmoitetaan 0,2 % tarkkuudella):

- betoni ja normaalipainoinen kiviaines,
- muuratuista rakenteista peräisin oleva aines,
- kevytmateriaalit (partikkelit, joiden tiheys alle 1000 kg/m³),
- asfaltti ja
- muut vieraat materiaalit kuten puu, lasi ja muovit.

Taulukko 13. BS 8500-2:ssa esitetyt vaatimukset karkealle uusiokiviaineksille RCA ja RA [BS 8500-2:2002].

Tyyppi	Vaatimukset ¹⁾					
	Muurattujen rakenteiden aines, p.-%	Hienoaines, p.-%	Kevyet materiaalit ²⁾ , p.-%	Asfaltti, p.-%	Vieraat materiaalit (puu, lasi, metallit, muovit), p.-%	Happoliukoinen sulfaatti (SO ₃), p.-%
RCA ^{1,3)}	≤ 5	≤ 5	≤ 0,5	≤ 5,0	≤ 1,0	≤ 1,0
RA	≤ 100	≤ 3	≤ 1,0	≤ 10,0	≤ 1,0	- ⁴⁾

1) Jos materiaali on peräisin tunnetun koostumuksen betonista, johon ei ole sen käytössä siirtynyt vieraita/haitallisia aineita, vaatimuksia on vain rakeisuudelle ja suurimmalle hienoainesmäärälle.

2) Materiaalit, joiden tiheys on alle 1000 kg/m³.

3) RCA:n vaatimuksia voidaan soveltaa ainekselle, joka sisältää myös karkeaa luonnonkiviainesta.

4) Sopiva raja-arvo tulee valita tapauksen mukaan.



Uusiokiviaineksen happoliukoinen sulfaattipitoisuus määritetään standardin EN 1744-1 (Kiviainesten kemiallisten ominaisuuksien testaus. Osa 1: Kemiallinen analyysi) mukaisesti.

Uusiokiviaineksen tulee täyttää vaatimus, joka koskee yleisesti kiviaineksen kutistumista, ellei toisin määritellä. Kutistuminen määritetään standardin EN-1367-4 (Kiviainesten lämpö- ja rapautuvuusominaisuuksien testaus. Osa 4: Kuivumiskutistuman määrittäminen) mukaisesti ja sen tulee olla alle 0,075 %.

Valmistettavan betonin kloridipitoisuus ei saa ylittää sen käytön mukaisesti annettuja suurimpia sallittuja arvoja (ks. EN 206-1:n kohta 5.2.7). Koska betonin kloridipitoisuus lasketaan osa-aineiden kloridipitoisuuksiin perustuen, tulee RA/RCA:n kloridipitoisuus ja sen vaihtelu tuntea ja ottaa huomioon. RCA:n kloridipitoisuus tulee määrittää standardin BS 1881-124 (Testing concrete – Part 124: Method for analysis of hardened concrete) mukaisesti.

RCA:n laadunvalvonnassa seurataan sen tiheyttä (EN 1097-3) sekä taulukossa 14 määriteltyjä arvoja. Näytteenotto- ja testaustiheyden tulee olla kelvollisuuden osoittamiseen riittävä.

RCA:n laadunvaihtelu tulee ottaa betonin suhteutuksessa ja valmistuksessa huomioon siten, että kaikki betonille asetetut vaatimukset täyttyvät. Koska betonin valmistajan tu-

lee valvoa betonin lujuutta, tarkoittaa tämä sitä, että käytettävän kiviaineksen vaikutus lujuuteen tulee ottaa huomioon. Uusiokiviaineksen vaikutus betonin lujuuteen on siis tätä kautta hallinnassa.

BS 8500-2:ssa on esitetty RCA:n käytön ehdot eli sallitut lujuus- ja rasitusluokat (ks. taulukko 14). RA:n käytölle ei kuitenkaan ole kyetty asettamaan vastaavia yleisiä käytön ehtoja.

Betonimursketta RCA käytettäessä tulee ottaa huomioon betonin kestävyys alkali-silikareaktiossa. BS 8500-2:2002:ssa on mm. esitetty ehdot, jolloin betonin vaurioitumisriski on erittäin pieni.

[BS 8500-2:2002]:ssa on annettu ohjeita siitä, missä ja kuinka paljon uusiokiviainesta RCA voidaan käyttää. Yleensä RCA:n käyttö ei ole sallittua betoneissa, jotka altistuvat merivedelle, sulatussuoloille tai ankaralle pakkasrasitukselle eikä myöskään betoneissa, jotka tulevat muuhun kuin lievimmän aggressiivisuuden maaperään. Muissa sallituissa käyttökohteissa RCA:n määrä on rajoitettu yleensä 20 %:iin kiviaineksesta. Näin on siitä huolimatta, että 30 %:n osuudella on yleensä todettu vain vähäinen vaikutus betonin ominaisuuksiin [Price 2002]. Sen sijaan tietyissä alhaisten vaatimusten betoneissa sallitaan mikä hyvänsä karkean RCA-määrä (mm. raudoittamattomat asuintalojen ja autotallien lattiat ja tietyt ei-agressiiviseen maaperään tulevat betonoinnit).

Taulukko 14. BS 8500-2:ssa esitetty RCA:n sallittu käyttö. Betonimurskeen RCA ominaisuudet on määritelty taulukossa 12. [BS 8500-2:2002]

Tyyppi	Käytön rajoitukset	
	Suurin lujuusluokka	Sallitut rasitusluokat ²⁾
RCA ¹⁾	C40/50 ¹⁾ (K50)	X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XF1, DC-1 ³⁾

1) Jos RCA on peräisin tunnetun koostumuksen betonista, johon ei ole sen käytössä siirtynyt vieraita/haitallisia aineita, voidaan sitä käyttää minkä hyvänsä lujuusluokan betonissa.

2) Voidaan käyttää muissakin rasitusluokissa, jos erikseen osoitetaan, että valmistettava betoni soveltuu käytettäväksi, esim. pakkasenkestävyys, sulfaatinkestävyys.

3) Tarkoittaa BS 8500-1:2002:ssa määriteltyä ei-aggressiivista maaperää.

7.2 Käyttö maarakentamissa

7.2.1 Betonimurskeen hyödyntämisen edellytykset

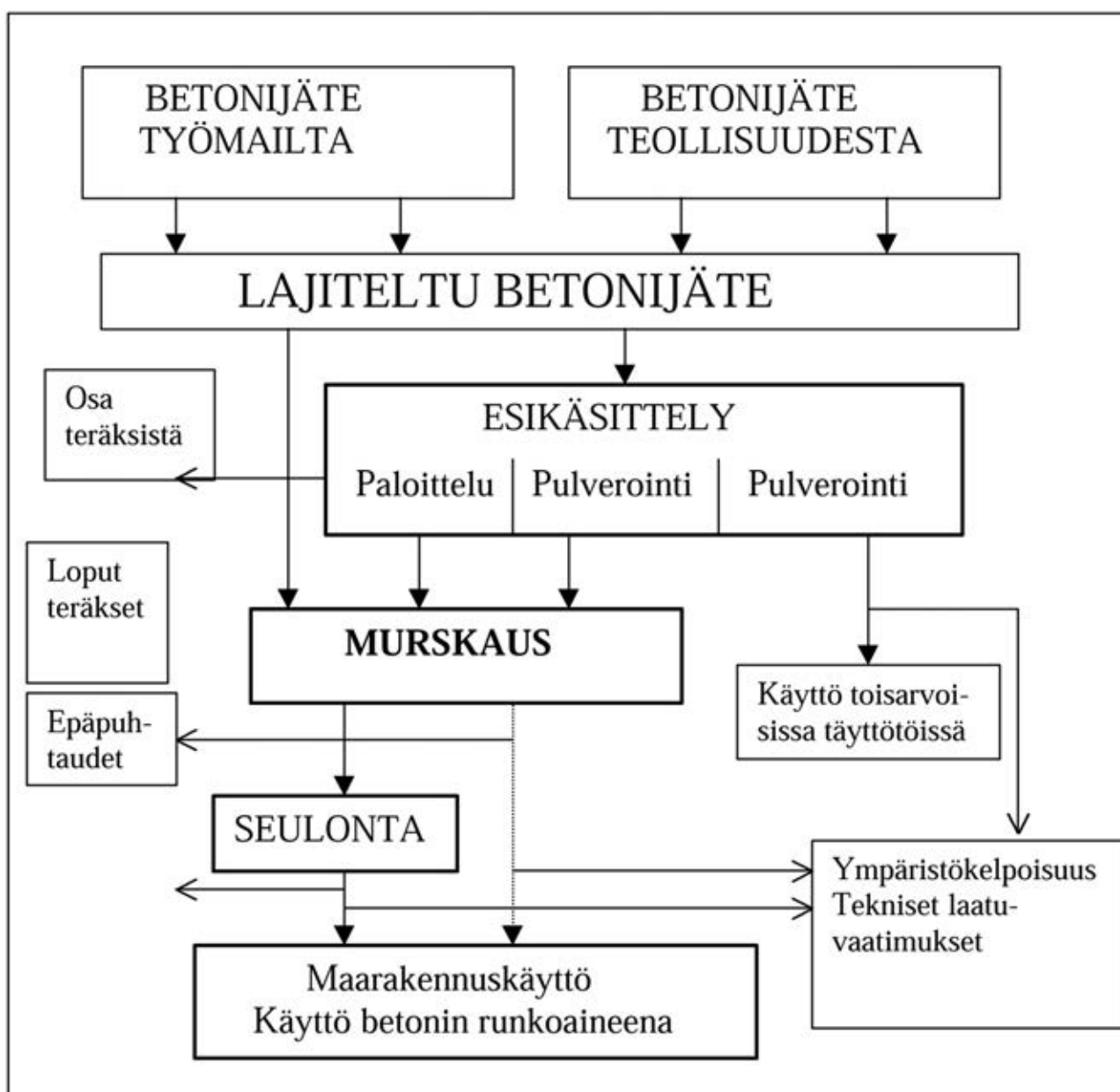
Betonijätteen hyötykäytön tärkeimpänä edellytyksenä on, että se sisältää vain vähän muita materiaaleja. Erityisen tärkeää on, että se sisältää epäpuhtauksia vain vähäisiä määriä. Tämä johtuu toisaalta betonimurskeiden teknisistä laatuvaatimuksista, toisaalta uusiotuotteiden ympäristökelpoisuudelle asetetuista tiukoista liukoisuuden raja-arvoista.

Liukoisuuden tavoitearvot ovat seuraavat:

	Tavoitearvo [mg/kg]
Sulfaatti	750
Kromi	0,5
Kadmium	0,02
Kupari	0,4
Lyijy	1,0

Liukoisuuden tavoitearvojen alittaminen ei tuota vaikeuksia silloin kun käsiteltävä betoni ei sisällä muita materiaaleja.

Betonijätteen hyödyntäminen vaatii aina jätteen jalostamista, paitsi jos uudelleen



Kuva 36. Betonijätteen jalostusprosessit



käytetään esim. betonielementtejä. Pelkän betonijätteen hyötykäyttö on muussa tapauksessa siten mahdotonta. Betonijätteen jalostusprosessi voi olla yksi tai useampivaiheinen. Kuvassa 36 on esitetty tyypillisimmät betonimurskeen jalostusprosessit.

Yleensä betonijäte on esikäsiteltävä jollain tavalla ennen sen murskausta. Joissain tapauksissa tämä käsittely voi olla tarpeeton, mutta pääsääntöisesti se kannattaa tehdä, koska sillä saadaan helpotettua murskausta ja poistettua suurimmat epäpuhtaudet sekä osa teräksistä.

Tyypillinen esikäsitteleminen on betonijätteen palakoon pienentäminen joko paloittelemalla tai pulveroimalla. Paloiteltua betonijätettä ei voida käyttää vielä mihinkään hyötykäyttöön, vaan se vaatii aina jatkokäsittelyn, vähintään pulveroinnin. Pulveroitua betonijätettä voidaan käyttää toisarvoisiin täyttötöihin. Useimmiten tämä käsittely on kuitenkin riittämätön.

Pulveroinnoilla tarkoitetaan betonikappaleiden palakoon pienentämistä. Käsittelyn yhteydessä huomattava osa terästä saadaan pois. Tyypillinen betonijätteen koko ennen pulverointia on 30-70 cm ja pulveroinnin jälkeen 10-15 cm.

Pulverointilaite on kaivinkoneeseen kiinnitettävä lisälaitte, jolla betonia murennetaan.

Suosittelun betonijätteen prosessointitapa on pelkkä murskaus tai pulverointi ja murskaus. Murskauksen oleellinen etu on se, että myös betoniteräksiset saadaan tällöin hyötykäyttöön ja lisäksi mahdolliset epäpuhtaudet poistettua tehokkaasti murskaukseen liittyvällä seulonnalla ja laadunvalvontaprosessilla. Murskattuna uusiutuote voi myös korvata arvokkaampia luonnonmateriaaleja.

Betonijätteen prosessointi pelkästään pulveroimalla kannattaa vain, jos tehdasalueella on tarvetta täyttömassoista, ja johon pulveroitu betonijäte sopii niin teknisten kuin ympäristöominaisuuksien puolesta. Pulverointi ei ole yleensä järkevä vaihtoehto, koska pulverointikustannukset ovat suhteelli-

sen suuret ja lopputuotteen arvo alhainen. Pulveroitu betonijäte aiheuttaa myös omat vaikeutensa siitä rakennettujen alueiden myöhemmälle rakentamiselle ja purkamiselle. Esimerkiksi erilaisten kaivantojen teko pulveroidusta betonijätteestä rakennetuille alueille on vaikeaa.

Betonijäte voidaan murskata joko tehdasalueella tai se voidaan toimittaa murskattavaksi betonijätteen vastaanottokeskukseen. Yksi betonijätteen hyödyntämisen ehdoton edellytys on riittävän tiheä ja toimiva vastaanottokeskusverkosto, johon betonijäte voidaan toimittaa sellaisilta tehtailta, joissa murskausta ei voi tehdä esim. tilan tai ympäristösyiden vuoksi. Huomattava osa betonijätteestä syntyy tällaisissa paikoissa, joten betonijätteen vastaanottoalueita on oltava riittävästi maan eri osissa.

Suomeen on jäteveron voimaantulon jälkeen syntynyt lähes kaikki maakuntakeskukset kattava vastaanottokeskusverkosto. Tarveta vastaanottoalueiden lisäämiseen kuitenkin olisi, koska betonijätteen kuljettaminen on kallista. Tulevaisuudessa Suomessa tulee ehkä olemaan noin 35-40 vastaanottokeskusta, kun tällä hetkellä määrä on noin 25.

7.2.2 Betonin murskaus ja muu prosessointi

Betonin murskaus

Betonin murskausta on tehty eri puolilla maailmaa jo pitkään, lähinnä kuitenkin läntisissä teollisuusmaissa. Tilanne Euroopassa vaihtelee melkoisesti eri alueiden ja maiden välillä. Yleistettynä voidaan todeta, että Keski- ja Pohjois-Euroopassa rakennusjätteiden ja myös betonin kierrätys on pidemmällä kuin Etelä-Euroopassa. On kuitenkin huomattava, että myös maittain on suuria eroja mainittujen suuralueiden sisällä. Tällä hetkellä Euroopassa syntyy betonijätettä n.200 miljoonaa tonnia vuosittain.

Ratkaisevia tekijöitä tuotannon käynnistämiseksi ja tämänhetkiseksi laajuudelle ovat mm. kullakin alueella vallitseva kiviaines-



tilanne sekä väestötiheys. Hyvälaatuisen kiviaineksen huono saatavuus ja korkea hinta ovat tekijöitä, jotka ovat aikaistaneet jätteen hyödyntämisen aloittamista monilla alueilla. Tiheästi asutetuilla seuduilla myös jätteiden määrän vähentämisestä on tullut keskeinen kysymys. Monilla Keski-Euroopan alueilla väestötiheys on niin suuri, että jätteiden loppusijoituksen vaatimaa tilaa on vaikea löytää ja paineet näiden alueiden minimoimiseen ovat suuret.

Betonin murskaukseen käytettävät murskaimet muistuttavat ulkoisesti paljon kiviaineksen murskaukseen tarkoitettuja murskaimia. Betonin murskaus vaatii kuitenkin murskaimelta monia erityisominaisuuksia, jonka takia nämä murskaimet ovat yleensä tehty vain betonin ja vastaavan tyyppisten pehmeämpien materiaalien murskaamista varten.

Betonijätteen laadun merkitys

Betonijätteellä on useita ominaisuuksia, jotka vaikuttavat sekä murskausprosessiin että lopputuotteeseen. Betonijätteen laatu riippuu sen syntyperästä ja esikäsittelystä. Betonijätteen syntyperästä johtuvia tekijöitä ovat betonin lujuus, runkoaineen maksimiraekoko ja raudoitus. Murskaukseen vaikuttavista tekijöistä käytännössä merkittävin on betonissa käytetty raudoitus, johon vaikuttaa betonin sisältämän raudoituksen kokonaismäärä, rautojen maksimihalkaisija, jännitetyt teräsвайjerit ja erikoisrautakappaleet esimerkiksi vahvikeraudat, pulttauslevyt jne. Betonijätteen sisältämä raudoitusmäärä vaihtelee huomattavasti betoniteollisuuden sisällä. Raudoituksen ohella betonin lujuudella on huomattava merkitys murskauskapasiteettiin, kustannuksiin ja kuluvien osien kulumisnopeuteen.

Betonijätteen laatu vaikuttaa murskausprosessissa esikäsittelytarpeeseen, tuotantokapasiteettiin, kustannuksiin, kaluston käyttöikänsä ja sen toimintavarmuuteen. Lopputuotteen ominaisuudet, ennen kaikkea rakeisuus ja puhtaus, riippuvat betonijätteen laadusta, murskaintyyppistä ja murskauspro-

sessissa käytettävistä vaiheista. Betonijätteen epäpuhtauksien määrä vaikuttaa huomattavasti lopputuotteen epäpuhtauksien määrään, vaikka epäpuhtauksien määrää voidaan prosessissa eri tavoin vähentää.

Betonijätteen esikäsittelyn tarve riippuu murskaintyyppistä ja murskaimen kidan mittasuhteista. Esikäsittelyssä betonijättekappaleet pienennetään kokoon, jossa ne voidaan syöttää murskaimeen. Pienentäminen tehdään yleensä kaivinkoneeseen tai vastaavaan työkoneseen liitettävillä lisävarusteilla: Iskuvasaralla, leikkurimurskaimella tai pulveroijalla. Betonijätteen kappalekoon pienentämisen ohella merkittävä esikäsittelyn tavoite on katkoa pitkät raudat, jotka saattavat tukkia murskaimen tai haitata muuten murskausprosessia. Esikäsittelyn yhteydessä saadaan myös vähennettyä betonijätteen mahdollisesti sisältämiä epäpuhtauksia.

Murskauslaitoksen kokoonpano

Murskauslaitokset koostuvat murskaimista ja seuloista sekä näihin liittyvistä erilaisista lisälaitteista ja varusteista. Murskauslaitoksen ydinosan muodostaa yksi tai useampi murskain eli vaihe. Vaiheella tarkoitetaan siis erillisten murskauskertojen lukumäärää. Yksivaiheisessa murskauksessa murskausprosessi siis sisältää yhden murskausvaiheen, jota voidaan täydentää muulla käsittelyllä, esimerkiksi seulonnalla.

Kiviaineksen murskauslaitosten tapaan betonimurskauslaitokset voivat olla hyvin monentyyppisiä ja -kokoisia. Suurimmat kiinteät murskauslaitokset voivat olla 3-4-vaiheisia ja kokonaispainoltaan satoja tonneja. Pienimmät yksivaiheiset siirrettävät laitokset ovat painoltaan alle 20 tonnia.

Betonimurskauslaitoksen kokoonpano riippuu tekijöistä, jotka poikkeavat joiltain osin kiviaineksen murskaamiseen vaikuttavista tekijöistä. Oleellisia murskauslaitoksen kokoonpanoon vaikuttavia tekijöitä ovat:

- Tarvittava kokonaiskapasiteetti
- Tarvittava kapasiteetti työmaalla



- Käytettävissä oleva tila
- Betonijätteen laatu
- Haluttu lopputuotteen laatu
- Tarve murskata myös kovaa kiveä

Keskimääräisesti ottaen betonimurskaus suoritetaan vähemmissä vaiheissa ja pienemmillä laitoksilla kuin kivenmurskaus. Suurimpana yksittäisenä syynä tähän on pienemmät murskauspaikekokoiset volyymit. Muita syitä ovat mm. iskumurskaimien käytön sopivuus ja tätä kautta saavutettava suurempi murskaussuhde. Iskumurskaimen suuremman murskaussuhteen takia on vaiheiden määrätarve vähäisempi. Betonin murskaus tapahtuu usein tehdasalueilla ja purkupaikoilla, joilla on rajoitetusti tilaa. Käytettävien murskauslaitosten on siis oltava pienikokoisia ja helposti siirrettäviä.

