

**BETONIRAKENTAMINEN JA
BUBBLEDECK-JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖ
KERROSTALORAKENTAMISESSA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Hämeenlinnan korkeakoulukeskus,
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK)

Kevät, 2021

Juha Halla

Tekijä Juha Halla

Vuosi 2021

Työn nimi Betonirakentamisen ja BubbleDeck-järjestelmän käyttö
kerrostalorakentamisessa

Ohjaajat Jarno Pölönen (HAMK), Petteri Kärki (Skanska)

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön aiheena on tutkia mahdollisuutta betonisten välipohjalaattojen kevennysjärjestelmien käytön aloittamisesta Suomessa. Eri valmistajien kevennysjärjestelmiä käytetään jo kymmenissä maissa ympäri maailmaa, mutta Suomeen ne eivät ole vielä rantautuneet. Miksi ne eivät ole saaneet jalansijaa suomalaisessa kerrostalorakentamisessa?

Opinnäytetyössä keskitytään tarkemmin BubbleDeck-järjestelmään. Lähtökohta opinnäytetyölle on Skanska Talonrakennus Oy:n työpäällikkö Petteri Kärjen lause: ”BubbleDeck-järjestelmä yhdistää paikallavalulaatan ja ontelolaatan hyvät puolet.” BubbleDeckiä voidaan käyttää paikallavalulaatassa, kuorielementtirakenteisena ja massiivilaattana. Kevennysrakenteen idea on sama kuin arinalaatassa. Arinalaatassa kevennysrakenne on laatan alapinnassa, kun taas BubbleDeck-järjestelmässä kevennyskuplat valetaan laatan sisään.

Betonirakentaminen, varsinkin betonin valmistaminen, tuottaa valtavat määrät hiilidioksidia. Käyttämällä BubbleDeck-järjestelmää kerrostalorakentamisessa, betonin määrää on mahdollista vähentää. Välipohjalaatan betonin määrää voidaan vähentää jopa kymmeniä prosentteja massiivilaattaan verrattuna. Ajallista säästöä on mahdollista saada lyhentyneinä rakenteen kuivumisaikoina, kun BubbleDeck-järjestelmän hyödyntämistä ja rakentamista kehitetään eteenpäin.

Avainsanat BubbleDeck, kevennysrakenne, betonin korvaaminen

Sivut 45 sivua

Author	Juha Halla	Year 2021
Subject	Concrete Construction and the Use of the BubbleDeck-system in Apartment Buildings	
Supervisors	Jarno Pölönen (HAMK), Petteri Kärki (Skanska)	

ABSTRACT

The goal of the thesis is to explore the possibility to start using a lightening system on concrete floors in Finland. Different manufacturers are using the lightening systems on dozens of countries around the world, but in Finland these systems are not used yet. Why have not the systems had a footing in Finnish construction industry?

The thesis focuses more closely on the BubbleDeck-system. The starting point for the thesis is a statement made by Petteri Kärki, a Project Manager at Skanska Talonrakennus Oy. He said that the BubbleDeck-system combines the benefits of both spot casting slabs and hollow core slabs. The BubbleDeck-system can be used on spot casting slabs, shell element slabs, and on solid slabs. The idea of the lightening system is the same as in grate slab. In grate slab the lightening system is at the bottom of the slab, unlike in the BubbleDeck-system where the lightening bubbles are casted inside the concrete.

Making concrete structures produces vast quantities of carbon dioxide, especially in the manufacturing stage. By using the BubbleDeck-system it is possible to reduce the amount of used concrete in apartment buildings. The amount of concrete used in slabs can be reduced by as much as tens of percents compared to solid slab. Using and utilizing the BubbleDeck-system can save both time and money as this system is developed and used more in the future.