Yleisimmin betonin murskaus tapahtuu yhdessä tai kahdessa vaiheessa. Yksivaiheisessa murskauksessa voidaan käyttää isku- tai leukamurskainta. Parhaiten yksivaiheeseen

murskaukseen soveltuu iskumurskain. Kaksi tai useampivaiheisessa prosessissa voidaan esimurskauksessa käyttää isku- tai leukamurskainta. Useampivaiheisessa murskauksessa paras tyyppi esimurskaukseen on yleensä leukamurskain. Jälkimurskauksessa voidaan käyttää isku-, leuka- tai kartiomurskainta. Kuvassa 37 on esitetty kuva yksivaiheisesta murskauslaitoksesta. Murskauslaitos sisältää pyörialustaisen iskumurskaimen sekä erillisen seulavaunun.

Betonimurskeen seulonta

Betonimurske, kuten tavanomainen luonnon kiviaines, on murskauksen jälkeen pääsääntöisesti seulottava. Seulonta homogenisoi tehokkaasti materiaalia ja tekee siitä ne tekniset laatuvaatimukset täyttävää, jotka korkealuokkaisille kiviaineksille on asetettu. Betonimurskeen osalta seulominen on yleensä välttämätöntä myös siksi, ettei murskeen joukkoon pääse betonikappaleita, jotka sisältävät raudoitusta. Seulonnalla saadaan myös



Kuva 37. Yksivaiheinen iskumurskain Helsingin Konalassa.



tehokkaasti poistettua murskeen seassa mahdollisesti olevia muita epäpuhtauksia.

Betonimurskeen seulonnessa käytetään samoja seuloja ja seulatyypppejä kuin tavanomaisen kiviaineksen seulonnessa. Betonimurske on yleensä kasteltava hyvin pölyämisen estämiseksi. Kosteuden lisääntyminen aiheuttaa seulontakapasiteetin alenemista. Kapasiteettia pienentää myös betonin sisältämä hienojakoinen sementtipöly, joka tukkii seulaverkkoja normaalia kiviainesta enemmän. Näistä syistä johtuen betonimurskeiden seulonnessa käytettävien seulaverkkojen neliömäärä on oltava suhteessa hieman suurempi kuin kiviaineksen seulonnessa. Seulojen tukkeutumisesta johtuen myös maksimiraekooltaan hienojen lajitteiden (alle 12 mm) tekeminen betonimurskeesta on vaikeaa.

Seulonnessa käytetään yhtä tai useampaa tasoa riippuen siitä, mitä lajitteita halutaan valmistaa. Suomen olosuhteissa betonimurskeesta tehdään yleensä yhtä tai kahta lajitetta.

Suurissa kiinteissä laitoksissa, joita on mm. Keski-Euroopassa, voidaan valmistaa useampiakin lajitteita. Seulonnessa erotettavat ylisuuret rakeet palautetaan prosessiin hihnakuljettimella tai työkoneella. Murskeen joukossa mahdollisesti olevia epäpuhtauksia voidaan poistaa käsityönä seulonnan yhteydessä.

Muiden materiaalien erottelu ja lajittelu

Betonijätteen seassa mahdollisesti olevat suuremmat epäpuhtaudet on yritettävä poistaa mahdollisimman hyvin joko käsin tai koneellisesti ennen betonijätteen syöttämistä murskaimen. Murskaimessa useimmat epäpuhtaudet, esimerkiksi puutavara, pilkkoutuvat hyvin pieniksi paloiksi. Syntyvän pienen puusälän tai vastaavan muun aineksen poistaminen lopputuotteesta on huomattavan vaikeaa tai mahdotonta. Liian suuret epäpuhtausmäärät voivat rajoittaa tai vaarantaa lopputuotteen halutunlaisen käytön.

Jätteen mahdollisesti sisältämien epäpuhtauksien poistaminen ennen murskausta on työvaihe, jonka toteuttamiseen liittyy monia ongelmia. Pääasiassa käsityönä tehtävä poistaminen on työturvallisuusmielessä hyvin riskialtista. Epäpuhtauksien manuaalinen kerääminen aiheuttaa tuotantokatkoksia murskauslaitokseen ja alentaa tätä kautta myös murskauskapasiteettia. Tästä johtuen betonijätteen vastaanotossa pitää kiinnittää erittäin paljon huomiota siihen, että betonijäte sisältäisi mahdollisimman vähän epäpuhtauksia. Jätteen kanssa tekemisissä olevaa henkilöstöä on koulutettava ja jätteen välivarastointi ja siirto on ohjeistettava siten, että epäpuhtaudet betonijätteestä minimoituvat. Usein roskaa päätyy betonijätteen sekaan silkan ajattelemattomuuden johdosta.

Betonijätteen mahdollisesti sisältämiä epäpuhtauksia voidaan murskausprosessin yhteydessä poistaa tai niiden määrää vähentää pääasiassa kolmella eri keinolla: magneettisesti erottelemalla, seulomalla ja käsin erottelemalla. Kuiva- ja märkäerotustekniikat soveltuvat lähinnä suuriin, kiinteisiin ja sisätiloissa oleviin laitoksiin, joten niiden käyttökelpoisuus Suomen olosuhteissa ei ole hyvä.

Raudoituksen poistaminen

Oleellinen osa erottelussa on betonin lähes aina sisältämän raudoituksen poistaminen. Raudoituksen poistoon käytetään magneettierotinta, joka sijaitsee yleensä välittömästi murskaimen jälkeen. Magneettierottimia voi olla myös useampia. Rauditus voidaan eräissä tapauksissa poistaa myös käsityönä. Tämä menetelmä ei kuitenkaan sovi suurempien määrien käsittelyssä. Kuvassa 38 on esitetty magneettierotin, joka on sijoitettu betonimurskekuljettimen päälle kuljettimen sivusuunnassa.

Muiden epäpuhtauksien poistaminen

Betonijäte voi sisältää jonkin verran ominaispainoltaan melko kevyitä epäpuhtauksia, kuten paperia, eristeitä, puuta ja muovia.



Kuva 38. Magneettierotin.

Paras tapa näiden epäpuhtauksien poistamiseksi on erotella ne joko käsin tai koneellisesti betonijätteestä ennen murskausta. Murskauksen jälkeen epäpuhtauksia voidaan poistaa erilaisia tekniikoita käyttäen. Epäpuhtauksien erilaisista ominaisuuksista ja kappalekoista johtuen yksinkertaista ja tehokasta poistamistapaa ei ole. Erityisesti pienikapasiteettisissa siirrettävissä laitoksissa kovin monien tekniikoiden yhtäaikainen käyttö on vaikeaa.

Käytetyin ja useissa tapauksissa myös ainoa mahdollinen tekniikka on edelleenkin käsityönä tapahtuva erottelu. Tässä toimintatavassa lajittelija voi myös poistaa materiaalia ennen sen joutumista murskausprosessiin, ja sitä kautta vähentää murskausprosessiin joutuvaa epäpuhtausmäärää. Pääsääntöisesti lajittelija poistaa epäpuhtauksia seulalta, ylisuurten rakeiden sekä lopputuotteen joukosta. Käsityönä tapahtuvalla lajittelulla voidaan poistaa tehokkaasti yksittäiset, suuret ja haitalliset epäpuhtaudet, koska lajittelija näkee koko ajan raaka-ainevirran ja voi toimia kulloisenkin tilanteen mukaan. Käsityönä voidaan myös poistaa epäpuhtauksia, jotka ovat ominaispainoltaan lähellä lopputuotteen ominaispainoa.

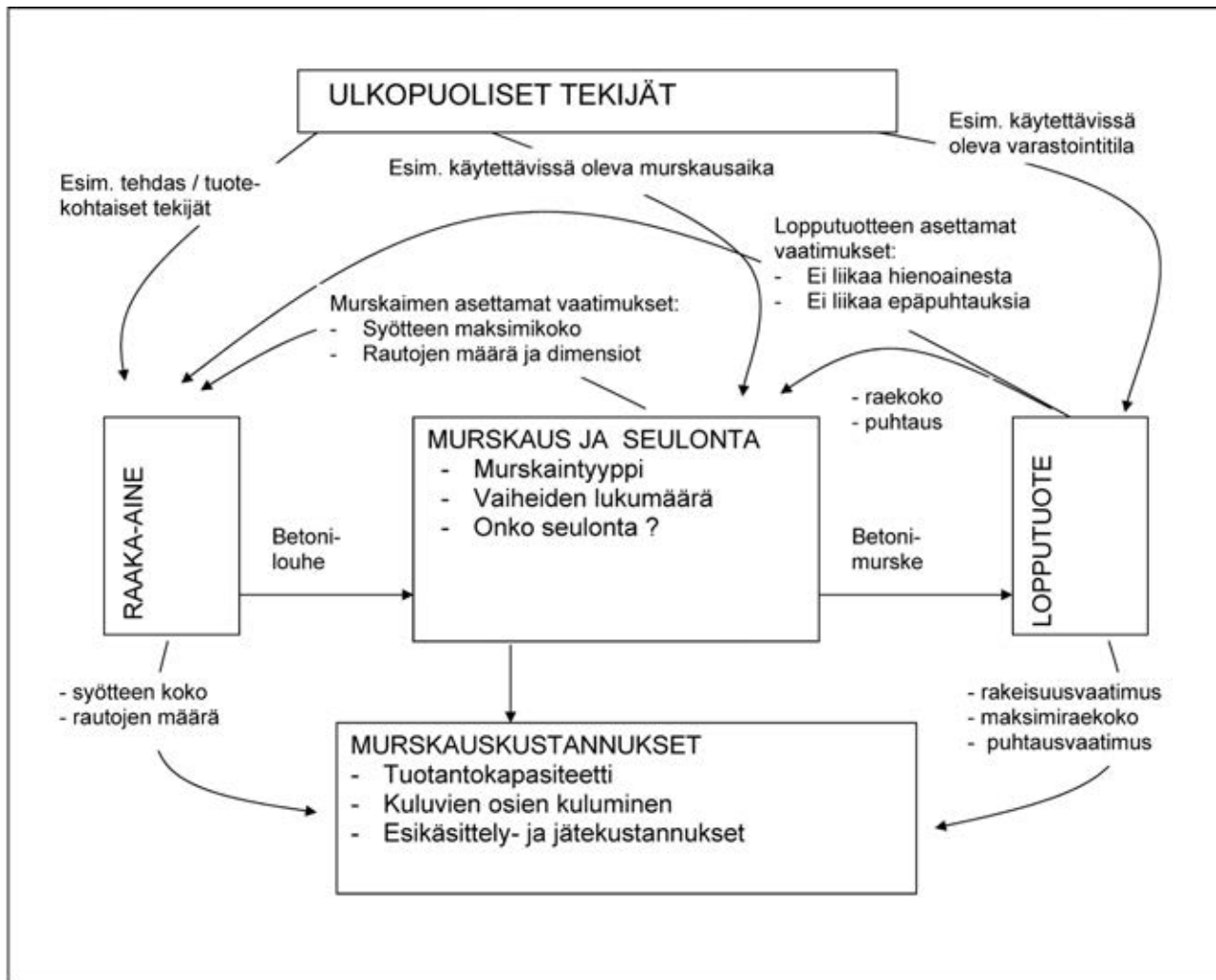
Betonin murskauksessa lopputuote asettaa omat vaatimuksensa niin raaka-aineelle kuin murskausprosessille. Raaka-aineen täytyy olla sellaista, että siitä voidaan valmistaa halutunlaista lopputuotetta. Raaka-aineen on myös oltava sellaista, että se voidaan jalostaa käytettävissä olevalla

murskauskalustolla. Murskaus on pyrittävä toteuttamaan myös siten, että kustannukset ovat mahdollisimman pienet. Oleellimmat kokonaiskustannuksiin vaikuttavat tekijät ovat tuotantokapasiteetti, kulutusosakustannukset ja raaka-aineen esikäsittelyn sekä jäljelle jäävän jätteen käsittelykustannukset. Kuvassa 39 on esitetty betoninmurskausprosessin keskeisiä riippuvuussuhteita. Kuten kuvasta käy ilmi, on muuttujia paljon ja esim. ulkopuoliset tekijät voivat vaihdella runsaasti. Tästä johtuen esimerkiksi purkutyömaalla tapahtuvan betoninmurskauksen teknis-taloudellinen järkevyys ja mahdollisuudet on selvitettävä joka kerta tapauskohtaisesti.

Betonijätteen käyttö pulveroituna

Betonijätteen pulverointi sopii hyvin ja on usein jopa välttämätön esikäsittely ennen murskausta, mutta jätteen ainoana käsittelynä se tulee vain harvoin kyseeseen. Joissain tapauksissa pulveroidun betonijätteen käyttö voi olla järkevää, jos esimerkiksi tehdasalueella on rakennustyön yhteydessä suuri täyttötarve. Pääsääntöisesti betonijäte kannattaa murskata lähes aina. Murskaamalla betonijätteestä saadaan korkealaatuisempi ja tasalaatuisempi uusiotuote. Lisäksi koko raudoitus voidaan kierrättää ja muut epäpuhtaudet saadaan paremmin poistettua. Betonimurskeella on huomattavasti enemmän käyttömahdollisuuksia ja sen arvo on suurempi. Pulveroimalla käsitelty betonijäte kelpaa parhaimmillaankin vain toisarvoisiin täyttötöihin.

Ongelmana tällä hetkellä on lisäksi täydellinen pulveroitua betonijätettä koskevan tutkimusaineiston ja ohjeistuksen puute. Jätteestä valmistetun uusiotuotteen markkinoille tuontiin kuuluu oleellisena osana pitkät ja laajat tutkimukset niin teknisistä kuin ympäristökelpoisuuteen liittyvistä ominaisuuksista (Tammirinne et al.). Käytännössä ohjeistuksen puuttuminen aiheuttaa sen, että jokaisessa rakennuskohteessa on rakennuttajan, suunnittelijan ja urakoitsijan erikseen mietittävä edellytykset käyttää pulveroitua betonijätettä. Tämä vaatii suuren



Kuva 39. Betoninmurskausprosessin keskeisiä riippuvuussuhteita.

lisäpanostuksen asiaan kaikilta rakentamisen osapuolilta. Lisäksi murskaamattoman ja luokittelemattoman betonijätteen käyttö vaatii aina ympäristöluvan. Betonin käyttö pulveroituna on siis järkevä vaihtoehto vain harvoissa tapauksissa.

7.2.3 Käyttö maarakenteiden sitomattomissa kerroksissa

Käytännössä joka puolella maailmaa betonimurskeesta yli 90 % käytetään maarakentamisessa. Muut käyttösovellukset ovat joko kannattamattomia tai kehitysasteella. Poikkeuksena ovat maat, joissa kiviaineen otto on kiellettyä tai hyvin rajoitettua: näissä maissa betonimursketta käytetään merkittäviä määriä myös betonin runkoaineena. Maarakentamisessa pääasiallisin betonimurskeen käyttökohde on maarakenteiden

sitomattomat kerrokset: Teiden, katujen sekä piha- ja pysäköintialueiden päällysrakennekerrokset. Betonimursketta on kuitenkin mahdollista käyttää myös putkijohtokäiväntöissä, ympäristörakentamisessa, talorakennuksen maatoissa ja muissa täyttö- ja pengerrystöissä.

Betonimursketta on käytetty paljon eri puolilla maailmaa sitomattomissa rakennekerroksissa. Sitomattomissa kerroksissa käytetään luonnon kiviaineksia samoin kuin teollisuuden sivutuotteita ja muita tuotteita, jotka täyttävät kullekin rakennosalle asetetut vaatimukset. Yleensä nämä vaatimukset liittyvät materiaalin lujuusominaisuuksiin ja rakeisuuteen. Betonimurske eroaa luonnon kiviaineksista mm. lujuusominaisuuksien osalta siten, että kivimateriaalia koskevat lujuusominaisuudet ovat yleensä huonommat. Toisaalta betonimurskeen hydrauliset



Kuva 40. Betonimurske kadun kantavassa kerroksessa.

ominaisuudet, jotka saavat aikaan betonimurskeen lujittumisen, tekevät siitä jäykemmän ja paremmin kantavan kuin luonnon kiviaineksesta tehdyn rakenteen.

Laajinta betonimurskeen käyttö sitomattomissa kerroksissa on muutamissa Keski-Euroopan maissa ja Yhdysvalloissa. Useissa Euroopan maissa, mm. Hollannissa ja Tanskassa betonimurskeen käyttöä on tutkittu paljon ja myös normitustyö on jo pitkällä. Normituksissa on usein luokiteltu erilaisia betonimurskeita, myös sellaisia, joissa on tiiltä mukana.

Suomessa betonimurskeen käyttöä sitomattomissa rakennekerroksissa on tutkittu 90-luvun alkupuolelta lähtien. Betonimurskeen käytön ohjeistamisesta maarakenteiden sitomattomissa kerroksissa on enemmän kohdassa 4. Kuvassa 40 näkyy betonimurskeen käyttöä kadun kantavassa kerroksessa Helsingin Mellunkylässä.

7.2.4 Käyttö maarakentamisen sitovissa kerroksissa

Betonimursketta käytetään kohtuullisessa määrin maabetonin ja asfaltin runkoaineena erityisesti Pohjois-Amerikassa. Useissa tapauksissa käyttö maabetonin tai asfaltin runkoaineena ei kuitenkaan ole kannattavaa, tai ainakin on löydettävissä vielä kannattavampi tapa sen hyödyntämiseen.

Maabetonia eli sementillä sidottua rakennekerrosta käytetään yleensä kantavassa kerroksessa, joskus myös jakavassa kerroksessa. Maabetonirakenteen etuja maarakenteessa ovat sen suuri jäykkyys sekä hyvät deformaatio-ominaisuudet. Betonimurskeella voidaan korvata luonnon runkoaines maabetonissa joko osittain tai kokonaan. Käyttämällä betonimursketta runkoaineena voidaan saavuttaa samat lujuudet hieman pienemmällä sementtimäärällä. Tämä perustuu siihen,



että murskatussa betonissa on aina jonkin verran sitoutumatonta sementtiä, joka voi optimikosteudessa ja tiivistettynä reagoida uudelleen rakenteessa.

Maabetonirakenteen rakentaminen ei poikkea normaalista, kun käytetään luonnon kiviaineksen tilalla betonimursketta. Massan sekoittaminen voidaan tehdä joko asemasekoitteisena tai paikalla sekoittaen. Levittäminen tehdään asfaltinlevittimellä ja tiivistetään riittävän painavalla jyrällä.

Suomessa v. 1995 tehdyssä tutkimuksessa ja koetiessä havaittiin, että betonimurskeeseen tarvittiin hieman pienempi sementinlisäys kuin luonnon kiviainekseen. Tehdyt laboratoriotutkimukset ja koetien seurantamittaukset ovat osoittaneet, että betonimursketta voidaan käyttää ongelmitta maabetonin runkoaineena. Tällöin saavutetaan pieni säästö sementtimäärässä. Sementinsäästö on kuitenkin sen verran pieni, että betonimurskeen käyttö maabetonin runkoaineena laajassa mittakaavassa ei ole kovin mielekästä. Suomessa syynä tähän on ennen kaikkea se, että maabetonointityömaat ovat yleensä massamenekeiltään erittäin suuria ja betonimurskeen saatavuus on aina rajoitettua, varsinkin kohtuullisilla kuljetusetäisyyksillä.

Betonimurskeen hyvät käyttökokemukset sitomattomissa kerroksissa aiheuttavat kuitenkin sen, että monet käyttötavat maabetonikäytön tapaan jäävät kuitenkin vähemmän kiinnostaviksi ja kannattaviksi.

Betonimursketta käytetään muutamissa maissa asfaltin runkoaineena. Suomessa betonimursketta on käytetty asfaltin runkoaineena vain muutamissa koekohteissa. Asfaltin runkoaineen tekniset laatuvaatimukset ovat erittäin korkeat Suomessa. Betonimurskeen käyttö asfaltin runkoaineena on periaatteessa täysin mahdollista. Käytön vaatimuksena on, että betonimurske täyttää asfaltin runkoaineelle asetetut tekniset vaatimukset ja sen käyttö on taloudellisesti mielekästä. Betonimurske on myös seulotava riittävän moneen fraktioon, jotta siitä voidaan suhteuttaa halutunlainen rakeisuuskäyrä.

Betonimurskeen käyttöä asfaltin runkoaineena on tutkittu perusteellisemmin Suomessa v.1996. Deformaatiokestävyydeltään betonimurskeesta tehty asfalttipäällyste on erinomainen. Betonimurskeen kulutuskestävyyteen liittyvät ominaisuudet ovat kuitenkin pääsääntöisesti huonoja. Betonimurskeen lujuuteen liittyvät kiviainesominaisuudet eivät täytä vaatimuksia, jotka on asetettu päällysteille, joilta vaaditaan kulutuskestävyyttä. Myös betonimurskeesta valmistetun asfalttibetonin kulumiskestävyysarvot SRK-kokeessa olivat huonoja. Lisäämällä betonimurskeeseen kovaa kiviainesta saadaan kulumiskestävyyttä parannettua jonkin verran. Betonimurskeesta ei kuitenkaan saada kulumiskestävyydeltään hyvää päällystettä. Tällaisia päällysteitä ei kannata käyttää vilkkaasti liikennöidyillä tieosuuksilla.

Betonimurskeen hienoaineksen suuresta ominaispinta-alasta ja veden absorptiosta aiheutuu massan huono tiivistettävyyys. Hienoaineksen ominaisuuksista johtuen myös sideaineen kulutus on suurempi, mikä johtaa massan hinnan nousemiseen. Vedenkestävyys on hieman alhainen eikä täytä asfalttinormien vaatimusta. Päällysteen laatua voidaan parantaa erottamalla hienoaines ja korvaamalla se esimerkiksi kalkkifillerillä. Runkoaineen ylimääräiset käsittelyt kuitenkin nostavat kustannuksia ja samalla syntyy käyttökelvotonta jätettä.

Huolimatta betonimurskeen muutamista hyvistä ominaisuuksista ei sen käyttö asfaltin runkoaineena ole mielekästä. Erityisesti Suomen olosuhteissa on näin, koska nastarengaskuormitus rasittaa suurinta osaa asfalttipäällysteistä. Maissa, joissa ei ole nastarengaskulutusta, voi käyttö tulla helpommin kyseeseen. Suomessa on lisäksi tällä hetkellä saatavissa huomattavasti parempilaatuisia kiviaineita kohtuullisin kustannuksin.

7.2.5 Betonimurskeen maarakennuskäytön ohjeistus

Suomessa betonimurskeen maarakennuskäyttö on ohjeistettu sitomattomien rakennekerrosten osalta 90-luvun lopulla.



Maarakennusmateriaalien merkittävimmät käyttäjät Suomessa ovat Tielaitos ja kunnat. Nämä tahot ovat kantaneet myös päävastuun betonimurskeen käytön ohjeistamisesta. Keväällä 2000 julkaistiin betonimurskeen käyttöä koskevat mitoitus- ja työohjeet niin Tielaitoksen kuin Kuntaliiton sarjoissa. Tielaitoksen "Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa" ilmestyi Tielaitoksen selvityksiä -sarjassa ja Kuntaliiton "Betonimurske kadun päällysrakenteessa 2000" puolestaan täydentää julkaisua "Kunnallisteknisten töiden yleinen työselitys 97" (KT-97).

Betonimurskeen käyttöä on ohjeistettu pitkälle myös talonrakentamisen tarpeita varten. Käyttömahdollisuudet on esitetty julkaisussa "RIL 132 - Talonrakentamisen maatyöt".

Tällä hetkellä voimassa olevassa ohjeistuksessa betonimurskeet on laatuluokiteltu neljään luokkaan, joista huonoimman luokan betonimurskeellakin on suhteellisen tiukat laatuvaatimukset. Ohjeistuksessa on määriteltä yksityiskohtaisesti betonimurskeen laadunvalvontamenetelmät ja laadunvalvontaohjelma (LIITE 3). Lopputuloksena on halutut tekniset laatuvaatimukset täyttävä ja ympäristön kannalta riskitön uusiotuote.

Betonimurskeelle on laadittu myös maarakennuskäyttöä koskeva laadunhallintajärjestelmä, joka perustuu suurelta osin em. ohjeistukseen. Laadunhallintajärjestelmä ja ohjeistus määrittelee betonimursketta koskevat tekniset ja ympäristökelpoisuuteen liittyvät ominaisuudet sekä niiden tutkimisen.

Muutamille pisimmälle kehitetyille teollisuuden sivutuotteille ja jätteistä valmistetuille uusiotuotteille ollaan laatimassa kullekin omaa Valtioneuvoston asetusta niiden käytöstä maarakentamisessa. Asetuksen valmistelutyön pohjana ovat EU:n nykyiset ja tulevat jäteaineiden hyödyntämistä koskevat säädökset sekä jäsenmaissa tällä het-

kellä olemassa olevat kansalliset säädökset. Betonimurskeen ohella muita mahdollisia tuotteita ensimmäisessä vaiheessa ovat kivihiilituhkat sekä terästeollisuuden kuonat. Betonimurskeen osalta valmistelutyö on pisimmällä ja on mahdollista, että sitä koskeva asetusta on voimassa keväällä 2005 pakollisen EU:n notifiointikierroksen jälkeen.

Eurooppalainen normitus

Jätteen määrän vähentäminen sekä teollisuuden sivutuotteiden ja uusiomateriaalien hyötykäytön lisääminen on tavoitteena koko EU:n alueella. Näiden materiaalien käyttöaste ja -käyttötavat poikkeavat Euroopan eri maissa huomattavasti toisistaan. Sivutuotteiden ja uusiomateriaalien hyötykäyttöä ollaan tutkimassa ja luomassa ohjeistusta useissa Euroopan maissa kansallisesti ja pitkällä tähtäimellä myös yleiseurooppalaisesti.

Keskeisiä organisaatioita tässä työssä ovat myös kansainväliset järjestöt kuten OECD, RILEM ja CEN. Nämä organisaatiot ovat perustaneet kansainvälisiä työryhmiä ja teknillisiä komiteoita selvittämään myös sivutuotteiden ja uusiomateriaalien käyttöä. Merkittävä taho on myös European Demolition Association (EDA), johon kuuluu purku-urakoitsijoita, jätteen jalostajia ja muita alalla toimivia yrityksiä eri puolilta Eurooppaa.

Sivutuotteiden ja uusiomateriaalien normitusta koskee sama ongelma kuin kiviainesnormitusta Euroopassa, kansallista normitusta on suhteellisen paljon olemassa ja näiden yhteensovittaminen on erittäin vaikeaa ja pitkäkestoista. Lisäksi on olemassa runsaasti erilaisia tahoja, joilla on omat intressinsä normitustyön suhteen. Monien toisistaan riippumattomien ja eri intressipiirejä edustavien tahojen mukanaolo johtaa väistämättä normitustyön vaikeutumiseen ja pitkittymiseen.



8 YHTEENVETO

Lainsäädäntö

Kierrätysmateriaalien ominaisuudet ja raja-arvot

Kierrätysvesien ja ylijäämalietteiden ominaisuuksia tutkittiin kahdestatoista eri betonitehtaasta otettujen näytteiden avulla. Kaikki tutkitut vesinäytteet alittivat viemäriin johdettavalle jätevedelle annetut ohjeelliset raja-arvot eri alkuaineiden osalta. Kierrätysvesien ainut huono ominaisuus on korkea pH. Kaikki analysoidut lietenäytteet puolestaan alittivat lannoitelaissa maanparannusaineelle annetut raja-arvot. Betonilietteiden soveltuvuutta kalkitusaineeksi tutkittiin määrittämällä neutraloiva kyky viidestä erilaisesta lietteestä. Tutkituista lietteistä yksi ylitti sellaisenaan kalkitusaineelle asetetun neutraloivan kyvyn arvon 10 %, muiden lietteiden kuiva-ainepitoisuutta pitäisi nostaa.

Kierrätysvesi ja pestyt kiviainekset

Kierrätysvesi eli betoniteollisuuden prosesseista talteen otettu vesi, joka voi myös sisältää pieniä kiintoainepartikkeleita (slurry), soveltuu betonissa käytettäväksi. Sen tulee kuitenkin täyttää Vesistandardissa asetetut vaatimukset ja sen käytölle on tiettyjä rajoituksia. Esimerkiksi siitä betoniin tulevan kiintoaineen määrää on rajoitettu 1 painoprosenttiin betonin kiviaineksesta.

Kierrätysveden tiheyttä tulee seurata. Kierrätysveden, jonka tiheys on yli 1,01 kg/litra, sisältämä kiintoainemäärä otetaan huomioon betonin ominaisuuksien määrittelyssä. Kierrätysvettä on ongelmattominta käyttää perusbetoneissa, joille ei ole erityisvaatimuksia. Sen käyttö on kuitenkin periaatteessa mahdollista kaikissa betoneissa.

Saatujen tutkimustulosten mukaan kierrätysve-

si ei vaikuttanut liiallisesti betonin ominaisuuksiin kuten puristus- ja taivutusvetolujuuteen, sitoutumisaikaan, massan työstettävyyteen ja betonin kutistumiseen tai tiiviyyteen. Mahdolliset pienet ja tapauskohtaiset vaikutukset voidaan hallita normaalein betonin valmistusteknisin keinoin ja laadunvalvonnan kautta. Kierrätysveden mahdollinen vaikutus betonin huokostukseen voidaan ottaa huomioon ja hallita esitetyllä laadunvalvontamenettelyllä.

Pestyjä eli tuorekierrätettyjä kiviaineksia ovat kiviainekset, jotka on otettu talteen pesuvedestä tai betonimassasta. Pesty kiviaines soveltuu sekä teknisesti että ympäristökel- poisuuden kannalta maarakennuskäyttöön yhtä hyvin kuin vastaava luonnonkiviaines. Sitä voidaan käyttää lajitteisiin jakamattomana myös betonissa, kunhan sen määrä on alle 5 % kiviaineksen kokonaismäärästä. Jos sitä käytetään enemmän, se tulee jakaa karkeisiin ja hienoihin lajitteisiin, joiden tulee täyttää normaalit betonin kiviaineksille asetetut vaatimukset.

Ylijäämalietteen prosessointi ja käyttö

Betonilietteet ovat käytetyn kierrätysjärjestelmän mukaisesti joko juoksevia lietteitä, joiden vesipitoisuus on yli 60 painoprosenttia, tai kokkareisia, jolloin niiden vesimäärä on yleensä alle 40 painoprosenttia. Lietteiden käyttökelpoisuus sekä sellaisenaan että jatko-prosessoinnin kannalta paranee, jos kierrätysjärjestelmä sisältää niiden vesimäärän mekaanisen pienentämisen tai luonnollisen kuivumisen. Lietteiden kuivuminen on kuitenkin erittäin hidasta ja suhteessa vallitseviin olosuhteisiin.

Betonilietteet ovat erittäin emäksisiä eli niiden pH on suuri (12 – 13). Erityisesti sahaus- ja hiontalietteitä on mahdollista hyödyntää pH:n nostossa esimerkiksi kalkitusaineena pelloilla. Lieke voi soveltua myös valmiin kompostin seosaineeksi.



Betonilietteiden ympäristökelpoisuus ei ole ongelma kunhan ne käsitellään ja sijoitetaan oikein. Kuivatettuina tai sellaisenaan lietteitä voidaan käyttää maarakennuskohteissa, joissa ei ole suuria teknisiä vaatimuksia kuten viherrakentamisessa, maisemoinnissa, piharakenteissa, pengertäytteenä, meluvalleissa ja kaatopaikkarakenteissa sekä erilaisissa täytöissä. Lietteiden herkkään liettymiseen tulee kuitenkin kiinnittää huomiota ja niiden hallitsematon leviäminen ympäristöön tulee estää. Sijoitus tärkeille pohjavesialueille ei ole suositeltavaa.

Lietteiden käyttökelpoisuutta uusiomateriaalina tai -tuotteena voidaan lisätä jatkoprosessoinnilla. Riittävän kuivat lietteet on mahdollista rakeistaa apuaineen kuten lentotuhkan avulla tai ne voidaan murskata pieniksi rakeiksi. Erityisesti niiden käytettävyyttä kalkitusaineena voidaan näin parantaa. Sekä kiinteiden että juoksevien lietteiden lujuutta voidaan lisätä stabiloimalla liete sideaineella tai käyttämällä lietettä osa-aineena kiviainesta sisältävissä maarakennus- ja täyttömassoissa. Lieite soveltuu lähinnä lujuudeltaan alhaisiin ($< 0,5\text{--}1\text{ MPa}$) massoihin, joissa sideainemäärä ei muodostu kustannusten kannalta liian suureksi. Sideainemäärän pienentäminen voi olla mahdollista paitsi lietettä kuivattamalla ja massan koostumusta optimoimalla myös sekoittamalla massaan esimerkiksi voimakkaasti kosteutta sitovaa ainetta. Jatkokehitystä, käytännön hyötykäytön järjestämistä ja uusia ideoita tullaan vielä tarvitsemaan, jotta kaikki syntyvä betoniliete saataisiin uusiokäyttöön.

Kierrätysprosessit

Kierrätysteknologian käyttö ja pääraaka-aineiden kierrätys ei ole Suomen betoniteollisuudessa vielä kovin yleistä. Kierrätysprosesseissa käytettävästä teknologiasta ja laitteistoista on Euroopassa kuitenkin jo runsaasti käyttökokemuksia ja laitteiden kaupallinen tarjonta on riittävän laajaa ja laadukasta. Kierrätysveden laatua ja käyttöä selventävän standardin käyttöönotto sekä muiden raaka-aineiden kierrätysohjeiden ajantasaisuus selkeyttävät tilannetta ja

mahdollistavat kierrätysprosessien suunnittelun ja toteutuksen. Kierrätysprosessien suunnittelun lähtökohtana tulee aina olla tehdaskohtaisen tilanteen kartoittaminen ja suunnitelmissa olevien tuotannon laajennussuunnitelmien huomioiminen. Laitteistojen ja kierrätysprosessin mitoituksessa on huomioitava lisäksi riittävät puskurit huippukuormia ajatellen.

Laitetekniikan osalta tuli kaikissa kartoituksissa kohteissa esiin kierrätysveden, etenkin selkeyttämättömän kierrätysveden pumppu- ja putkistoja kuluttava vaikutus ja kerääntymisominaisuus pumpuissa, venttiileissä ja putkistoissa. Putkistojen huuhtelu ja koko laitteiston säännöllinen ennakko- ja huolto ovat kierrätysprosessien toimivuuden perusedellytyksiä. Erittäin merkittävän tekijän muodostaa laitteistojen käyttäjien kouluttaminen ja perehdyttäminen kierrätysprosessin laitteistojen oikeaan käyttöön. Huolellisella käytöllä ja vesimäärien optimoinnilla sekä pesupaikkojen rationaalisilla sijoituksilla ja siisteydellä pystytään parantamaan laitteistojen toimivuutta ja kapasiteettia.

Merkittävä tekijä betonitehtaiden työskentelyolojen parantamisessa ja työturvallisuuden kehittämisessä sekä tehtaiden tuotantohäiriöiden vähentämisessä on betonilieteprosessin ja vedenkierrätysprosessin hallinta. Työskentelyolojen parantamisella on suora vaikutus myös toimialan imagoon ja työviihtyvyyteen. Talviolosuhteet edellyttävät katettuja ja vähintään puolilämpimiä pesupaikkoja betonin kuljetuskaluston pesussa. Voimakkaasti emäksisen kierrätysveden ja betonilietteen työturvallisuusriskit tulee myös ottaa huomioon tuotannossa.

Murskatun betonin uusiokäyttö tienrakentamisessa

Suomessa kaikesta kiviaineksestä suurin osa menee maarakentamiseen, joka on myös betonimurskeen potentiaalisin käyttöalue.

Suurin osa betonimurskeista käytetään Suomessa tällä hetkellä maarakentamisessa. Käyttötapa maarakentamisessa on lähinnä



teiden, katujen, kenttien ja pihojen kantavissa ja jakavissa kerroksissa. Suurimmat betonimurskeen käyttäjät ovat Tielaitos, kunnat ja yksityiset maarakennusliikkeet.

Betonimurskeen käyttövolyyymi on vuonna 2004 noin 300 000 tonnia ja rakennuskohteiden määrä satoja. Betonimurskeen käyttömäärä on vakiintunut ja kasvuvauhti hidastunut selvästi viime vuosina. Betonijätteen kierrätysaste on nyt jo noin 50 %:n luokkaa eli valtioneuvoston päätöksessä rakennusjätteistä esitetyn valtakunnallisen kierrätystavoitteen tasolla. Tämä on erinomainen taso, kun vielä muutama vuosi sitten, vuosina 1996-97, volyymit olivat alle 30 000 tonnia vuodessa ja kierrätysaste siis 3-5 %.

Suomessa on tällä hetkellä viitisentoista betonimurskaukseen soveltuvaa murskauslaitosta. Näistä puolen kymmentä on iskumurskaimia ja loput leukamurskaimia. Laitokset ovat joko tela- tai pyöräalustaisia, ja painoluokaltaan 20...60 tonnia. Laitosten tuotantokapasiteetti on 100 000...200 000 tonnia/laitos, joten olemassa oleva kalusto riittää helposti täyttämään Suomessa olevan murskaustarpeen ja alalla on riittävästi kilpailua.

Betonin maarakennuskäytöllä on tällä hetkellä kokonaisuutena hyvä toimintaympäristö Suomessa. Betonimurskeen käyttö on hyvin ohjeistettu ja sen käytöstä on laajat käyttökokemukset. Tuleva Valtioneuvoston asetus tulee edelleen parantamaan betonimurskeen maarakennuskäytön edellytyksiä. Muista aineista ja materiaaleista vapaa betonimurske ei myöskään aiheuta ympäristöriskejä ja se on teknisesti erinomainen tuote. Korkealuokkainen maarakennuskäyttö tulee jatkossakin säilymään merkittävimpana käytötapana Suomessa ja myös suuressa osassa Eurooppaa. Eräissä olosuhteissa betonimursketta voidaan käyttää myös maabetonin tai asfaltin runkoaineena.

Murskatun betonin uusiokäyttö betonin kiviaineksena

Betoninormien ja SFS-EN 206-1:n mukaan betonimurske on uusiokiviainesta, jonka

käyttöä betonissa ei rajata pois, vaikka käyttöä ei vielä olekaan tarkoin ohjeistettu. Suomalaisen Kiviainesohjeen [Betonin kiviainekset 2001] mukaan uusiokiviainesta käytettäessä tulee osoittaa, että se on kelpoista aiottuun tarkoitukseen. Useissa maissa on olemassa tarkempaakin ohjeistusta betonimurskeen käyttöön. Uusiokiviainekselle soveltuvia EN-testausstandardeja on valmistumassa ja noin vuonna 2007 uusittavaan betonikiviainesten EN-standardiin [SFS-EN 12620] on tulossa lisäsäännökset uusiokiviainekselle. Myös suomalaisen Kiviainesohjeen uusiminen on aloitettu.

Hyvälaatuista betonimursketta on mahdollista käyttää betonissa 20 – 30 % koko kiviaineksesta ilman, että se vaikuttaa oleellisesti betonin perusominaisuuksiin. Murskeen laadun varmistaminen on mahdollista tiettyjen mitattavissa olevien ominaisuuksien kautta. Laatuun vaikuttaa esimerkiksi käytetty prosessointimenetelmä. Hienoainesmäärään ja sen vaikutuksiin betonissa tulee kiinnittää huomiota. Samoin tulee kiinnittää huomiota murskeen tiheyteen, johon vaikuttaa mm. laastiosuus, sekä vedenimuominaisuuksiin ja vieraiden aineiden määriin. Jos murske on peräisin tunnetun koostumuksen betonista, johon ei ole sen käytössä siirtynyt vieraita aineita, on murskeen laadunvalvonta ja käyttö suhteellisen yksinkertaista. Rakeisuuden osalta betonimurskeen käyttö vastaa luonnonkiviaineksen käyttöä.

Ulkomaisissa ohjeistuksissa betonimurskeen käyttöä on rajattu lujuus- ja ympäristörasitusluokkaan perustuen. Käyttöä ei suositella, jos betoni tulee olosuhteisiin, joissa se altistuu sulatussuoloille tai ankaralle pakkasrasitukselle. Ohjeistukset koskevat yleensä vain karkeaa betonimursketta (> 4 mm), sillä hienon murskeen käytön ohjeistukseen ei ole vielä riittävästi tietoutta ja se vaikuttaa karkeaa mursketta enemmän betonin tehollisen vesimäärän ja työstettävyyden hallintaan. Betonimurskeen käytön ohjeistukset eivät ole ehdottomia, vaan käyttöä voidaan laajentaa tapauksen mukaisen lisätiedon ja -testauksen avulla. Tietyissä betonoinneissa koko karkea kiviaines on mahdollista korvata betonimurskeella.