Keywords BubbleDeck, lightening system, concrete replacement

Pages 45 pages

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Betonirakentaminen.....	2
2.1	Betonirakentamisen historia.....	2
2.2	Betonirakentaminen Suomessa	3
2.3	Betonirakentamisen ruuhka-aika ja nykyisyys.....	4
2.4	Betonialan järjestäytyminen	5
2.5	Yleisesti Suomessa käytettävät rakenteet	7
2.5.1	Paikallavalulaatta	7
2.5.2	Betonielementit	9
2.5.3	Talotekniikan sisältävä laattaelementti	11
3	Kevennystekniikoiden hyödyt	13
3.1	Ympäristölliset hyödyt	13
3.2	Taloudelliset hyödyt.....	15
3.3	Ajalliset hyödyt.....	16
4	Materiaalit ja niiden kierrätys	18
4.1	Betoni ja betonin kierrätys.....	18
4.2	Muovit ja muovien kierrätys	19
5	Yleiset rakentamismääräykset	21
5.1	Suunnittelu.....	21
5.2	Kuormitusluokka	22
5.3	Palonkestävyys.....	22
5.4	Ääniympäristö	23
5.4.1	Askelääneneristys.....	24
5.4.2	Ilmaääneneristysluku	24
6	BubbleDeck-järjestelmä	25
6.1	Rakenne.....	25
6.2	Mitoitus.....	26
6.2.1	Jänneväli.....	26
6.2.2	Taivutusjäykkyys ja taipuma	26
6.2.3	Leikkaus	27
6.2.4	Lävistys	27
6.2.5	Palonkesto	29
6.2.6	Askelääniluku	30

6.3	Asentaminen	31
7	BubbleDeck massiivilaatta -ratkaisu.....	32
7.1	Elementtitehdas Betset Oy	32
7.2	BubbleDeck-järjestelmän tuominen markkinoille	32
7.3	BubbleDeck-järjestelmä massiivielementtinä	33
7.4	Betset Oy:n resurssit BubbleDeck-tuotantoon.....	33
7.5	BubbleDeck-järjestelmän maksimaalinen hyödyntäminen	33
7.6	BubbleDeck-järjestelmän haasteet.....	34
8	Keventävät rakenteet	36
8.1	Cobiax-järjestelmä	37
8.2	U-Boot Beton- ja U-Bahc Beton-järjestelmät.....	40
8.3	New Nautilus-järjestelmä	41
8.4	Beeplate-järjestelmä.....	42
9	Yhteenveto	44
	Lähteet.....	46

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1.	Doka-muotti.....	8
Kuva 2.	Holviraudoitus.....	9
Kuva 3.	Ontelolaatta ja saumaraudoitus	10
Kuva 4.	Arinalaatan rakenne (Väisänen, 2005, s. 66)	11
Kuva 5.	Luja-Superlaatta (Lujabetoni, n.d.)	12
Kuva 6.	Parma tekniikkalaatta (Parma, n.d.)	13
Kuva 7.	BubbleDeck-laatan poikkileikkaus (BubbleDeck floors, 2001, s. 3).....	25
Kuva 8.	Testissä käytetyn rakenteen leikkauskuva (Schnellenbach-Held & Pfeffer, 2002, s. 552).....	28
Kuva 9.	Kevennyskuplien kohdalta murtunut rakenne (Schnellenbach-Held & Pfeffer, 2002, s. 555).....	29
Kuva 10.	BubbleDeck-kuorilaatan nosto (BubbleDeck Construction, 2015).....	31
Kuva 11.	Romahtanut pysäköintitalo (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019)	35
Kuva 12.	Oikea asennustapa (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019)	35
Kuva 13.	Pettävä rakenne (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019).....	36