VIITTEET

- ACI 229R-99. 1999. Controlled Low Strength Materials (CLSM), American Concrete Institute, Committee 229 Report, 1999, 15 s.
- Ajdukiewicz, A. & Kliszczewicz, A. 2002. Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. Cement & Concrete Composites, Vol. 24, s. 269 – 279.
- Assmuth, T. 1997. Selvitys ja ehdotuksia ympäristövaarallisten aineiden pitoisuuksien ohjearvoista maaperässä – tiedolliset perusteet, määrittelyperiaatteet, soveltaminen, kehittäminen. Suomen ympäristökeskuksen moniste no 92. 56 s.
- Benzaazoua, M., Belem, T. & Bussie`re, B. 2002. Chemical factors that influence the performance of mine sulphidic paste backfill. Cement and Concrete Research 32 (2002), s. 1133–1144.
- Betonimurske kadun päällysrakenteessa. 2000. Suunnitteluohje ja työselustus (täydentää julkaisua KT97). Helsinki, Suomen kuntaliitto. 28 s.
- Betonimurskeen käyttö tien päällysrakennekerroksissa. 2000. Mitoitus- ja työohjeet. Tielaitoksen selvityksiä 5/2000. Helsinki, Tielaitos. 25 s.
- Betonin kiviainekset. 2001. By 43. Suomen Betoniyhdistys r.y., 65 s.
- Betoninormit 2004. By 50. Suomen Betoniyhdistys r.y. 186 s. + liitt. 76 s.
- BS 8500-1:2002. 2002. Concrete - Complementary British standard to BS EN 206-1 - Part 1: Methods of specifying and guidance for the specifier. 44 s.
- BS 8500-2:2002. 2002. Concrete - Complementary British standard to BS EN 206-1 - Part 2: Specification for constituent materials and concrete. 33 s.
- Chen, H. J., Yen, T. & Chen K.-H. 2003. Use of building rubbles as recycled aggregate. Cement and Concrete Research, Vol. 33, s. 125 – 132.
- Chini, A. R., Muszynski, L. C., Bergin, M. & Ellis, B. S. 2001. Reuse of wastewater generated at concrete plants in Florida in the production of fresh concrete. Magazine of Concrete Research, 2001, 53, No. 5, October, s. 311 – 319.
- Collins. R. J. & Nixon, P. J. 2003. Implications of the harmonisation of construction product standards for the use of recycled and secondary aggregates. The Waste & Resources Action Programme. 3 October 2003. 44 s.
- DAfStb-Richtlinie 1995. DAfStb-Richtlinie für Herstellung von Beton unter Verwendung von Restwasser. Restbeton und Restmörtel. 6 s.
- DAfStb-Richtlinie. 1998. Beton mit rezykliertem Zuschlag. August 1998, 16 s.
- Deal, T.A. 1997. What It Costs to Recycle Concrete. Article in C&D Debris Recycling, September/October 1997. 4 s.
- Demolition and Construction Debris. Questionnaire about an EC Priority Waste Stream. Hague, European Demolition Association. 20 s.
- Georgia Concrete & Products Association. 2001, Flowable Fill ... 15 Reasons to Use Flowable Fill. Internet: http://www.gcpa.org/flowable_fill.htm



- Ilker B. T. & Selim S. 2004. Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, s. 1307 - 1312.
- John Emery Geotechnical Engineering Limited (JEGEL). 1992. Mineral Aggregate Conservation -Reuse and Recycling. Ontario, Ontario Ministry of Natural Resources. 42 s.
- Kasai, Y. 2004. Recent trends in recycling of concrete waste and use of recycled aggregate concrete in Japan. Julkaisussa: ACI SP-219, Recycling concrete and other materials for sustainable development, Ed. Liu, T. C. & Meyer, C. s. 11 - 34.
- Katz, A. 2003. Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, s. 703 - 711.
- Katz, A. & Kovler, K. 2004. Utilization of industrial by-products for the production of controlled low strength materials (CLSM). *Waste Management*, Vol. 24, Issue 5, 2004, s. 501-512.
- Kauppila, J. 2000. Teollisuusjätteiden hyötykäyttö maarakennuksessa - lupasääntelyn ongelmat ja kehittämismahdollisuudet. Suomen ympäristökeskus. Helsinki, Suomen ympäristö (julk. 2000).
- Kesimal, A., Yilmaz, E. & Ercikdi, B. 2004. Evaluation of paste backfill mixtures consisting of sulphide-rich mill tailings and varying cement contents. *Cement and Concrete Research* 34 (2004), s. 1817-1822.
- Kuosa, H. 2004 A. Betonin ja betonilietteen kierrätys. Kierrätysveden Betoninormien mukainen käyttö. Betoninormit 2004 (by 50), SFS-EN 206-1 ja SFS-EN 1008. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Sisäinen raportti RTE40-IR-21/2004, 16 s.
- Kuosa, H. 2004 B. Betonin ja betonilietteen kierrätys. Kierrätysveden vaikutus betonin ominaisuuksiin. Laboratoriotutkimukset ja tehdaskokeet 2003 - 2004. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Sisäinen raportti RTE40-IR-22/2004, 47 s.
- KT97. 1997. Kunnallisteknisten töiden yleinen työselitys KT97. Helsinki, Suomen kuntaliitto. 290 s.
- Levy, S. M. & Helene, P. 2004. Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development. *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, s. 1975-1980. Internet: <http://www.wrap.org.uk/publications/ImplicationsStandardHarmonisationAgg.pdf>
- MMp 46/1994. Maa- ja metsätalousministeriön päätös N:o 46/1994.
- Nan, S., Buquan, M. & Fu-Shung, L. 2002. Effect of wash water and underground water on properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol 32, s. 777 - 782.
- Neville, A. 2000. Water - Cinderella ingredient of concrete. *Concrete International*, September 2000, s. 66 - 71.
- OECD Environmental data, Compendium 1997. Paris, OECD.
- Oinonen Maija- Leena, Valmisbetoniteollisuuden lietteen hyötykäytön luvanvaraisuus. Diplomityö 1.12. 1999, TKK, Maanmittausosasto, Talousoikeuden laboratorio.
- Olorunsogo, F. T. & Padayachee. N. 2002. Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes. *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, s. 179 - 185.
- Otsuki, N., Miyazato, S. & Yodsudjai, W. 2003. Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation



- of concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, September/October 2003, s. 443 – 451.
- Poon, C. S., Shui, Z. H. & Lam, L. 2004 B. Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, Vol. 18, s. 461 - 468.
- Poon, C. S., Shui, Z. H., Lam, L., Fok, H. & Kou, S. C. 2004 A. Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 34, s. 31-36.
- prEN 1744-5. Tests for chemical properties of aggregates. Part 5: Determination of acid soluble chloride salts.
- prEN 1744-6. Tests for chemical properties of aggregates. Part 6: Determination of the influence of aggregate extract on the initial setting time of cement.
- prEN 933-11. Tests for geometrical properties for aggregates. Part 11: Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate.
- RCM – Reclaimed Concrete Material. Material Description and User Guideline. 1998. Publication No FHWA-RD-97-148. Mclean, U.S. Department of Transportation. 26 s.
- REACH- asetus, komission ehdotus KOM (2003) 644 lopullinen.
- RIL 132-2000. 2000. Talonrakennuksen maa- rakenteet – yleinen rakennusselostus ja laatuvaatimukset. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
- RIL 156 Maarakennus. 1995. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 486 s.
- Rilem Recommendation. 1994. Specification for concrete with recycled aggregates. 121-DRG Guidance for demolition and reuse of concrete and masonry. *Materials and Structures*, 1994: 27, s. 557 – 559.
- Räisänen, P. 2004. Liete alhaisen lujuuden massoissa. Laboratoriokokeiden työselvitys. Sisäinen raportti RTE40-IR-23/2004. VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka. 21 s.
- SFS-EN 1008. 2002. Betonin valmistukseen käytettävä vesi. Näytteenotto, testaus ja veden soveltuvuuden arviointi betonin valmistukseen, mukaan lukien betoniteollisuuden prosesseista talteen otettu vesi. 16 s.
- SFS-EN 196-2. Sementin testausmenetelmät. Osa 2: Kemiaalliset analyysimenetelmät.
- SFS-EN 196-21. Sementin testausmenetelmät. Sementin kloridi-, hiilidioksidi- ja alkalipitoisuuden määrittäminen.
- SFS-EN 206-1. 2001. Betoni. Osa 1: Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus. 73 s.
- SFS-EN 12620. 2003. Betonikiviainekset. 49 s.
- SFS-EN 1367-4. 1998. Kiviainesten lämpö- ja rapautuvuusominaisuuksien testaus. Osa 4: Kiviainesten lämpö- ja rapautuvuusominaisuuksien testaus.
- SFS-EN 206-1. 2001. Betoni. Osa 1: Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus. 73 s.
- SFS-5884. Betonimurskeen maarakennuskäytön laadunhallintajärjestelmä.
- Shauyan, A. & Xu, A. 2003. Performance and properties of structural concrete made with recycled concrete aggregate. *ACI Materials Journal*, September-October 2003, s. 371 – 380.



- Sigfrid, L. 1993. Bygg- & rivningsavfall, Reforsk FoU 81.
- Sndrolini, F. & Franzoni E. 2001. Waste wash water recycling in ready-mixed concrete plants. Cement and Concrete Research, Vol. 31, s. 485 – 489.
- Su, N., Miao, B., & Liu, F.-S. 2002. Effect of wash water and underground water on properties of concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 32, Issue 5, s. 777-782.
- Suomen Betonitieto 2003. Jätebetonin, betonilietteen ja jäteveden kierrätys. Väiliraportti: NykYTEknologian ja kierrätettävien materiaalien laadun kartoitus (15.10.2003). - Osa 5: Saara Isännäinen VTT/PRO. Kierto- ja jätevesien sekä lietteiden laatu tutkituissa betonitehtaissa. 10 s. + liitt. 3 s.
- Tammirinne, M., Juvankoski, M., Kivikoski, H., Leivo, M., Mroueh, U.-M., Mäkelä, E., Peltonen, P., Pihlajamäki, J. & Wahlström, M. 1995. Uusiotuotteiden maarakennuskäytön edellyttämät tutkimukset laboratoriossa ja koerakenteilla. Tutkimusraportti 278, TEKES & VTT, Espoo, toukokuu 1995, 110 s.
- Tavaila, A. 1995. Betonimurskeen käyttö koetiessä, Paikallistie 11591 välillä Rusutjärvi-Paijala. koerakennusraportti (julkaisematon). 8 s.
- TEKES 2000. Sivutuotteet maarakentamisessa. Käyttökelpoisuuden osoittaminen. Teknologia katsaus 93/2000. 87 s.
- VVY (Vesi- ja viemärlaitosyhdistys). 2002. Viemäriin Johdettavat teollisuusjätevedet, Teollisuusjätevesisopimus, raja-arvot, valvonta, taksat. Helsinki 2002. ISBN 952-5000-36-2.
- Ympäristöministeriö. 1994. Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa. Saastuneiden maiden tutkimus- ja kunnostusprojektin loppuraportti. Ympäristöministeriö Muistio 5/1994.



LIITE 1. VESISTANDARDIN SFS-EN 1008 VAATIMUKSET BETONISSA KÄYTETTÄVÄLLE KIERRÄTYS- JA YHDISTETYLLE VEDELLE

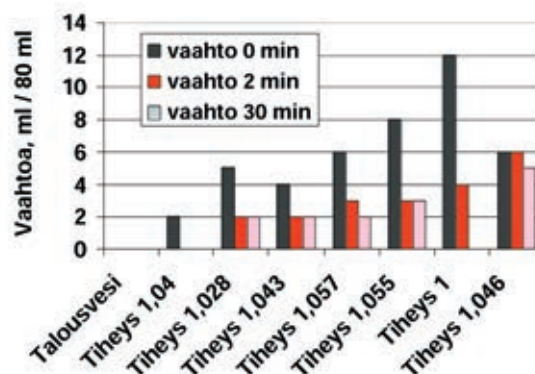
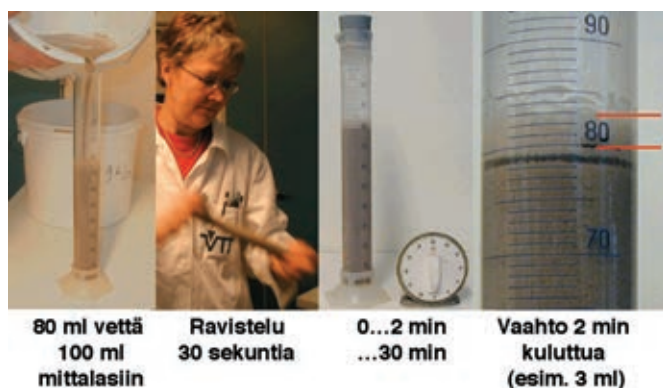
Alustava arviointi – mm. pinta-aktiiviset aineet, öljyt ja rasvat

Alustavan arvioinnin suorittaminen on esitetty vesistandardin kohdassa 6.1.1 ja vaatimukset on esitetty kohdan 4.2 taulukossa 1. Kaikkiaan se sisältää öljyjen ja rasvojen, pinta-aktiivisten aineiden, värin, lietteen, tuoksun, happamuuden ja humuksen alustavan arvioinnin. Näille kaikille on esitetty sekä testausmenetelmä että vaatimus.

Kierrätysveden osalta alustavassa arvioinnissa saadaan erityisesti tietoa siitä, sisältääkö vesi liiallisesti öljyä, rasvoja tai pinta-aktiivisia aineita. Öljyt ja rasvat voivat huonontaa betonissa kiviaines-pastatartuntaa ja vaikuttaa näin betonin mekaanisiin ominaisuuksiin. Lisäksi ne vaikuttavat oleellisesti huokostimen toimintaan. Pinta-aktiiviset aineet voivat lisätä ilmamäärää ja alentaa tätä kautta betonin lujuutta. Huokostetuissa betoneissa ne voivat vaikuttaa huokostuksen laatuun ja pysyvyyteen.

Alustavassa arvioinnissa veden happamuudelle asetettu vaatimus on $\text{pH} \geq 4$. Tämän vaatimuksen kierrätysvedet täyttävät aina, sillä niiden pH on erittäin suuri, yleensä yli 12.

Viitteen [Kuosa 2004 B] tutkimuksessa kierrätysvesissä ei havaittu öljyä tai rasvoja. Pinta-aktiivisia aineita niissä sen sijaan oli. Pinta-aktiivisten aineiden testauksessa 6/7:ssä tapauksessa veden ravistelussa sen pinnalle syntynyt vaahto ei kadonnut 2 minuutissa, mikä on alustavan arvioinnin vaatimus. 5/7 tapauksessa vaahto ei kadonnut kokonaan edes 30 minuutissa. Näin ollen on todennäköistä, että tyypillinen kierrätysvesi ei pinta-aktiivisten aineiden osalta yleensä täytä alustavan arvioinnin vaatimusta. Tämä tarkoittaa sitä, että veden soveltuvuus tulee todeta määrittämällä sitoutumisajat ja puristuslujuus (7 d) suhteessa vertailuun (ks. alla).



Kuva 41. Kierrätysveden alustavassa arvioinnissa sen pinnalle jäi yleensä ravistelukokeessa pysyvää vaahtoa eli vaahto ei kadonnut 2 minuutissa eikä yleensä edes 30 minuutissa. Kuvassa tulokset talousvedelle (ei vaahtoa) ja tiheydeltään erilaisille kierrätysvesille [Kuosa 2004 B].



Haitalliset epäpuhtaudet - sokerit, fosfaatit, nitraatit, lyijy ja sinkki

Haitallisia epäpuhtauksia, joita ovat sokerit, fosfaatit, nitraatit, lyijy ja sinkki, koskevien kemiallisten vaatimusten täyttyminen tulee selvittää, jos kierrätysveden vaikutusta betonin puristuslujuuteen ja sitoutumisaikaan ei määritetä (ks. alla).

Se, sisältääkö kierrätysvesi haitallisia epäpuhtauksia, voidaan ensin määrittää kvalitatiivisesti. Jos tällöin todetaan, että haitallisia epäpuhtauksia ei ole, voidaan vettä käyttää betonin valmistukseen.

Jos veden todetaan kvalitatiivisessa määrittämisessä sisältävän haitallisia epäpuhtauksia ja lisäksi tämän jälkeen valitaan niiden määrän kemiallinen määrittäminen, tulee epäpuhtauksien pitoisuuden olla Vesistandardissa annettuja raja-arvoja pienempiä. (ks. Vesistandardin kohdan 4.3.4 taulukko 3 Haitallisia aineita koskevat vaatimukset).

Vesistandardissa on annettu referenssimenetelmät, joita käyttäen haitalliset epäpuhtaudet yleensä määritetään. Myös muita testausmenetelmiä voidaan käyttää, jos niillä voidaan osoittaa saatavan vastaavat tulokset.

Koska talousvesi soveltuu betonissa käytettäväksi ilman testausta, käytettäessä kierrätysvedestä ja talousvedestä yhdistettyä vettä, on käytännössä yleensä mahdollista tutkia vain kierrätysveden haitalliset epäpuhtaudet ja kemialliset ominaisuudet (ks. alla). Vastaava menettely ei ole mahdollista silloin, jos kierrätysvesi yhdistetään jonkin muun kuin talousveden kanssa, jolla on omat ominaisuutensa (esim. pintavesi tai pohjavesi).

Kloridit

Kierrätysvedessä ei yleensä ole liikaa klorideja, jos valmistettavien betonien kloridipitoisuus ei ole merkittävä eikä kaluston pesuissa käytettävässä vedessä ole klorideja. Klorideja kierrätysveteen voi kuitenkin pe-

riaatteessa joutua esimerkiksi pintavesien mukana, jos niitä pääsee kierrätysvesialtasiin. Pintavesiin klorideja voi siirtyä esimerkiksi kuljetuskalustosta ja muista autoista tiesuolan käytön aikana. Autojen pesu tehdasalueella erityisesti kierrätysvesialtaiden läheisyydessä siten, että pesuvesi pääsee kulkeutumaan altaisiin, on riskitekijä.

Betoninormien [Betoninormit 2004] mukaan betonin valmistukseen käytettävä vesi ei yleensä saa sisältää klorideja enempää kuin 0,03 p.-% (Cl⁻). Veden sisältäessä klorideja ei Cl-pitoisuus saa ylittää Betoninormien taulukossa 4.1 (Veden sallittu kloridipitoisuus) esitettyjä arvoja, ellei voida osoittaa, että betonin kloridipitoisuus ei tule ylittämään Betoninormin taulukossa 4.12 (Betonin suurin sallittu kloridipitoisuus) esitettyjä arvoja.

Betoninormeissa betonin suurin sallittu kloridipitoisuus (500–4500 mg/litra) on annettu betonin loppukäytön mukaisesti (Betoninormien taulukko 4.1 Veden sallittu kloridipitoisuus). Vaatimukset ovat samat kuin Vesistandardin vaatimukset (Vesistandardin kohdan 4.3.1 taulukko 2). Myös Vesistandardin mukaan ylitykset ovat kuitenkin sallittuja, jos betonin kloridipitoisuus ei ylitä tiettyjä arvoja. Nämä arvot on esitetty standardin [SFS-EN 206-1] kohdassa 5.2.7 ja ovat samat kuin Betoninormin em. taulukossa 4.12 (Betonin suurin sallittu kloridipitoisuus) esitetyt arvot.

Veden kloridipitoisuus määritetään standardin [SFS-EN 196-21] ao. kohdan mukaisesti tai muulla menetelmällä, jolla voidaan osoittaa saatavan vastaava tulos.

Se, miten valmistettavan betonin kloridipitoisuus määritetään, on esitetty standardissa [SFS-EN 206-1]. Määrittäminen perustuu osa-ainesten tunnettuihin tai määritettäviin kloridipitoisuuksiin ja pitoisuuden hajontaan.

Sulfaatit

Kierrätysveden sulfaattipitoisuus (SO₄²⁻) ei saa ylittää arvoa 2000 mg/litra. Määrittäminen tehdään standardin [SFS-EN 196-2] ao. koh-



dan mukaisesti tai muulla menetelmällä, jolla saadaan vastaavat tulokset. Viitteen [Kuosa 2004 B] tutkimuksessa kierrätysvesien sulfaattipitoisuus määritettiin indikaattorimenetelmällä (Merckoquant®). Kaikissa tapauksissa (7 kierrätysvesinäytettä) sulfaattipitoisuus oli alle 200 mg/litra, mikä on indikaattorimenetelmän määrittämisraja. Tulos antaa riittävän luotettavan tiedon siitä, että kierrätysvesissä ei ollut liikaa sulfaatteja. On todennäköistä, että sulfaatteja ei yleensä kierrätysvedessä ole.

Sulfaatteja voi kuitenkin joutua kierrätysveteen esimerkiksi kipsiä/anhydrittiä sisältävistä kierrätyslaasteista. Tällaisten laastien käsittelyn tulee olla erillään betonin kierrätyksestä. Sulfaatit voivat vaikuttaa betonin sitoutumisaikaan ja lujuuteen. Lisäksi ne vaikuttavat kovettuneessa betonissa sen säilyvyyteen.

Alkalit

Jos on odotettavissa, että betonissa käytetään kiviainesta, joka aiheuttaa alkali-kiviainesreaktion, tulee veden alkalipitoisuus määrittää. Jos standardin raja-arvo (ekvivalentti natriumoksidipitoisuus alle 1500 mg/litra) ylittyy, vettä voidaan käyttää vain, jos voidaan osoittaa, että haitallinen alkali-kiviainesreaktio on erityistoimenpitein estetty.

Sitoutumisaikat ja lujuus

Sitoutumisaikojen ja lujuuden määrittäminen sekä hyväksymisrajat on esitetty Vesistandardin kohdassa 4.4. Standardissa on myös annettu käytettävät testausmenetelmät eli soveltuvat EN-standardit (pastan sitoutumisaika ja laastiprismojen tai betonikoekappaleiden lujuuden määrittäminen). Standardin mukaan vertailumassa valmistetaan käyttäen tislattua tai ionitonta vettä.

Vesistandardin mukaan tutkittavaa vettä käytettäessä

- ajan sitoutumisen alkuun tulee olla vähintään 1 tunti eikä se saa poiketa

yli 25 %:a vertailumassan alkusitoutumisajasta,

- aika sitoutumisen loppuun saa olla enintään 12 tuntia eikä se saa poiketa yli 25 %:a vertailumassan loppusitoutumisajasta ja
- keskimääräinen puristuslujuus 7 vuorokauden iässä tulee olla vähintään 90 % vertailukoekappaleiden vastavasta lujuudesta.

Seuraavassa käsitellään sitä, miten kierrätysveden osuus yhdistetyssä vedessä vaikuttaa vaadittavaan testausten määrään lujuuden ja sitoutumisaikojen osalta.

Vesistandardin vaatimukset koskevat yhdistettyä vettä. Kierrätysveden osuuden lisääminen yhdistetyssä vedessä voi joko lisätä betonin lujuutta tai pienentää sitä. Tämä johtuu siitä, että kierrätysveden tai yhdistetyn veden koostumus on sellainen, että se voi osaltaan lisätä lujuutta ja osaltaan pienentää sitä. Yhteisvaikutuksen suuruus saadaan selville täysin luotettavasti vain koekallisesti. Esimerkiksi suuri alkalien määrä vedessä ja niiden vaikutus hydrataatioon sekä pozzolaanisiin reaktioihin sekä kiintoainepartikkeleiden vaikutus voivat lisätä lujuutta. Toisaalta lujuus voi pienentyä veden sisältämien pinta-aktiivisten aineiden mahdollisesti kasvattaessa betonin ilmamäärää. Lujuutta voivat alentaa myös veden mahdollisesti sisältämät sokerit, öljyt ja rasvat. Sitoutumisaikojen on todettu olevan suhteessa ainakin veden alkalien määrään, johon kierrätysveden osuus yhdistetyssä vedessä vaikuttaa. [Su et al. 2002] Yhdistetyn veden vaikutusta sitoutumisaikaan ja lujuuteen ei siis ole mahdollista arvioida täysin luotettavasti testaamalla yksinomaan käytettävä kierrätysvesi.

Viitteen [Kuosa 2004 B] laboratoriotutkimuksessa, jossa oli mukana kolme erilaista kierrätysvettä, kierrätysveden osuuden kasvattaminen 0 %:sta 50 %:iin ja edelleen 100 %:iin kokonaisvesimäärästä pienensi yleensä sekä 7 d että 28 d lujuutta kuten myös sitoutumisaikoja (ks. kuvat 42 ja 43). Tästä poiketen kierrätysveden, jossa ei ollut kiintoainetta (tiheys 1,00 kg/litra), vaikutus



sitoutumisaikoihin oli erittäin pieni ja sitä hieman kasvattava. Yhden kierrätysveden osalta vaikutus vertailuun suhteutettuun loppusitoutumisaikaan oli vesistandardin mukaisesti arvioituna hieman liian suuri (loppusitoutumisaika 68 % tai 63 % vertailusta). Tämä tulos saatiin tiheydeltään 1,044 kg/litra kierrätysvedelle, kun sen osuus betonivedestä oli 50 % tai 100 %.

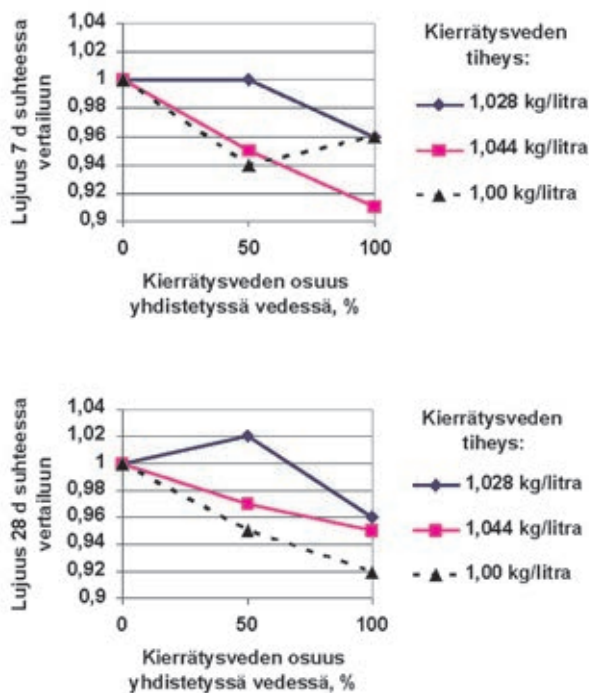
Kierrätysvesimassojen (3 kpl; 100 % kierrätysvettä) ja yhdistettyä vettä (3 kpl; 50 % kierrätysvettä) sisältävien massojen 7 d lujuus oli keskimäärin 95 % ja kaikkiaan 91–100 % vertailumassan lujuudesta. Tutkimuksessa kokonaisvesi-sementtisuhteet säädettiin kaikissa massoissa tarkoin samoiksi (0,50) ottamalla huomioon kierrätysveden sisältämä kiintoainemäärä.

Edellisen tutkimuksen käytännön tuotannossa valmistettujen kierrätysvettä sisältävien betonien (13 kpl) 7 d lujuus oli keskimäärin 101 % ja kaikkiaan 93–111 % vastaavien vertailubetonien lujuudesta. Näissä betoneissa kierrätysveden osuus koko betonivedestä oli 26–92 % ja keskimäärin 52 %. Kiintoainepartikkeleita sisältävien kierrätysvesien tiheys oli kaikkiaan 1,038–1,069 kg/litra ja

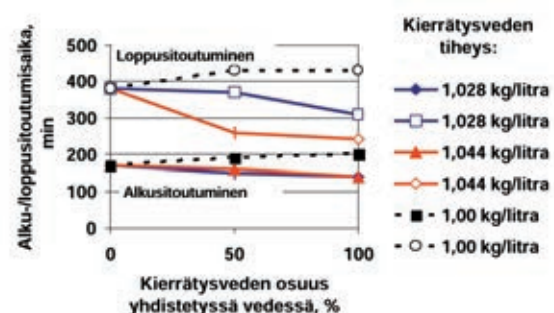
keskimäärin 1,049 kg/litra. Yhdessä kierrätysvedessä ei ollut kiintoainepartikkeleita (tiheys 1,00 kg/litra).

Edellisen perusteella tutkittaessa Vesistandardin [SFS-EN 1008] mukaisesti kierrätysveden ja yhdistetyn veden (kierrätysvesi + talousvesi) vaikutusta sitoutumisaikoihin ja lujuuteen riittää yleensä se, että kierrätysveden vaikutus tutkitaan käyttäen suurinta kysymykseen tulevaa kierrätysveden määrää. On kuitenkin mahdollista tutkia myös käytettävät yhdistetyt vedet erikseen, mikä antaa hieman luotettavamman tuloksen. Kierrätysveden laatu ei saa muuttua tuotannon aikana liikaa sen sisältämän kiintoainemäärän tai muiden ominaisuuksien osalta. Muussa tapauksessa vesi tulee testata uudelleen Vesistandardin mukaisesti. Normaaliksi katsottava vaihtelu voidaan sallia ja se tulee huomioon otetuksi, kun valmistettavien betonin laadunvalvonta on asianmukaista.

Edellisessä tutkimuksessa [Kuosa 2004 B] vertailumassoissa käytettiin vesistandardista poiketen tislattua/ionittoman veden sijaan talousvettä. Saksalaisessa ohjeessa [DAfStb-Richtlinie 1995] vastaavat vertailumassat valmistetaan käyttäen vesijohtovettä. Todennäköisesti sillä, että tislattu/ioniton vesi korvataan testauksessa vesijohtovedellä, on marginaalinen vaikutus saatavaan tulokseen.



Kuva 42. Kierrätysvesiosuuden vaikutus puristuslujuuteen [Kuosa 2004 B].



Kuva 43. Kierrätysvesiosuuden vaikutus sitoutumisaikoihin [Kuosa 2004 B].



LIITE 2. EUROOPAN BETONITEOLLISUUDEN NYKYTILANNE

Seuraavassa esitetään laitteistokartoitusten yhteenveto kohdemaina Saksa, Hollanti, Italia ja Ruotsi.

1 Saksalaiset referenssikohteet

Kohde 1: Valmisbetonitehdas

Tuotanto n. 30 000–40 000 m³/a, pääasiassa standardibetonia K30–K40, lisäaineita vähän käytössä. Toimintaa myös pikkupakkasilla.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Laitteistona Geco Flotmat Kombi S–pesuri, 25 m³/h, asennettu vuonna 2001.

Laitteisto ulkoasennuksena, autojen pesuun max 2 paikkaa, lisäksi 1 paikka pumpun pesulle. Asemalla pestään 12–14 autoa päivittäin. Pesuajat n. 5 min/auto.

Pesurin toiminta-ajat manuaaliohjauksen lisäksi 3–5 min käyntiä/pesua + 20 min tauko (ajat ohjelmoitavissa). Betonin syötössä säätölaite, jolla voidaan rajoittaa pesuriin johdettavaa massavirtaa. Kiviaineksen ulostulo on hoidettu tärysyöttimellä, joka poistaa tehokkaasti jäännösvettä kiviaineksesta. Pesty kiviaines käytetään betonin valmistuksessa yhtenä sekafraktiona.

Slurry-altaassa yksi sekoitin, johon on lisätty jälkikäteen akselin välilaakerointi ilmenneiden kesto-ongelmien ja värinöiden johdosta. Altaassa höyrylämmitys kylmää kautta varten. Altaan jäätyminen ei ole ongelma; talviongelma esiintyy ensimmäiseksi kiviaineissa. Altaan nestesyvyys 4,2 m,

nestetilavuus n. 100 m³. Altaan neliömuoto on toimiva, kulmat muodostavat luonnollisen virtaushäiriön. Jaksottainen pyörintä + pyörintävahti. Slurry-kanavissa pesurin ja altaan välillä on aukot toiminnan valvonnan helpottamiseksi.

Slurry pumpataan altaasta suoraan sekoitimeen. Pumppu käynnistyy ja pysähtyy automaattisesti annostuksen mukaan. Ei kierrätystä putkistossa. Standardibetoneihin käytetään 100 %:sti slurryä, ei puhdasta raakavettä ollenkaan.

Slurryn tiheyttä mitataan omana valvontana näytteillä päivittäin. Tiheys välillä 1,020–1,060 kg/dm³.

Auton pesu suoritetaan slurryllä, jonka jälkeen huuhtelu tuorevedellä max. 60 sek.

Huomiot:

Laitteisto ja ympäristö erittäin siistit. (Panostettu kuljettajien koulutukseen). Kompakti paketti. Laitteiston budj. hinta n. 65.000€. Pesutulos hyvä, pesty kiviaines irtonaista ja kuivaa. Sementtimäärä pieni. Ei slurryn pH:n mittausta. Tyytyväinen käyttäjä

Laitteiston huoltotarve:

Pesuri avataan ja puhdistetaan enintään 2 krt vuodessa. Altaassa ei normaalisti tyhjennystarvetta, tehdään sekoittimen huoltojen yhteydessä. Slurryputkisto on koottu pikaliittimillä, jolloin tarvittaessa puhdistus on helpommin tehtävissä.



KOHDE 1 Valokuvat



Pesu käynnissä



Pesutulos



Slurryputki betoniasemalle



Pesuri, etualalla pumpun "perän" pesupaikka



Koko laitteisto

Kohde 2: Elementtitehdas / pesubetonituotteita

Tuotantokapasiteettia ei selvitetty (useita tuotesektoreita). Pesubetonipintaa pestään n. 2 h päivässä. Pesuveden määrä n. 2000 l/d (arvio).

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Laitteistona pienikapasiteettinen Geco Flotmat 03 Kombi –pesuri, 3 m³/h, asennettu vuonna 1998. Laitteisto on sijoitettu pesupaikan välittömään yhteyteen (seinän taakse).

Laitteisto käsittää pesurin, keräyskaivon, lieteputkiston betoniasemalle (50 m) ja pystyselkeyttimen sekä puhdasvesisäiliön. Laitteisto on asennettu n. 6 x 10 m² halliin, jonka lisäksi hallin vieressä on ulkoallas. Keräyskaivon yhteydessä on pieni karkean/kevyen jakeen erottelusiivilä, joka tyhjennetään manuaalisesti tarvittaessa. Laitteisto toimii miehittämättömänä, tarkastus-/huoltokäyntejä

tehdään tarvittaessa. Laitteisto pesee pesupaikalta johdetun massan, selkeyttää ja kierrättää pesuveden pesutarkoitukseen sekä syöttää lietteen betoniasemalle. Selkeyttimessä käytetään flokkulointiainetta. Flokkulantin annostelussa on käytössä vanha laitteisto.

Syöttölaite tasaa pesuriin johdettavan massavirran. Pesty kiviaines palautetaan betoniasemalle muun kiviaineksen joukkoon. Kiviaines hienoa (pesussa irrotettua kiviainesta). Kiviaineksen ulostulo on hoidettu tärysytimellä, joka poistaa tehokkaasti jäännösvettä kiviaineksesta. Ei fraktiointia. Pesty kiviaines kuljetetaan trukilla n. 0,5 m³:n astiassa kiviainestaskuun.

Slurry-kaivossa yksi sekoitin, jolla selkeyttimien pumpattava liete homogenoidaan. Liete pumpataan selkeyttimestä betoniasemalle letkupumpulla pieneen välisäiliöön. Nousua 25 m, putkipituus 50 m. Lieteputkisto tuplaputkistona, jolla järjestetään kierrätys/huuhtelu, ellei putkessa ole ollut virtausta viimeiseen 20 minuuttiin. Putkisto on koottu 6 m:n osista pikaliittimin.



Huomiot:

Laitteisto ja ympäristö melko siistejä. Lietteen tiheyden mittausta selkeyttimen kartiossa on selkeä kehittämiskohde. Lietteen annostelussa letkuventtiili.
Pesutulos hyvä, pesty kiviaines irtonaista ja kuivaa. Sementtimäärä pieni. Pesuveden pH n. 12.
Tyytyväinen käyttäjä. Laitteiston budj. hinta n. 120.000 € ilman putkistoja ja rakennuksia.

Laitteiston huoltotarve:

Normaalisti huoltovapaa laitteisto. Häiriötilanteissa miehitys. Selkeyttimen kartion kaavari aiheuttanut huoltotarvetta.

KOHDE 2 Valokuvat



Pesuri



Pesutulos



Pesuri ja kiviaineksen kuljetustastia. Laitteiston ohjauskeskus taustalla.



Lietteen siirto letkupumpulla



Pystyselkeytin



Selkeytetyn veden allas, huom. suoja-aita

Kohde 3: Elementtitehdas / Valmisbetonitehdas (Lutkenhaus)

Tuotanto n. 150 m³/d, pääasiassa elementtituotantoa, valmisbetoni ei nyt ohjelmassa. Kuorilaatta ja massiivilaatta päätuotteina.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Laitteistona Geco Flotmat Kombi 15- pesuri, 15 m³/h, asennettu vuonna 1998 –99.

Pesurilaitteisto on sijoitettu tehtaan pääbetoniaseman alatasolle, altaat (2 kpl) ulkona; 1 allas slurrylle, toinen allas sadevedelle, altaiden välillä pumppausyhteys slurryaltaan täydentämiseksi. (Toinen pienempikapasiiteittinen betoniasema ei ole kierrätysjärjestelmässä mukana, käyttö satunnaista.)

Pesuriin johdetaan pesuvedet sekoittimista (2 kpl), kahden betoninkuljetusjärjestelmän pesupaikoilta ja valukoneiden pesupaikalta. Kaikki 5 pesupaikkaa sijaitsevat pesurin



yläpuolella ja pesuvedet johdetaan kanavia/putkia pitkin pesuriin painovoimaisesti. pesuri käynnistyy automaattisesti ja suorittaa lisäksi ohjelman mukaiset ”tyhjäkäynnit”. Kiviaineksen ulostulo pesurista on hoidettu tärysyöttimellä, joka poistaa tehokkaasti jäännösvettä kiviaineksesta. Pesty kiviaines johdetaan hihnakuljettimilla erilliseen siiloon, josta jokaiseen sekoittimen annokseen ohjataan tietty määrä materiaalia. Pestyn kiviaineksen siilossa on tärylevy, joka poistaa holvausongelman siilosta. Pestyä kiviainesta ei seulota eri fraktioihin.

Slurry-altaassa 2 sekoitinta, allas pitkänomainen. Jaksottainen pyörintä + pyörintävahti. Slurry-kanavissa pesurin ja altaan välillä on aukot toiminnan valvonnan helpottamiseksi.

Slurry pumpataan altaasta suoraan sekoitimeen. Pumppu käynnistyy ja pysähtyy automaattisesti annostuksen mukaan. Putkistossa on kierrätys-/ huuhtelujärjestelmä. ”Standardibetoneihin” käytetään 70–80 %:sti slurryä, puhdasta vettä käytetään loppusäätöön.

Slurryn tiheyttä mitataan omana valvontana päivittäin. Slurryn tiheyttä pystytään säätämään altaiden välisen pumppauksen avulla.

Valmisbetonin tuotanto oli pysähdyksissä toistaiseksi (markkinatilanteen johdosta), joten autojen pesu ei ollut käytössä.

Huomiot:

Laitteisto ja ympäristö siistit. Tailor made-ratkaisu, pesupaikkojen järjestely toimiva. Laitteiston budj. hinta n. 160.000 €.

Pesutulos hyvä, pesty kiviaines irtontaista ja kuivaa. Sementtimäärä pieni. Ei slurryn pH:n mittausta. Materiaalivirrat tasapainossa.

Tyytyväinen käyttäjä.

Laitteiston huoltotarve:

Pesurin puhdistus tarvittaessa. Laitteisto toimii miehittämättömänä; huoltomies tarkistaa toiminnot päivittäin. Slurryputkisto pikaliittimillä.



KOHDE 3 Valokuvat

- a) Pesuri, vasemmalla pumpun ”perän” pesupaikka
- b) Pesuvesien ohjaus pesuriin
- c) Pestyn kiviaineksen lisäsiilo, huom. tärylevy
- d) Slurry- ja sadevesialtaat (1 + 1 kpl)



Yhteenvedo kohteista 1–3

- Kaikki esitetyt referenssit olivat hyvin toimivia.
- Pesurin pesutulos hyvä, mahdollistaa kiviaineksen kierrätyksen (talviolosuhteet huomioitava). Tärysyötin tehokas vedenpoistaja. Pesurin hallittu syöttö estää ylikuormitustapaukset.
- Pieni huoltotarve laitteistoissa.
- Ratkaisuja erilaisille kapasiteeteille ja erityyppisille prosesseille.
- Valmisbetonitehtaille valmiita standardiratkaisuja.
- Referenssejä kaikkiaan n. 350, joista valmisbetonipuolella n. 200 kpl ja elementtitehdaspuolella n. 150 kpl. Elementtitehdasreferensseissä alle 10 %:ssa suotopuristin mukana. Ensimmäiset pesurit on toimitettu 1975.
- Veden pH:n säätöratkaisut olemassa. Slurryn tiheyden mittaukseen saatavissa on-line-mittaus.

Pesurin toiminta-ajat manuaaliohjauksen lisäksi ohjelmoitavissa. Pesty kiviaines tulee ulos melko märkänä ja sisältää sementtiä. Pesutulos riippuu voimakkaasti käyttäjien huolellisuudesta (autonkuljettajat). Pesuri on varustettu sähkölämmityksellä talvikäyttöä varten. Pesty kiviaines kovettuu kasalla, ei käytetä betonin raaka-aineena, (joskus käytetään pesutuloksen laadun salliessa).

Slurry-altaassa 2 sekoitinta, allas pinta-alaltaan n. 4 x 8 m². Altaan muoto on toimiva, kulmat muodostavat luonnollisen virtaushäiriön. Jaksottainen pyörintä + pyörintävahti. Slurry-kanavissa pesurin ja altaan välillä on aukot toiminnan valvonnan helpottamiseksi.

Slurry pumpataan altaasta suoraan sekoitimeen. Pumppu käynnistyy ja pysähtyy automaattisesti annostuksen mukaan. Ellei slurrylle ole käyttöä 30 minuuttiin, slurry pumpataan pesurin kautta altaaseen (kierätys). Standardibetoneihin käytetään 80% slurryä, puhdasta raakavettä käytetään hienosäätöön.

Slurryn tiheyttä mitataan omana valvontana näytteillä 3–4 krt viikossa.

Kohde 4: Valmisbetoniasema

Tuotanto 200–300 m³/d. Pääasiassa standardibetonia K30–K40.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Laitteistona Klärfix-ruuvipesuri KBS 600/6000, käytettynä asennettu laite, valm vuosi 1996.

Laitteisto ulkoasennuksena, autojen pesuun 1 paikka, ei mahdollisuutta pumpun pesulle. (Mahdollisuus varustaa ruuvipesuri elevaattorilla, joka nostaa materiaalin ruuvien syöttöpäähän.) Asemalla pestään n. 6 autoa päivittäin. Pesuajat n. 5 min/auto. Laitteistoon kuuluu 2 allasta, joista toinen sadevesialtaana ja vesivarastona (pihalta kerätään sadevedet käyttöön). Vesialtaasta pumppausmahdollisuus slurryaltaaseen.

Huomiot:

Laitteisto ja ympäristö normaalin epäsiistit.
Pesurilaitteisto huollon tarpeessa (huonokuntoinen).
Kompakti paketti. Laitteiston hintatieto puuttuu toistaiseksi.
Pesutulos tyydyttävä, pesty kiviaines melko kosteaa ja sisältää sementtiä.

Laitteiston huoltotarve:

Pesuri avataan ja puhdistetaan tarvittaessa.
Altaassa ei normaalisti tyhjennystarvetta, tehdään sekoittimen huoltojen yhteydessä. Slurryputkisto on koottu pikaliittimillä.



Pesuri, altaat trukin ja pesurin välissä.



Pesurin purkauspää.

KOHDE 4 Valokuvat



Vasemmalla sadevesiallas, oikealla slurryallas.