Kuva 14. Cobiax EL raudoituskehikko (Cobiax, n.d. -b)	38
Kuva 15. Cobiax SL raudoituskehikko (Cobiax, n.d. -d)	38
Kuva 16. Cobiax CLS moduuli (Cobiax, n.d. -a)	39
Kuva 17. Cobiax CLS -elementit paikallavalurakenteessa (Cobiax, n.d. -e).....	40
Kuva 18. U-Boot Beton yksinkertaiset kupit asennettuna (Daliform Group, n.d.).....	41
Kuva 19. New Nautilus yhdistetty kuppi (Geoplast, 2013).....	42
Kuva 20. Beeplate-kennosto (Roll-it! Rolled Reinforcement, 2017)	43
Taulukko 1. Elinkaaren vaiheet (Salminen, 2021, s. 88)	14
Taulukko 2. Normaalisti kovettuvan betonin hiilijalanjälki (Salminen, 2021, s. 90)	15
Taulukko 3. Betonijätteen kierrätys 1994-2011 (Betoni, n.d. -b).....	19
Taulukko 4. Mekaanisen kierrätyksen prosessi (muovien kierrätys, n.d. -c)	21
Taulukko 5. Vapaasti tuettujen, yhteen suuntaan kantavien ja ristiin kantavien teräsbetoni- ja jännebetonilaattojen vähimmäismitat ja keskiöetäisyyksien vähimmäisarvot (Rosvall, 2015, s. 40).....	23
Taulukko 6. Vaatimukset uuden rakennuksen ääneneristykselle (Ympäristöministeriö, 2018, s. 20)	24
Taulukko 7. BubbleDeck-laatan jännevälit (Technical Paper, 2006, s. 1).....	26
Taulukko 8. BubbleDeck taivutusjäykkyys (Tests and Reports Summary, 2006, s. 3).....	27
Taulukko 9. Leikkauskapasiteetti (Tests and Reports Summary, 2006, s. 4)	27
Taulukko 10. Testitulokset eri laatan paksuuksille (Schnellenbach-Held & Pfeffer, 2002, s. 553).....	29
Taulukko 11. BubbleDeck-laatan suojabetonin paksuus eri palonkestoajoilla (Technical Paper, 2006, s. 2)	30

1 Johdanto

Opinnäytetyöni aihe tuli Skanska Talonrakennus Oy:n työpäällikkö Petteri Kärjeltä. Tarkoitukseni on selvittää kerrostalorakentamisessa holvirakenteiden keventämisvaihtoehtoja ja erityisesti BubbleDeck-järjestelmää. Työssäni tarkastelen teorian, käytännön ja omakohtaisen kokemuksen kautta, onko kyseisestä järjestelmästä korvaamaan Suomessa normaalisti käytettäviä rakenteita, eli paikallavalu- ja ontelolaattarakenteita. Opinnäytetyöhöni liittyen haastattelin Betsset Oy:n kehitysjohtaja Harri Bergholmia. Sain hänen näkemyksensä BubbleDeck-järjestelmän käytöstä massiivilaattarakenteessa ja miten heidän mielestään kevennysrakenteen käyttämistä kannattaisi kehittää.

Käyn työssäni esimerkinomaisesti läpi yleisimpien Suomessa käytettyjen välipohjaratkaisujen työvaiheita. Tämä mahdollistaa havaitsemaan BubbleDeck-järjestelmän hyödyt, haitat, yhteneväisyydet ja erot yleisimpiin välipohjarakenteisiin verrattuna. Maailmalla on käytössä useiden eri valmistajien kevennysjärjestelmiä. Kaikissa järjestelmissä on paljon yhteistä ja suurin osa on tarkoitettu paikallavalulaattaan. Työpaikaltani sain pyynnön selvittää nimenomaan elementtirakenteisten kevennysjärjestelmien käyttöä rakentamisessa.

Eri valmistajien kevennysratkaisut eroavat ainakin jonkin verran toisistaan. Esimerkiksi tietyt valmistajat käyttävät keventävinä rakenteina palloja tai kennoja ja ne saattavat olla irrallisina tai valmiiksi teräskehikkoihin sidottuja. Käytän tässä opinnäytetyössä kevennysratkaisu- tai kevennysjärjestelmä-sanaa, kun tarkoitan yleisesti valmistajista riippumatonta rakennetta.

Betonirakentaminen tuottaa joka vuosi valtavia määriä hiilidioksidia maailmassa. Suomessa, kuten monissa muissakin maissa, on kunnianhimoiset tavoitteet päästöjen vähentämiseen ja hiilineutraaliuden tavoitteluun. Rakennusteollisuuden tulee ottaa oma osansa näistä tavoitteista. Käytännössä tämä tarkoittaa joko rakentamisen vähentämistä tai uusien ympäristöä vähemmän kuormittavien tuotteiden sekä rakennustapojen kehittämistä ja käyttöönottoa.

Lauri Leikas on tehnyt vuonna 2013 mainion diplomityön ”Kevennetyn pilarilaatan teknis-taloudellinen tarkastelu”. Diplomityössään Leikas käy tarkemmin läpi kevennettyjen rakenteiden suunnitteluun, asennukseen ja kustannuksiin liittyviä näkökulmia. Omassa opinnäytetyössään keskityn tarkemmin työmaan näkökulmaan ja niihin syihin, joiden perusteella kevennettyjä järjestelmiä olisi järkevä valita rakenneratkaisuiksi.