*Ruuvipesurin syöttöpää
Huom. aukot slurry-putkessa/
kanavassa.*

Kohde 5: Hiottuja betoni- ja luonnonkivilaattoja valmistava tehdas.

Tuotantokapasiteettia ei selvitetty (useita tuotesektoreita). Vierailu rajoitettiin hionta-veden kierrätyslaitteistoon. Laitteisto (KWA 75 mit Klärturm) toimitettu 1997.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Laitteisto selkeyttää hionnassa käytetyn veden ja käsittelee erotetun lietteen puristuksiivaksi. Selkeyttimessä käytetään flokkulointiainetta. Vesimäärä on suuri, arviolta 2–3000 l/ min. Tehdasrakennuksen katolta ja osalta piha-aluetta kerätään kaikki sadevesi järjestelmään.

Laitteistona Klärfix-pystyselkeytin ja Hess-suotopuristin (20 levyä). Laitteisto on sijoitettu tuotantohallin toiseen päähän, joten vesien siirtomatkat ovat pitkiä. Laitteet ovat melko huonokuntoisia. Yksityiskohtaisia tuotantolukuja ei saatu, koska henkilöstöllä ei ollut aikaa vierailun ohjaamiseen.

Järjestelmä käsittää kanaviston, keräyskaivot

ja lietteen siirtopumput, pystyselkeyttimen, flokkulantin sekoitussäiliön (manuaalinen annostelu), lietteen suotopuristimen pumppuineen ja kuivatun (puristetun) lietteen kuljetusjärjestelmän (2 kpl 5 m³:n avokonttia ja vaihtorata) sekä selkeytetyn veden säiliön. Laitteisto toimii miehittämättömänä, tarkastus-/huoltokäyntejä tehdään tarvittaessa.

Tuotannossa on useita materiaaleja ja värejä, joten lietettä ei pystytä hyödyntämään betoniasemalla. Lietteiden määrä n. 5 m³/d (= n. 8–10 tn/d). Osa lietteestä menee maanparannustarkoitukseen.

Huomioit:

Laitteisto ruosteinen, ympäristö melko epäsiisti.
Runsaasti putki- ja liitosvuotoja laitteistossa.
Ei pH:n säätöä hiontavedelle.

Laitteiston huoltotarve:

Suotopuristimen kankaanvaihtoja n. 1 krt/2 vkoa
Normaalisti miehittämätön, häiriötilanteissa miehitys.
Laitteiston ikääntyminen lisää selvästi huoltotarvetta.



KOHDE 5 Valokuvat



Pystyselkeyttimen torni

Oikealla: Lietekontti suotopuristimen alla, kontin vaihtorata



Suotopuristin, kankaan vaihto käynnissä



Lieteputkiston liittimet, sadevesien keräyskourut

Kohde 6: Elementtitehdas

Tuotanto n. 10 000 m³/a, pienenlementtejä/ infratuotteita. Harmaata betonia kaikki.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Laitteistona Klärfix-ruuvipesuri KBS 300/5000, käyttöönotto vuosi 1993. Sykloni asennettu v. 2000.

Laitteisto ulkoasennuksena katoksen alla. Muottien ym. pesuun 1 paikka, joka on ruuvipesurin välittömässä läheisyydessä (seinän takana). Pestävät muotit ym. kuljetetaan pesupaikalle. Kaikki pesut tehdään pelkästään kierrätysvedellä.

Slurryaltaassa sekoitin, jaksottainen pyörintä. Allas pinta-alaltaan n. 4 x 4 m². Altaan muoto on toimiva, kulmat muodostavat luonnollisen virtaushäiriön. Altaan pinnalla runsaasti vaahtoa.

Pesurin toiminta-ajat manuaaliohjauksena, lisäksi ohjelmoitavissa. Pesty kiviaines tulee ulos melko märkänä ja sisältää jonkin verran

sementtiä, ei kuitenkaan kovettumisongelmaa. Pesurin jälkeinen siirto suoritetaan siirtoruuvilla pieneen avokonttiin, jolla kiviaines siirretään betoniasemalle uudelleen kiertoon. Materiaalimäärät pieniä.

Slurry pumpataan altaasta pieneen välisäiliöön betoniasemalle (200–300 l). Slurryn tiheyttä mitataan omana valvontana näytteillä satunnaisesti. Mikäli tiheys kasvaa liian korkeaksi, otetaan sykloni käyttöön ja sen avulla poistetaan slurrystä hienoainesta. Poistettu hienoaines sekoitetaan kuivumisen jälkeen murskattavan betonin joukkoon.

Muuta: Tehtaalla otettu käyttöön 1997 pieni kiinteä murskauslaitos raakituotteiden murskaukseen. Murskattu betoni hyödynnetään tietyissä tuotteissa betonin runkoaineena. Laitteisto hyvin toimiva.

Huomiot:

Laitteisto ja ympäristö siistit. Kompakti paketti. Laitteiston hintatieto puuttuu toistaiseksi. Pesutulos hyvä / tyydyttävä, pesty kiviaines melko kostea.



Slurryputkistojen kanssa ei ongelmia, koska lyhyet etäisyydet. Pienten materiaalmäärien laitteistokokonaisuus.

Laitteiston huoltotarve: Pesuri avataan ja puhdistetaan tarvittaessa.

KOHDE 6 Valokuvat



Yleisnäkymä: pesupaikka vasemmalla seinän takana. Ruuvipesuri ja siirtoruuvi sekä kuljetuskontti keskellä. Sykloni, lietekontti ja slurryallas oikealla.



Pesupaikka



Pesty kiviaines taskussa



Lietesykloni ylhäällä, lietekontti sekoittimen oikealla puolella



Murskauslaitos



Murskauslaitoksen valmistaja.



Laitoksessa murskattua betonia.

Yhteenveto kohteista 4–6

- Kaikki esitetyt referenssit olivat hyvin toimivia, eivät kuitenkaan kovin esitelykelpoisia kohdetta 6 lukuunottamatta.
- Pesurin pesutulos tyydyttävä, mahdollistaa kiviaineksen kierrätyksen varauksella. Ruuvipesurin syötön taseus puuttuu. Pesurin ruuvi/ kaukalo ovat voimakkaasti kuluvia osia.

- Ratkaisuja erilaisille kapasiteeteille ja erityyppisille prosesseille. Valmisbetonitehtaille valmiita standardiratkaisuja.
- Referenssien lukumäärä n. 2000, laite-toimituksia alkaen n. vuodesta 1975.



2. Hollantilaiset referenssikohteet

Kohde 7: Pihakivi-katukivivalmistaja

Suuri päällystyskivivalmistaja, jolla kaikkiaan 16 tehdasta. Kohdetehtaassa erittäin tehokkaat karusellikoneet, kapasiteetti uusimmalla linjalla 11.000 kpl/8 h/kivikoko 30 x 30 cm x 5 cm. Tehtaan betonituotanto on n. 500 tn/d.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Kierrätyslaitteisto kahden erillisen valmistuslinjan pesuvesille, asennettu 10/2002.

Laitteistot yksinkertaisia: 2 kpl pumppuja, 2 kaivoa, joista jälkimmäisessä sekoitin, putkisto n. 60 m pitkä. Pesuvedet syntyvät tuotteiden pintojen pesusta, joka tehdään painevesisuihkulla. Max raekoko betonimassassa on 4 mm. Painepesu suoritetaan puhtaalla vedellä, pesuvesi syötetään betonin valmistukseen.

Slurryputkistossa jatkuva kierto ja kerran päivässä suoritetaan tuorevesihuuhtelu. Tuore betoni on erittäin aktiivista, josta johtuen putkiston toiminta on ollut suurin ongelma. Slurryn tiheyttä ei mitata.

Kierrätyksen suhteen suurempi työsarka on raakkituotteiden murskaus, joka tehdään tehdasalueen ja kaupunkiasutuksen ulkopuolella alihankkijan toimesta. Pöly- ja melusyistä johtuen tehdasaluetta ei saa käyttää murskaukseen. Murskattu betoni pestään ja puhalletaan ennen kuljetusta takaisin tehtaalle. Enintään 25 % kiviaineksesta saa olla murskattua betonia.

Huomiot:

Tehdasympäristö siisti, valtaosa tuotteista valmistetaan maakosteasta massasta. Slurryn käyttö edustaa vain osaa betoninvalmistukseen tarvittavasta vesimäärästä.

Slurryputkistojen kanssa suurimmat ongelmat.

Laitteiston huoltotarve:

Putkiston puhdistustarve ja pumppujen kuluvien osien vaihtoa.

Ei erityisiä laitteistovaatimuksia (useita laitevalmistajia)

KOHDE 7 Valokuvat



Pesupaikka 1



Tuplaputkisto



Pesupaikka 2



Sekoittimella varustettu kokoomakaivo



Kohde 8: Suuri esijännitettyjen tuotteiden valmistaja

Tuotanto n. 50.000m³/a; 40 % ratapölkkyjä, 30 % raskaita silta- ym.palkkeja, 10 % merripaaluja, loput TT-laattaa ym. sekalaista. Tuotteista 90 % esijännitettyjä. Betonin lujuusluokat korkeita. Tehdasalue ja tehdashallit valtavan suuria, josta johtuen kierrätykselle tulee lisävaatimuksia kierrätysmateriaalien logistiikkaan liittyen.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Tuotantotilat muodostuvat 6:sta hallilaivasta, joiden toinen pää on varattu valukoneiden ja betoninkuljetusjärjestelmän laitteiden pesua varten ("märkä pää"). Lattiakanaaleiden kautta pesuvedet ohjataan keräilykaivoihin, joista vedet pumpataan betoniaseman alatasolla olevaan kokooma-astiaan. Putkistot enimmillään 200 m pitkiä. Myös sadevesi kerätään talteen prosessissa käytettäväksi. Betonisekoittimien pesuvedet ohjataan suppiloiden kautta samaan paikkaan. Muottiöljynä käytetään kasvisöljyä, joten öljynerotuskaivoja ei ole käytössä. Ylijäämäbetonille on tuotannossa astiat, joista betoni siirretään murskattavan betonin joukkoon. Karkea kiviaines erotellaan jo kanavissa ja keräilykaivoissa, joista se poistetaan imuautolla ja mekaanisesti. Slurry pumpataan selkeytysaltaisiin, joita on kolme kappaletta.

Lisäksi järjestelmässä on yksi suuri pystysäiliö selkeytetylle vedelle. Selkeytysaltaisiin sedimentoituva liete pumpataan betoninvalmistukseen sekoitussäiliön kautta. Sahaukseen käytettävä vesi neutraloidaan automaattisesti

anostelevalle CO₂ laitteistolla. Kaasu syötetään selkeytysaltaaseen. pH:n arvo neutraloidaan tasolta 12 tasolle 7,6 (laitteisto otettu käyttöön 2 vuotta sitten).

Slurria syötetään sekoittimiin vakiomäärä, 60 l/1m³ betonia. Slurryn tiheys (1,060 kg/dm³) kontrolloidaan n. 1 krt päivässä tai harvemmin. Slurryn syöttöputkessa jatkuva kierto.

Raakkituotteiden murskaus muodostaa suuren työmäärän. Murskaus tehdään tehdasalueen laidassa alihankkijan toimesta n. 1–2 krt vuodessa. Esimurskauksen yhteydessä erotellaan betoni ja teräkset karkealla menetelmällä. Tuotteissa on sallittu 15 % kierrätysmateriaalia runkoaineen osalta, nyt käytetään 10 % luokkaa.

Huomiot:

Tehdasympäristö melko siisti. Lattiakanaviin pyrkii kasaantumaan lietettä. Valukoneiden pesupaikkoihin ja pesusuppiloihin on kiinnitetty huomiota. Painovoimainen selkeytys ilman kemikaaleja edellyttää suuria altaita. Ratapölkkytuotannon kiinteä sahauspaikka helpottaa lietteen käsittelyä. Laitteisto on teknologisesti melko yksinkertainen. Tilantarve suuri, tosin myös tehdas ja tuotteet ovat suuria. Tailor-made-ratkaisu, alhaiset laitteistokustannukset.

Laitteiston huoltotarve:

Putkiston puhdistustarve ja pumppujen kuluvien osien vaihto suurimmat kohteet. Myös kanavien puhdistus edustaa suurehkoa työmäärää.



KOHDE 8 Valokuvat



Betoninkuljetusjärj. sukkulan pesupaikka



Lattiakanaalien yleinen ongelma



Sekoittimien pesuvesien ohjauskourut



Ratapölkkyjen katkaisuaseman lietekanaali



CO₂-kaasusäiliö



Murskatun betonin varasto

Kohde 9: Valmisbetonia ja elementtejä valmistava suuri tehdas

Valmisbetonia 700 m³/d, laattaelementtejä 100 m³/d (betonia)

Kierrätyslaitteisto investoitu n. 5 vuotta sitten.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Valmisbetoniasema: Autojen pesupaikan slurry johdetaan ruuvipesurin kautta kaivoon, josta pumppaus pystyselkeyttimien. Flokkulanttia annostellaan putkeen automaattisesti. Pystyselkeyttimestä vesi

varastosäiliöön, josta betonin valmistukseen ja pesuihin (huuhtelut). Liete pumpataan selkeyttimen kartiosta suotopuristimelle, josta vesi palautuu kaivoon. Suotopuristimessa n. 15 levyä. Puristettu liete kuljetetaan avokontissa n. 300 m:n päässä sijaitsevalle murskattavan betonin alueelle kuivumaan. Alueelle toimitetaan myös valmisbetonin ylijäämää kovettumaan ja murskattavaksi. Alihankkija kuljettaa kovettuneen betonin + lietteen murskattavaksi tehtaan ulkopuolelle ja palauttaa murskeen valmisbetoniaseman kiviainekseksi. Kiviaineksestä 18–20 % on kierrätysmateriaalia. (Määr. mukaan pitäisi olla n. 20 % ??)

Ruuvipesurissa pesty kiviaines hyödynnetään sellaisenaan betoninvalmistuksessa.



OL-tuotanto ja eristelaattatuotanto: Oma betoniasema laattatuotannolle. Puhdas sahausvesi otetaan kaivosta pl. uusimman sahan vesi, joka otetaan kunnallisesta verkosta.

Sahausslurry, petivedet ja koneiden sekä sekoittimen pesuvedet johdetaan kanaaleissa keräilykaivoon, josta karkeat jakeet erotellaan ruuvipesurilla takaisin betoniasemalle raaka-aineeksi. Slurry johdetaan n. 200 m pitkää putkistoa pitkin suotopuristimelle, joka sijaitsee valmisbetoniasemalla. OL-tuotannon liete käytetään siis VB-aseman tuotannossa (kuivauksen ja murskauksen jälkeen). Slurryputkisto n. 80 mm:n muoviputkea. Paljon ongelmia putkiston kanssa. Kierrätys tietyllä jaksotuksella, tuplaputkisto.

Huomiot:

Lietteen käsittely ei häiritse betoniaseman vedenannostelua.

Raakkielementtien murskauksessa eristelaattojen styrox muodostaa suuren ongelman.

Systeemi vaikutti hyvin toimivalta erikoisratkaisulta, kustannustehokkuus ei tiedossa.

Laitteiston huoltotarve:

Pitkä slurryputkisto aiheuttaa paljon huoltotyötä.

Ruuvipesurit ja suotopuristin huolto-kohteina.

Normaalisti laitteisto toimii miehittämättömänä.

KOHDE 9 Valokuvat



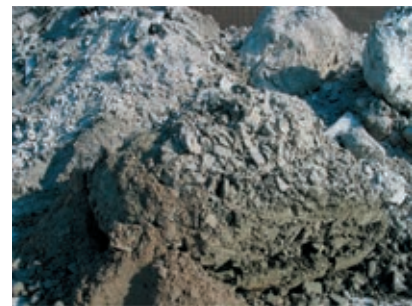
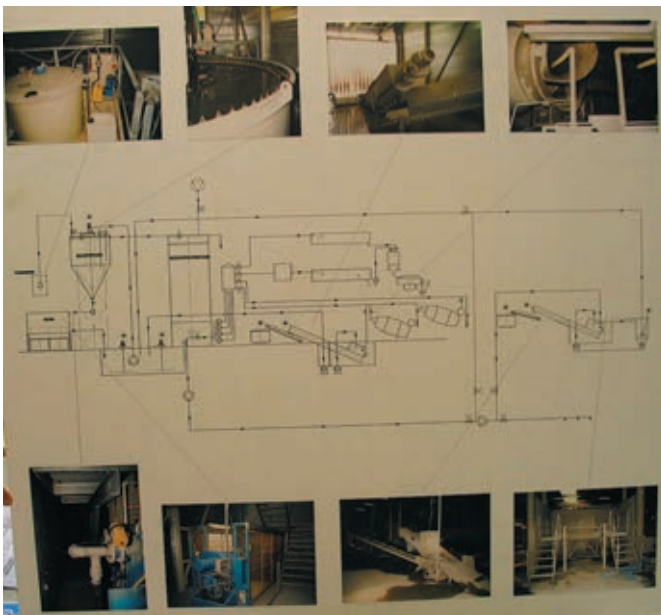
Autojen pesupaikka valmisbetoniasemalla



Ruuvipesurin jälkeinen seulonta



Laattatehtaan lattiakanaali



Suotopuristimelta tuotua lietettä kuivumassa, murskataan kovettuneen betonin mukaan.

Kokonaiskaavio materiaalien kierrätyksestä



Kohde 10: Suuri ontelolaatta-tehdas

Tuotanto n. 800m³/d; Tuotteet ontelolaattaa. Betonin lujuusluokat korkeita. Tehdasalue ja tehdashallit valtavan suuria. Uusi tehdas, jota mainostetaan maailman nykyaikaisimmaksi ja suurimmaksi OL-tehtaaksi.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Tuotantotilat muodostuvat 3:sta hallilaivasta, joiden toinen pää on varattu valukoneiden ja betoninkuljetusjärjestelmän laitteiden pesua varten ("märkä pää"). Betoniasema sijaitsee samassa päässä halleja. Lattiakanaaleista ja valualustoilta vesi (petivesi ja sahausvesi) johdetaan samaan kokooma-altaaseen, johon koneiden pesuvedetkin ohjataan. Koneet pestään korkeapainevedellä, joka on puhdasta vettä. Kokooma-altaalta pestävä materiaali johdetaan ruuvipesurille (Klärfix), joka erottelee karkeat jakeet ja pesee kiviaineksen uusiokäyttöä varten. Slurry johdetaan välisäiliöihin, josta vettä pumpataan kiertoön ja lietettä pumpataan betoninvalmistukseen. Välisäiliöistä osa vedestä pumpataan selkeytysaltaisiin, joissa veden annetaan painovoimaisesti selkeytyä ja vesi neutraloidaan. pH säädetään arvosta 13 arvoon 7–8 syöttämällä veteen CO₂-kaasua. Neutraloitu vesi johdetaan takaisin prosessin eri käyttötarkoituksiin, kuten betoninvalmistukseen, pesuvedeksi ja sahausvedeksi.

Raakkituotteiden ja aloitus ym. laatanpätkien murskaus muodostaa suuren työmäärän.

Murskaus tehdään tehdasalueen laidassa alihankkijan toimesta. Muutamissa laattatyypeissä on EPS eristeitä, jotka muodostavat oman ongelmansa. (Pestävän materiaalin keräysaltaan pinnalta styrox-partikkelin kerätään pois mekaanisesti.) Murskauksen osalta on kehitetty puhalluslaitteisto, joka puhalttaa styroxin keräyskonttiin. Styrox poltetaan erityisessä polttolaitoksessa joka tuottaa sähköenergiaa tehtaalle.

Huomiot:

Tehdasympäristö siisti. Myös työviihtyvyyteen on kiinnitetty huomiota. Painovoimainen selkeytys ilman kemikaaleja edellyttää suuria altaita. Suuret massamäärät mahdollistavat järkeviä laitteistoratkaisuja. Murskaus ei ollut käynnissä, joten styroxin talteenoton käytännön toimivuutta ei pystytty arvioimaan. Useita laitetoimittajia, oma suunnittelupanos merkittävä. Koko kierrätysinvestoinnin takaisinmaksuaika 5,7 vuotta. Prosessiveden neutralointi on myös työturvallisuusparannus.

Laitteiston huoltotarve:

Järjestelmässä on runsaasti pumppuja, joiden huoltotarve tiedostetaan. Putkiston puhdistustarve ja pumppujen kuluvien osien vaihto suurimmat kohteet. Selkeytetyn veden neutralointi pienentää huoltotarvetta putkissa ja pumpuissa.



KOHDE 10 Valokuvat



Yleisnäkymä OL-hallista



Koneiden pesupaikka, korkea-painepesu



Pesu- ja sahausvesien kokooma-allas,



jossa voimakas sekoitus ennen ruuvipesuria



Kaasu johdetaan altaaseen rei'itetyllä letkulla



CO₂-kaasusäiliö

Yhteenveto Hollannin referensseistä (kohteet 7–10)

Kierrätysprosessit yksilöllisiä, ei laite-toimittajalähtöisiä.

Ympäristötietoisuus ja -vaatimukset korkealla tasolla, raaka-aineista ja tilasta niukkuutta. Betoniteknologian taso korkea, erilaiset kierrätysvaatimusprosentit ilmeisesti tuotekohtaisia.

Kierrätysveden neutralointi arkipäivää. Suuret tuotantovolyymit ja tuoteohjelmien kapeus tehdaskohtaisesti helpottavat toimivien ratkaisujen löytämistä.

Merkittäviä kehitysaskelaita on otettu vasta viimeisten viiden vuoden aikana.

3. Italialaiset referenssikohteet

Kohde 11: Tiilitehdas

Vedenkäsittelylaitteisto: Fraccaroli & Balzan

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Kahdessa vuorossa toimiva tiilitehdas, jossa on muottien ja prosessin pesuvesien käsittelyyn rakennettu kierrätysprosessi ja laitteisto. Tiilimuottien osalta on käytössä jatkuva pesu, suurempi prosessipesu suoritetaan työvuorojen jälkeen. Prosessissa ei käytetä sementtiä sideaineena. Kierrätettävä



vesimäärä 500 l/min. Selkeytyslaitteisto on ylimitoitettu. Investoitu 1996.

Pesuedet johdetaan lattiakanaalista keräyskaivoon, josta pumppaamalla "karkean" jakeen erottimeen (pesulaite). Pesulaite on toimintaperiaatteeltaan selkeytysallas, joka on varustettu kolakuljettimella. Raskaat partikkelit painuvat pohjalle, josta kuljetin siirtää ne kuljetuskonttiin. Maksimi raekoko on tässä tiiliprosessissa 1 mm. Kolakuljetin ei erottele hienoa fraktiota, joten varsinaisesta kiviaineksen pesusta ei ole kysymys. Eroteltu materiaali on märkää.

Kuljetuskontti tyhjennetään keskim. 1 kerran päivässä kiviainesvarastoon, josta materiaali kierrätetään kuivurin kautta takaisin sekoitimelle ja prosessiin. Hiekan kuivuri on tyyppiltään pyörivä tunneliuuni, jonka alapäässä on öljypoltinliekki. Kuivuri on tiilitehtaan oma konstruktio.

Pesulaitteen ylivuotovesi (slurry) johdetaan välisäiliöön, jossa on homogenointia varten sekoitus. Välisäiliöstä slurry pumpataan

pystyselkeyttimeen. Putkistossa lisätään flokkulointiainetta. Flokkulointiaineella manuaalinen annostelu. Pystyselkeyttimestä liete johdetaan n. kerran päivässä kuljetussäiliöön, joka kuljetetaan trukilla massasekoittimille ja takaisin tuotantoon. (Järjestelmässä ei ole suotopuristinta).

Pystyselkeyttimen kartiossa ei ole kaavaria, koska massassa ei käytetä reagoivaa sideainetta.

Huomiot:

Prosessin vedenkiertoa voidaan kuvata suljetuksi. Toimiva laitteisto.

Kaikki prosessista poistuva materiaali hyödynnetään.

Lieteputkiston ongelmat on eliminoitu kuljettamalla liete säiliössä (avokontti). Esipesulaitteisto (kolakuljettimeen perustuva) ei sovellu tuorebetonin käsittelyyn.

Laitteiston huoltotarve:

Vähäinen huoltotarve (tähän vaikuttaa merkittävästi sementin puuttuminen raaka-aineiden joukosta).

KOHDE 11 Valokuvat



Yleisnäkymä vedenkierrätyslaitteistosta



Pesuri (karkean kiviaineksen erottelu)



Pesurin ylivuoksu johdetaan sekoitussäiliöön



Hiekan kuivausuuni



Pesurin erottelemaa karkeaa fraktiota



Kohde 12: Pesubetonilaattoja valmistava tehdas

Vedenkäsittelylaitteisto: Fraccaroli & Balzan

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Karusellityyppinen kone valmistaa pesubetonilaattoja, joissa laatan runko-osa valmistetaan maakosteasta massasta ja pintaosa märästä, välittömästi tiivistyksen jälkeen pinnaltaan pestävästä betonista. Märän betonin osuuteen sijoitetaan kevyt raudotte. Maakosteaa massa valmistetaan omalla sekoittimellaan käyttämällä neitseellisiä raaka-aineita. Märän pesubetonimassan valmistuksessa käytetään pesuprosessissa ja pesuveden käsittelyssä eroteltavat liete, slurry ja selkeytetty vesi. Veden pH neutraloidaan hapolla tasolle 7. Veden pH:n mittaus suoritetaan manuaalisesti. Betonipinnan pesu suoritetaan selkeytetyllä vedellä.

Laattojen pesuaseman välittömään yhteyteen sijoitetussa keräyskaivossa on sekoitin ja pumppu, jolla slurry pumpataan karkean kiviaineksen erottimelle, pesurille (samanlainen laitteisto kuin kohteessa 11). Pesuri on toiminnassa n. 2–3 tunnin välein, 30 sekunnin käyntijakson. Kolakuljetin tyhjentää materiaalin pesurista kuormaajan kauhaan (kuormaajan käyttäjä käynnistää pesurin). Materiaali siirretään läjitysalueelle kuivumaan 2–3 viikon ajaksi, jonka jälkeen se murskataan pienellä murskaimella raaka-ainekiertoon.

KOHDE 12 Valokuvat



Lietenäyte pesurin jälkeen



Laatan pinnan pesu välittömästi valun jälkeen



Märkäbetoniasema valukarusellin yläpuolella. Selkeytyslaitteisto välittömästi seinän takana oikealla

Pesulaitteen ylivuotovesi (slurry) johdetaan välisäiliöön, jossa on homogenointia varten sekoitus. Välisäiliöstä slurry pumpataan pystyselkeyttimeen. Putkistossa lisätään flokkulointiainetta. Pystyselkeyttimestä liete johdetaan tunnin välein automaattiannosteluna betoniaseman välisäiliöön, jossa on sekoitus. Välisäiliöstä liete pumpataan betonisekoittimeen. (Järjestelmässä ei ole suotopuristinta).

Selkeytetty vesi pumpataan varastosäiliöön, jossa se neutraloidaan ja josta se johdetaan betoniaseman ja pesupaikan tarpeisiin.

Huomiot:

Prosessin vedenkiertoa voidaan kuvata suljetuksi. Toimiva laitteisto. Kaikki prosessista poistuva materiaali hyödynnetään. Prosessi hyvin tasapainossa. Lieteputkiston ongelmat on minimoitu sijoittamalla kaikki järjestelmän laitteistot kompaktiksi pakettiksi pienelle alueelle. Putkistot lyhyitä. Pesulaite (kolakuljettimeen perustuva) jättää kiviaineksen märäksi (kuva). Lietteen kuivatuspaikalta vesi suotautuu maaperään.

Laitteiston huoltotarve:

Vähäinen huoltotarve. Pystyselkeyttimen kartion kaavari puhdistetaan kerran vuodessa.



Kohde 12: Minimurskain.

Kohde 13: Viinitarhan varusteita valmistava tehdas

Vedenkäsittelylaitteisto: Fraccaroli & Balzan

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Tehtaan päätuotteena on viinitarhoilla käytettävät betoniset köynnösten tukemiseen tarkoitetut esijännitetyt pylväät, joita valmistetaan pitkillä valualustoilla. Pylväät valetaan pitkinä ja sahataan asiakastilausten mukaisiin pituuksiin. Sahauslietteen käsitte-

lyongelmat ovat johtaneet kierrätyslaitteiston investointiin.

Valualustoilta tuleva prosessi- ja sahausvesi sekä valukoneiden pesuvesi kootaan kanaaleista tehdashallin ulkopuolella sijaitsevaan kokoomakanaaliin, josta pumppaus välisäiliöön. Mahdolliset karkeat jakeet jäävät kokoomakanaaliin, josta ne poistetaan mekaanisesti (kaivurilla). Välisäiliöstä pesuvedet pumpataan pystyselkeytimeen. Putkistossa lisätään flokkulantti automaattiannosteluna.

Selkeytetty vesi johdetaan ulos prosessista, ei hyödynnetä (!) Selkeyttimen erottama liete johdetaan suotopuristimelle (5 välinen puristin). Puristin purkaa lietteen pieneen (n. 1 m³) kuljetuskonttiin. Lietteen määrä n. 1 m³/d. Liete sijoitetaan täyttökohteeseen.

Huomiot:

Toimiva laitteisto. Laitteisto on ollut käytössä n. 4 kk. Prosessista poistettavien materiaalien hyötykäyttöä ei ole toistaiseksi toteutettu. Pää tavoite eli sahauslietteen käsittelyongelman eliminointi on toteutettu.

Laitteiston huoltotarve:

Käyttökokemukset ovat toistaiseksi lyhyeltä ajalta, joten huoltotarvetta ei ole esiintynyt.

KOHDE 13 Valokuvat



Pystyselkeytin



Lietteen kuljetuskontti



5-välinen suotopuristin

Kohde 14: Tiiliä ja hiottuja betoniharkkoja valmistava tehdas

Vedenkäsittelylaitteisto: Fraccaroli & Balzan

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Betonitiiliä, -kiviä ja hiottuja blokkimaisia tuotteita valmistava tehdas, tuotanto 400 m³ betonia/d (16 h/d). Vedenkäsittelylaitteisto on asennettu hiontaosaston välittömään läheisyyteen. Hiontaosasto työskentelee yhdessä tai kahdessa vuorossa kapasiteettitarpeen mukaan. Hiontaosastoon on keskitetty kaikki hiovat ja hakkaavat koneistuslinjat, joissa vedentarve on suuri. Hionta-vesien kokonaistilavuusvirta 3600 l/min. Vedet kootaan normaaliin tapaan lattiakanaaleiden avulla kokoomakaivoon, josta pumppaus pystyselkeytimeen. Seulaverkko erottaa suuret partikkelit ennen kokoomakaivoa. Selkeytimeen johdetun slurryn maksimi raekoko on 1 mm.

Putkistossa flokkulantin sekoitus, annostelulaitteistona vanha laite. Muut laitteet uusia (3 vuotta vanhoja).

Selkeytetty vesi pumpataan varastosäiliöön ja edelleen hiomakoneille. Putkiston kanssa ei ongelmia. Ei käytetä puhdasvesihuuhtelua. Kierrätysveden pH:lle ei tehdä neutralointia eikä pH:ta mitata.

Liete johdetaan selkeyttimen kartiosta suotopuristimelle (10 väliä). Liete pystytään vain harvoin käyttämään hyödyksi johtuen tuotteiden runsaasta värihalikoimasta. Liette sijoitetaan tavallisimmin täyttökohteeseen.

Huomiot:

Toimiva laitteisto. Ensiasennusvaiheessa selkeyttimen kartiossa ei ollut kaavaria, josta johtuen selkeytin tukkeutui. Kaavari on asennettu ongelmien ilmaannuttua. Laitteisto on asennettu peltihalliin muista kuin ilmastosyistä.

Laitteiston huoltotarve:

Ei erityistä huoltotarvetta. Häiriötilanteista tulee hälytys huoltomiehelle.

KOHDE 14 Valokuvat



Pystyselkeytin



Suotopuristimen valutusvesikaukalo



Kokoomakaivo, sekoitin + pumppu + pinnankorkeusanturit



Kuivattua lietettä siirrettäväksi pyöräkuormaajalla



Kohde 15: OL-, TT- ja seinäelementtejä tuottava suuri tehdas

Vedenkäsittelylaitteisto: Fraccaroli & Balzan

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Laitteisto käsittelee valukoneiden ja betonin-kuljetusjärjestelmän pesuvedet, sahausvedet ja seinäelementtien pesuaseman vedet. Seinäelementtien pesuasema on sijoitettu ulos vedenkäsittelyaseman välittömään läheisyyteen. Tehdashallista tulevassa kokoomakanavassa on kolakuljetin kiintoaineen kuljettamiseksi.

Suuret kiintoainepartikkelit erotellaan taskujen avulla painovoimaisesti. Styrox poistetaan vesistä mekaanisesti kokooma-altaan/-kaivon pinnalta. Laitteisto on asennettu n. vuosi sitten. Aiemmin käytössä olleet betoniset selkeytysaltaat hyödynnetään varastoaltaina. Ilmoitettu veden tilavuusvirta 500 l/min vaikuttaa pieneltä? Laitteisto on ylimitoitettu.

Kokooma-altaasta pesuvedet pumpataan pystyselkeyttimeen. Putkistossa automaattinen flokkulantin annostelu. Selkeyttimen yläosassa

mitataan selkeytetyn veden pH ja mittaustuloksen perusteella suoritetaan automaattinen hapon lisäys veteen. Toinen mittaus tehdään varastoaltaassa. pH-arvot mittareissa n. 8.

Selkeyttimen kartiosta liete pumpataan 8-väliselle suotopuristimelle. Lietettä ei hyödynnetä tuotannossa, sijoitus kaatopaikalle tai täyttökohteisiin. Selkeytetty vesi käytetään pesuissa ja sahauksessa.

Huomiot:

Toimiva laitteisto. Lietteelle on ilmeisesti löydettävissä myös hyötykäyttö suurikapasiteettisessa tehtaassa. Tehtaalla ei myöskään hyödynnetty murskattua betonia tuotannossa vaan se kuljetettiin maantäyttökohteisiin. Tehtaan tuotantotiloihin ei päästy vierailemaan, joten alkupää kierrätysjärjestelmästä on tuntematon. Seinäelementtien pesupaikka on siisti kokonaisuus. Runsas vedenkäyttö edesauttaa puhtaanapitoa.

Laitteiston huoltotarve:

Ei erityistä huoltotarvetta. Toistaiseksi lyhyt käyttökokemus selkeytyslaitteistosta. Styroxin poisto vesistä ja kiintoainetaskujen tyhjennys on säännöllisesti suoritettava toimenpide.

KOHDE 15 Valokuvat



Vedenkäsittelylaitteisto



Seinäelementtien pesulaitteisto



Pesuvesikanaalin kolakuljetin



Kierrätysveden pH:n säätö ja mittaustulokset ohjauspaneelissa



Neutralointihapon sekoitusallas



Suolahappokontti

Yhteenveto kohteista 11 – 15

Laitetoimittajalla on pitkä kokemus ja referenssilista mm. kivi- ja kaivosteollisuuden ja betoniteollisuuden kierrätysvesien käsittelystä. Betoniteollisuusreferenssejä on n. 30 kpl, muita yli tuhat.

Mielenkiintoinen pienelle kapasiteetille kehitetty uutuus on asennusvalmis pystykontti, joka sopii pieneen tilaan.

Tuorebetonin käsittelyyn (pesuun) ei löydy omaa toimivaa ratkaisua.

Kohde 16: Suuri elementti- ja valmisbetonitehdas

Tuorebetonin pesulaitteisto: Simem

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Referenssikohde on suuri betonielementti-tehdas, jonka yhteydessä on myös valmisbetoniasema. Betoninvalmistuksen kokonaiskapasiteetti tehtaalla on 200 m³/h.

Osa suurista elementeistä valetaan tehtaalla pihalla pyörillä kulkevilla valukoneilla. Betoninkuljetusjärjestelmän vaunujen ja pyö-

rillä kulkevien valukoneiden sekä autojen pesu suoritetaan yhdessä pisteessä. Samaan pisteeseen johdetaan myös sekoittimen pesuvesi (sekoittimessa korkeapainepesu).

Pesuedet ja pestävä tuorebetoni ohjataan lyhyen kanavan kautta pesurumpuun, jonka sisällä on hitaasti pyörivä ruuvikierukka. Kanavassa on syötön tasaamisen mahdollistava luukkusäätö. Pesuihin käytetään puhdasta vettä (ei slurryä). Pesurumpuun syötetään myös puhdasta vettä. Pesukierukka nostaa pestyn kiviaineksen rummun yläpäähän kuljettimelle (hihna- tms kuljetin). Pesuriin syötetty vesi poistuu pesurin alapäästä pieneen pumppaussäiliöön, josta se pumpataan sekoittimella varustettuun slurry-säiliöön. Pesuvesi (slurry) käytetään betoninvalmistukseen, siirto pumpulla. Pesty kiviaines kierrätetään takaisin betoninvalmistukseen kauhakuormaajalla. Maksimi kiviaineksen partikkelikoko on pesurin kannalta 32 mm.

Huomiot:

Toimiva laitteisto. Kompakti paketti. Pesutulos hyvä. Hihnakuljettimeen tarttuva pesty kiviaines ongelmana. Ilmeisesti harjan lisääminen helpottaa tilannetta. Laitteisto 2 vuotta vanha.

Laitteiston huoltotarve:

Ei erityistä huoltotarvetta. Häiriötilanteista tulee hälytys huoltomiehelle.



KOHDE 16 Valokuvat



Pesuri



Slurryallas



Laitteiston ohjauspaneli



Slurryn pumppaus altaaseen



Pestyn kiviaineksen kuljetushihna, jättöpää



Kuljetushihnan alkupää



Pesurin tyypillinen sijoitus pesupaikan pinnan alapuolelle

Kohde 17: Valmisbetonitehdas

Laitteiston ja prosessin kuvaus:

Betonitehdas joka valmistaa kuivabetonia ja normaalia valmisbetonia. Autojen pesuun ja tuorebetonin pesuun tarkoitettu pesurilaitteisto, joka on samanlainen kuin kohteessa 16.

Lay-out poikkeaa edellisestä kohteesta siten, että hihnakuljetin puuttuu, jolloin pesuri purkaa matalalle tasolle.

Huomiot:

Laitteisto ei ollut käytössä, tuotantokatkos. Kompakti paketti.

Laitteisto n. vuoden ikäinen.

Kuormaajan ajoluiska epäkäytännöllinen lumi- / talviolosuhteisiin.



KOHDE 17 Valokuvat



Pesuri ilman purkupään kuljetushihnaa



Pesurin sijoitus monttuun



Vasemmalla: Slurryaltaan kansivarustelu ja sekoitin



Pesty kiviaines puretaan kuormaajan luiskalle (Jyrkkä ajo-luiska !)

Yhteenveto kohteista 16 ja 17

Simem hallitsee tuorebetonin pesun ja betoniasemat.
Laitteet vaikuttavat yksinkertaisilta (=toimivilta)
Pesuria valmistetaan kahta eri kokoa, kapasiteetit 10 ja 25 m³/h.
Pesurin budjettihinnat n. 35 k€ ja 45 k€ (Ex Works).
n. 100 kpl pesuritoimituksia.

Yhteenveto Italian referensseistä

Ympäristönsuojeluvaatimuksiin suhtaudutaan vielä toistaiseksi melko kevyesti ja tehdaskohtaiset erot ovat suuria.

4. Valmisbetonitehtaat Ruotsissa

Kohde 18: Valmisbetonitehdas

Tuotanto: Maksimi kapasiteetti 90 m³/h, nykyinen tuotantotaso n. 30 000–40 000 m³/a, pääasiassa standardibetonia K30–K40, lisäaineita vähän käytössä. Teräskuitua käytetään merkittävässä määrin betoniin sekoitettuna. Uusi betoniasema, joka on ollut tuotantokäytössä toukokuusta 2003 lähtien. Betoniasema ei ole toistaiseksi saavuttanut vielä täyttä tuotantokapasiteettia markkinatilanteesta johtuen.

(Talvikokemukset puuttuvat toistaiseksi eikä koko prosessista ole vielä pitkäaikaiskokemuksia)

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Suomalaisen valmistajan toimittama siirrettävä betoniasemalaitteisto, jonka yhteyteen on kytketty Bibko:n valmistama ”recycling-kontti”. Laitteiston avainkomponentteja ovat:



- rumputyyppinen pesurilaitteisto
- pesuveden selkeytin
- pesuveden säiliöt (slurrylle ja selkeytetylle vedelle erilliset säiliöt)
- lietesäiliö siirtopumppuineen
- pestyn kiviaineksen seula
- magneettirumpu teräskuitujen erotukseen.
- putkistot

Betoniasemalle pystytään syöttämään haluttuja pesutuloksia (hienoainesliete – slurry – selkeytetty pesuvesi) haluttuja määriä. Lietteen osalta ylimääräinen osa pumpataan selkeyttimestä siirtolavalle, jotta tasapaino lietteen käytön ja lietteen ”tuotannon” välillä saavutetaan. Slurryn tiheyden osalta on käytössä ON-line mittaus.

Kiviaineksen osalta betoninvalmistukseen kierrätetään pesty karkeampi fraktio (≥ 4 mm). Hienompi fraktio (< 4 mm) ei ole pesutulokseltaan ainakaan toistaiseksi riittävän puhdasta eikä kuivaa kierrätettäväksi. Se sisältää selkeästi liikaa sementtiä ja kovettuu tai ainakin jäätyy pakkaskaudella.

Laitteisto on pääosin sijoitettu lämpöeristettyyn konttiin. Autojen pesuun on yksi (1) pesupaikkaa, lisäksi 1 paikka pumpun pesulle. Asemalla pestään n. 6 autoa päivittäin. Pesuajat n. 5 min/auto. Pesupaikat ovat ulkona kattamattomina.

Pesurin toiminta-ajat manuaaliohjauksen lisäksi 3–5 min käyntiä/pesua + n. 15 min tauko (ajat ohjelmoitavissa). Betonin syötössä säätölaite, jolla voidaan rajoittaa pesuriin johdettavaa massavirtaa. Pestyn kiviaineksen ulostulo kontista on hoidettu hihnakuljettimella. Kuljetin purkaa täryseulalle, joka poistaa tehokkaasti jäännösvettä karkeammasta kiviaineksesta.

Betonin laatukysymysten suhteen ei ole toistaiseksi kertynyt kovin runsaasti kokemuksia kierrätysmateriaalien vaikutuksesta. Tavoitteena on käyttää kierrätysmateriaaleja kaikissa valtalaaduissa, erikoisbetonit pois lukien.

Huomiot:

Laitteisto ja ympäristö siistit. Kompakti paketti, joka on saatu sopimaan pieneen tilaan. Pesupaikkoja niukasti. Ennustettavissa ongelmia pakkas- ja lumikaudella, koska pesupaikat ovat kattamattomia. Säiliöiden kapasiteetti toistaiseksi riittävä. Slurrysäiliö vaikuttaa pieneltä Lietteen ulospumppausmahdollisuus parantaa selkeästi mahdollisuuksia tasapainon saavuttamisessa. Pesutulos karkean kiviaineksen osalta hyvä, pesty kiviaines irtonaista ja kuivaa. Sementtimäärä pieni. Hieno kiviaines ei kierrätyskelpoista ainakaan nykyisillä kokemuksilla. Kuitujen erottelu yksinkertaisuudessaan toimiva. Pesurissa kuidut eivät aiheuta ongelmia. Tyytyväinen käyttäjä. Käyttökokeuksia kerätään yhtiön omaa vertailua varten. Yrityksellä on kokeilussa erityyppisiä kierrätysratkaisuja. Kierrätyslaitteiston budj. hinta n. 200.000,- € Läpikäydyistä Ruotsin kohteista kaikkien pisimmälle viety ”recycling integraatti”.

Laitteiston huoltotarve:

Toistaiseksi melko pieni huoltotarve. Lietepumpun kanssa pieniä ongelmia (ruuvipumppu).

Kohde 19: Valmisbetonitehdas

Tuotantokapasiteetti n. 55.000 m³/a.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Laitteistona Klärfix- ruuvipesuri ja yksi slurryallas, joka toimii painovoimaisena selkeyttimenä. Laitteistoon aiemmin kuulunut kiviaineksen luokitteluseula on purettu pois toimintahäiriöiden johdosta. Pesurissa on sähkölämmitys jäätymisen estämiseksi. Pesutulos on hyvä, kiviaines ei kovetu.



KOHDE 18 valokuvat



Avainlaitteet erillisessä "kontissa"



Ylijäämäliete pumpataan siirtolavalle



Pestyn kiviaineksen seulonta



Teräskuitujen magneettirumpu

Ainoastaan autojen ja pumppujen pesuvesi kierrätetään. Pesty kiviaines toimitetaan samalla tontilla sijaitsevan maanrakennusmateriaalien toimittajan käyttöön. Avoin lieteallas tyhjennetään kauhakuormaajalla. Liete toimitetaan maantäyttökohteisiin.

Huomiot:

Kierrätykseen ei ole toistaiseksi panostettu autojen pesuveden selkeytystä ja kierrätystä lukuunottamatta. Pesuri on toimiva.

Teräskuituja käytössä suuressa osassa betoneita. Pesurissa kuidut eivät aiheuta häiriöitä tai ongelmia. Autojen ulkopuoliset pesuvedet pääsevät lietealtaaseen. Kattamattomat autojen pesupaikat ongelmana talvikaudella.

KOHDE 19 valokuvat



Ruuvityyppinen pesuri



Pesuveden selkeytys-/kierrätysallas



Kohde 20: Valmisbetonitehdas

Tuotantokapasiteetti n. 20 000 m³/a.

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Laitteistona Klärfix- ruuvipesuri ja avoimet selkeytysaltaat, jotka toimivat ylijuuksutusperiaatteella. Lisäksi talviaikana altaissa käytetään pientä pintakierrätystä jäätyksen estämiseksi. Altaat pysyvät pääosin sulina normaalitalvina.

Mitään materiaaleja ei kierrätetä takaisin betoninvalmistukseen, joten ainoastaan pesuveden selkeytys ja kierrätys ovat prosessin tavoitteena.

Pesurissa on sähkölämmitys jäätyksen estämiseksi. Pesutulos on hyvä, kiviaines ei kovetu. Laitteet ja pesupaikat on sijoitettu kattamattomina piha-alueelle.

KOHDE 20 valokuvat



Autojen pesupaikat ja ruuvipesurin syöttöpää



Avoimet altaat



"Pestyjä" teräskuituja



Altaat tyhjennyssuunnasta

Pesty kiviaines toimitetaan maanrakennuskäyttöön, liete toimitetaan kaatopaikalle. Lieteallas tyhjennetään kauhakuormajalla.

Huomiot:

Kierrätykseen ei ole toistaiseksi panostettu autojen pesuveden kierrätystä lukuunottamatta. Pesuri on toimiva. Selkeytettyä pesuvettä on aikaisemmin käytetty betoninvalmistuksessa, mutta allaskapasiteetin rajoitusten johdosta sen käyttö on lopetettu. Autojen ulkopuoliset pesuvedet pääsevät lietealtaaseen. Kattamattomat autojen pesupaikat ongelmana talvikaudella.



Kohde 21: Valmisbetonitehdas

Tuotanto 70 000–80 000 m³/a
Korkealujuusbetoneita n. 70 % tuotannosta

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Mittava investointi kierrätyslaitteistoon tehty n. 1 vuosi sitten (12/2002). Laitteisto koostuu seuraavista osioista:

- autojen pesupaikka, johon sopii 6 kpl autoja samanaikaisesti
- pumpunperän pesupaikka, 1 kpl, pesurin yhteydessä
- rumpupesuri Gego 25 (25 m³/h) + tärykuljetin
- pystyselkeytin Gego
- suotopuristin Gego
- (slurry)-vesialtaat 2 kpl (tilavuus n. 90–100 m³/allas, betonialtaat), varustettu sekoittimilla
- pesupaikan työsillat/katos
- suotopuristimen suojarakennus (jälkityönä)

Päivittäin pestään n. 25 autoa ja 5 – 6 pumpua. Pesupaikkojen määrä on tuotantopäällikön kertoman mukaan alimitoitettu ruuhka-ajan tarpeeseen nähden. Pesurin kapasiteetti on riittävä. Autojen pesuun ja pesuriin johdetaan selkeytetty vesi.

Pesurin vesi ja hienoaines pumpataan pystyselkeyttimeen, josta ylijuuksu johdetaan altaisiin. Selkeyttimestä liete johdetaan suotopuristimen kautta kuljetuskonttiin. Päivittäinen lietetuotanto on n. 2–3 m³. Tavoitteena on saada kuivattu (puristettu) liete kaupaksi jollakin hinnalla.

Pesurin pesutulos on hyvä. Kiviainesta ei jaeta eri fraktioihin. Pesty kiviaines käytetään betoninvalmistuksessa sekoitettuna uuteen kiviainekseen, osa myydään maanrakennustarkoituksiin.

Käyttökokemukset ja käytännön tilanne:

Tehtaalla ei ole käytössä kiviaineksen lämmityslaitteistoa, joten käytössä on veden lämmitys (70 – 90 asteiseksi). Korkea lämpötila ei mahdollista slurrin käyttöä. (Slurrin käyttöön siirrytään, kun kiviainesten lämmitysjärjestelmä saadaan käyttöön.) Toisena rajoittavana tekijänä on korkealujuusbetonien suuri osuus kokonaistuotannosta. Laadun takaamiseksi slurrin käyttöön siirrytään harkiten ja kokeiden kautta.

Suotopuristimen kapasiteetti on pullonkaulana, koska se on ilmeisesti mitoitettu virheellisillä oletuksilla. Autojen pesusta tuleva betoni sisältää hienoainesta selkeästi suuremman määrän kuin vastaava määrä homogeenista betonia. Ts. pestävä betoni on hienoainesvaltaista ja lietettä syntyy lasketua suurempi määrä.

Suotopuristimen osalta on kohdattu lisäksi pakkasongelmia. Laitteisto on sijoitettava lämpimään tilaan (lt > 0 °C), josta johtuen sen ympärille rakennetaan eristettyä rakennusta jälkityönä. Pesuri toimii pakkasessa.

Huomiot:

Laitteisto ja ympäristö siistit. Tailor made-ratkaisu, pesupaikkojen järjestely toimiva. Investoinnin budj. hinta n. 400.000 €.

Pesutulos hyvä, pesty kiviaines irtonaista ja kuivaa. Sementtimäärä pieni. Materiaalivirrat on mahdollista saada tasapainoon, kun kiviaineksen lämmitysjärjestely toteutuu ja slurrin käyttö voidaan aloittaa. Selkeytyksen ja suotopuristimen avulla pystytään hienoaineen määrä kierrätyksessä säättämään halutuksi, joskin ratkaisulla on hintansa.

Melko tyytyväinen käyttäjä, muutamia virhearvioinnit riasana.

Ongelmakohtia:

Kuljettajien suuri määrä vaatii jatkuvaa käyttäjäkoulutusta.

Pesuveden pH nousee korkeaksi. (Ti-



lanne oletettavasti paranee, kun slurryä päästää käyttämään.)

Laitteiston huoltotarve:

Suotopuristin vaatii huoltopuhdistusta 1 krt/2 viikkoa.

Laitteisto toimii pääosin miehittämättömänä; huoltomies tarkistaa toiminnot päivittäin.

KOHDE 21 valokuvat



Pesurumpu (keltapuk. miehen takana)



Suotopuristin väliaikaisesti lämpöeristettynä

Kohde 22: Valmisbetonitehdas

Tuotanto 40 000–50 000 m³/a

Normaalibetoneita pääosa tuotannosta, teräskuituja käytetään melko runsaasti

Laitteiston ja prosessin kuvaus

Investointi kierrätyslaitteistoon tehty n. 8 kk sitten (2003 alussa). Laitteisto koostuu seuraavista osioista:

- auton pesupaikka, 1 autolle (pesurin yhteydessä)
- pumpunperän pesupaikka, 1 kpl (pesu altaaseen)
- ruuvipesuri Klärfix
- selkeytysallas 1 kpl + varastoallas selkeytetylle vedelle (soveltuu myös slurrylle, sekoittimella varustettu)
- pesupaikan työsillat/suojarakennus (Pinta-ala n. 12 m x 18 m)

Ruuvipesurista pesty kiviaines pudotetaan katoksen alle sijoitettuun pyöräkuormaajan

kauhaan, mikä toimii kiviaineksen kuljetussäiliönä. Pesty kiviaines läjitetään myytäväksi maanrakennuskäyttöön.

Pesuvesi ja hienoaines johdetaan selkeytysaltaaseen, josta ennen päivän ensimmäisiä pesuja sekä ennen altaan mekaanista lietetyhjennystä pumpataan selkeytynyt vesi varastosäiliöön. Varastosäiliö on varustettu sekoittimella. Pesut hoidetaan joko selkeytetyllä vedellä tai selkeytysaltaan vedellä.

Liete läjitetään tehdasalueelle kuivumaan ja kuljetetaan kuivumisen jälkeen kaatopaikalle/maantäyttökohteisiin.

Huomiot:

1 varsinainen pesupaikka muodostaa pullonkaulan ruuhka-aikana. Betoninvalmistukseen ei kierrätetä mitään pestyistä materiaaleista tällä hetkellä. Ainoastaan pesuveden kierrätys on käytössä. Henkilökunnan mukaan kierrätysuunnitelmat on tehty, käytännön kokeilut alkavat lähitulevai-



suudessa. Slurryn ja kiviaineksen kiertäys tulee kysymykseen, lietettä ei saada kiertoon. Pesutulos hyvä, pesty kiviaines irtonaista ja kuivaa. Sementtimäärä pieni.

Laitteisto ja prosessi ovat yksinkertaisia ja ympäristö siisti. Pesupaikkojen järjestely toimiva.

Investoinnin hintaa ei saatu selville, mutta se muodostuu pääosin betonialtaista, pohjarakenteesta ja teräsrakenteisesta hallista.

Laitteisto toimii miehittämättömänä; huoltomies tarkistaa toiminnot päivittäin.

KOHDE 22 valokuvat



Yleisnäkymä pesukatokseen



Oikeassa alakulmassa ruuvipesurin syöttökaukalo, taustalla selkeytysallas



Vasemmalla pesuri, oikealla veden varastosäiliö, varustettu sekoittimella



Pesukatoksen pääty, pesty kiviaines kauhaan

Kohde 23: Valmisbetonitehdas

Tuotanto 60 000–70 000 m³/a
Normaalibetoneita pääosa tuotannosta.

Laitteiston ja prosessin kuvaus:

Investoinnit ensimmäisiin kierrätyslaitteistoihin tällä tehtaalla on tehty jo 80-luvun loppupuolella. Kyseinen tehdas onkin edel-

läkävijä yrityksen betonitehtaiden osalta ja ilmeisesti koko Ruotsissa. Nykyinen laitteisto koostuu seuraavista osioista:

- auton pesupaikka, 2 autolle (pesurin yhteydessä)
- pumpunperän pesupaikka, 1 kpl
- ruuvipesuri Klärfix (toinen ruuvipesuri varalaitteena, vanhempi)
- 3 kpl 20 m³:n slurrykaivoja (yhdistetty toisiinsa)
- suotopuristin



- pestyn kiviaineksen seulonta-asema

Ruuvipesurista pesty kiviaines siirretään hihnalla katoksen alle sijoitettuun kiviainestaskuun, josta kiviaines siirretään pyöräkuormaajalla seulontalinjalle. Pesty kiviaines jaetaan kahteen fraktioon (>10 mm / <10 mm) ja kierrätetään takaisin betonin tuotantoon.

Slurryn tiheyttä säädetään poistamalla kiintoainesta suotopuristimen avulla. Betoniase-malle syötettävän slurryn tiheyttä mitataan ON-line- mittauksella.

Suotopuristimen erottamalle kuivalle lietteelle ei ole jatkokäyttöä, vaan se kuljetetaan maantäyttökohteisiin.

Käyttökokemukset:

Systeemin tasapainon löytäminen on haasteellinen tehtävä. Slurryn määrä vaihtelee

voimakkaasti; yleensä pienen tuotannon aikana suoritetaan runsaasti pesuja. Laitteiston säännöllinen ennakkohuolto on tärkeä osa toimintaa. Järjestelmä tarkistetaan jokaisen työpäivän aluksi. Pesut ja puhdistukset ovat välttämättömiä, mikäli halutaan häiriötöntä toimintaa. Huoltotarve on n. 1–2 hlö työtuntia/d.

Huomiot:

Tehdas ja laitteisto siistit. Kierrätys on vakiintunut toimintatapa tällä tehtaalla.

Laitteiston budjettihinta 200 000–220 000,- €

Muilta yrityksen tehtailta kerrottuja kokemuksia:

Ainoastaan kolmella tehtaalla (yrityksen kymmenestä tehtaasta) on kierrätys käytössä. Yhdellä uusista prosesseista käytetään Liebherr'in rumpu-tyyppistä pesuria, josta on saatu hyviä kokemuksia. Saatujen kokemusten valossa uusiin ruuvipesureihin ei todennäköisesti investoida.

KOHDE 23 valokuvat



Yleisnäkymä pesulaitteistosta. Suotopuristin rakennuksen sisällä vasemmalla



Pesty kiviaines siirretään katettuun taskuun



Pestyn kiviaineksen seulonta-asema



Kiviainestasku ja suotopuristimen suoja-rakennus



Yhteenveto Ruotsin kohteista ja kokonaistilanteesta kierrätyksen osalta

Käytyjen keskustelujen perusteella (Yhden yrityksen pitkää kokemusta lukuun ottamatta) ruotsalaiset valmisbetonitehtaat ovat melko alkuvaiheessa kierrätysasioiden suhteen. Pesuveden kierrätystä on harjoitettu jo ehkä pidempään, mutta kierrätysmateriaalien käyttö betoninvalmistuksessa on varsin alkuvaiheessa. Yksi suurista valmisbetonin tuottajista on johdonmukaisesti aloittanut erityyppisten ratkaisujen testaamisen eri tehtaillaan (kohteet 18, 21 ja 22).

Ruotsalaisia pesurilaitteistoja ei tavattu, eikä niitä myöskään kukaan tuntenut. Kaikki avainlaitteet olivat keskieurooppalaista alkuperää.



LIITE 3. BETONIMURSKEEN LAADUNVALVONTAMENETELMÄT JA VALVONTAOHJELMA

1. Raaka-aineen vastaanotto murskausasemalle

- Materiaalin puhtauden varmistaminen
 - Silmämääräinen tarkistus
- Vastaanottokirjanpito
 - Materiaalin alkuperä
 - Materiaalin laatu
 - Toimittaja
 - Määrä

2. Murskaus

- Näytteenotto
 - Kasasta tai
 - kuljetinhihnalta

Näytteen otossa noudatetaan PANK-2001 "Kiviainesnäytteiden ottaminen ja käsittely", kohta 5.5 ja Suomen betoniyhdistys "by 43 Betonin kiviainekset", kohdat 6.4 ja 6.8.

3. Betonimurskeen laatuvaatimukset

Määritettävät ominaisuudet (murskeen toimittajan teettämät tutkimukset):

- Rakeisuus
- Routivuus
- Maksimi irtotiheys ja optimivesipitoisuus
- Puristuslujuus
- Materiaalin puhtaus (muiden aineiden kuten puu, muovi, yms. määrä)
- Ympäristökelpoisuus (VTT 1996 suositusten mukaisesti, katso s. 9)

Rakeisuus:

Rakeisuus määritetään seulomalla. Seulomisia tehdään 1 seulonta 2000 tonnia kohden

tai vähintään 2 seulontaa/viikko. Rakeisuuden tulee olla Kuntaliiton KT 97 kantavan kerroksen kiviainemurskeen ohjekäyrän alueella.

Routivuus:

Materiaalin routivuus määritetään rakeisuuden avulla. Seulomalla määritettyä materiaalin rakeisuuskäyrää verrataan Tielaituksen ohjeissa [Teiden suunnittelu, TVH:n ohjeet, kansio B 1985, kuva 12:2] esitettyihin rakeisuuskäyriin. KT 97:n kantavan kerroksen rakeisuusvaatimukset täyttävä betonimurske on routimatonta. Materiaalin routivuutta seurataan samalla näytteenottovälillä kuin rakeisuutta.

Maksimi irtotiheys ja optimivesipitoisuus:

Maksimi irtotiheys ja optimivesipitoisuus määritetään parannetulla Proctor-kokeella tai IC-testerillä. IC-kokeessa käytetään työpaineena 4,0 bar ja kierroksia 160.

Puristuslujuus:

Lujittumisen seuraamiseksi tehdään IC-testerilaitteistolla yksi näytesarja/10 000 tn tai vähintään 1 näytesarja / murskauserä. Yksi näytesarja sisältää 7 koekappaletta. Koekappaleet valmistetaan vastaavalla tavalla kuin määritetään maksimikuivatilavuuspaino. Puristaminen suoritetaan ohjeen BY 15 Betoninormit 1993 mukaisesti.

Kolme koekappaletta puristetaan 7 vuorokauden ikäisenä ja kolme 28 vuorokauden ikäisenä. Seitsemäs koekappale on varakappale, joka puristetaan tarvittaessa. Koekappaleet säilytetään + 20 °C lämpötilassa muovikelmulla peitettynä.



Materiaalin puhtaus:

Orgaanisten epäpuhtauksien (puu, muovi yms.) määrä ja tiilipitoisuus (# 8 mm seulalle jääneestä kuivatusta näytteestä) määritetään riittävän usein, kuitenkin vähintään 20 000 t välein. Määrittäminen tehdään standardin NEN 5942 (Nederlandse norm 1990) mukaisesti seuraavien tarkennuksien:

- Yli #8 mm rakeet jaetaan silmämääräisesti kolmeen ryhmään: betoni, tiilet ja muut. Tiileksi lasketaan lujuukseltaan tiiltä vastaavat mineraalipohjaiset materiaalit, kuten poltetut tiilet, kalkkihiekkatiilet, keraamiset laatat, kevyt-betonit, muurauslaasti.
- Kunkin materiaalin paino-osuudet (paino-%) lasketaan #8 mm seulalle jääneestä kokonaismassasta.

Materiaalin tiilipitoisuus ja erittäin keveiden eristemateriaalien (esim. solumuovi, vuorivilla yms.) määrää arvioidaan jatkuvasti silmämääräisesti murskeesta murskaamalla.

Betonimurskeen luokituksessa epäpuhtauksien suhteen käytetään seuraavia raja-arvoja:

	tiilen maksimimäärä	muuta materiaaleja (puu, muovi yms.)
	[paino-%]	[paino-%]
BeM I	0	0,5
BeM II	10	1
BeM III	10	1
BeM IV	30	1

4. Betonimurskeen vastaanotto työmaalle

- Materiaalin laadun arvioiminen
 - Silmämääräinen tarkistus
 - Materiaalin rakeisuus todetaan KT97:n mukaisin näytteenottovälein työmaalla
- Vastaanottokirjanpito
 - Mitä lajitetta
 - Kuka toimitti ja milloin
 - Määrä
- Rakentamiskirjanpito
 - Mihin kuormat sijoitettu. Kirjataan esim. mitä paaluväliä on rakennettu ko. päivänä betonimurskeella
 - Erityistoimenpiteet (kastelu)