2 Betonirakentaminen

Betonirakentamisella on pitkä historia, eikä vaihtoehtoa sementille rakennusmateriaalina tulla koskaan löytämään. Betonin perusrakenne on pysynyt samanlaisena 1800-luvun puolivälistä lähtien. Elementtirakentaminen on kehittynyt tehokkuutta silmällä pitäen. Betonin ja betonirakentamisen tulevaisuuden tähtäimet ovat ympäristönäkökulmissa. Betonia säästäviä ja betonin ympäristöystävällisyyteen kehittäviä ratkaisuja on jo kehitetty ja kehitetään edelleen.

2.1 Betonirakentamisen historia

Jo muinaiset roomalaiset kehittivät betonin esivaiheen sekoittamalla keskenään sammutettua kalkkia, pozzolana-laavakiveä, kivimursketta ja vettä. Betonin tekemisen taito unohtui kuitenkin aina 1700-luvun lopulle, kunnes britit kiinnostuivat siitä uudelleen. Ensimmäisen kerran keinotekoisin sementin valmistamisen tekniikka patentoitiin 1824 nimellä Portland-sementti. Nykyisen kaltainen Portland-sementti kehitettiin vuonna 1844. Nimi Portland-sementti tulee sen rakennusaineena käytettävän luonnonkiven mukaan. Sementin tehdastuotanto alkoi ensimmäisen kerran Englannissa vuonna 1843. (Hytönen & Seppänen, 2009, s. 14)

Aluksi sementti oli käytössä kivimuurien sideaineena. Myöhemmin alettiin valaa betonimassaa muottiin. Betonimassa valmistettiin sementin, soran, hiekan ja veden sekoituksesta. Massassa syntyi kemiallinen reaktio, jonka seurauksena syntyi kiinteä ja kivimäinen rakenne. Betonin ominaisuuksia opittiin säätämään kemiallisilla lisäaineilla 1900-luvun puolella. (Hytönen & Seppänen, 2009, ss. 14-15)

Betonilla on hyvä puristuslujuus mutta huono vetolujuus. Betonirakenteen vetolujuutta parannetaan lisäämällä terästä betonirakenteeseen. Teräsbetoni valmistusmenetelmä patentoitiin 1867 Ranskassa, jossa myös esijännitysmenetelmä kehitettiin vuonna 1886. Menetelmässä

märkään betoniin upotettiin terästankoja, joita venytettiin ennen massan kovettumista. Valmiissa betonirakenteessa venytetyt tangot pyrkivät palautumaan alkuperäiseen tilaansa. Tämä aiheuttaa betoniin puristavan jännityksen. (Hytönen & Seppänen, 2009, s. 15)

Ensimmäinen esivalmistetuista osista rakennettu rakennus oli vuoden 1851 Lontoon maailmannäyttelyyn suunniteltu Crystal Palace. Sen osat oli valmistettu raudasta, puusta ja lasista. Vuonna 1891 valmistui ensimmäinen betonielementtivalimo ja vuonna 1936 vaativa elementtitekniikalla rakennettu lentokonehalli Orvieto. (Hytönen & Seppänen, 2009, s. 15)

2.2 Betonirakentaminen Suomessa

Suomessa käytettiin ensimmäisen kerran tuontisementtiä vuonna 1856 Saimaan kanavan muurin rakennustöissä. Suomen ensimmäinen sementtitehdas perustettiin vuonna 1869 Keravalla. Ensimmäisen kerran teräsbetonirakennetta käytettiin vuonna 1905 Viipurin tyttökoulua rakennettaessa. (Hytönen & Seppänen, 2009, ss. 15-16)

Teräsbetoni alkoi korvaamaan asuinkerrostalojen puuvälipohjat 1920-luvulla ja 1930-luvulla betonia aloitettiin käyttämään kerrostalojen kantavina pystyrakenteina. Samaan aikaan käytettiin ensimmäistä kertaa massiivista teräsbetonilaattaa välipohjien kantavana rakenteena. Kevytbetonia käytettiin ensimmäisen kerran arkkitehti Alvar Aallon suunnittelemaan Turun sanomien toimitaloon. Aalto käytti esivalmisteisia betonilaattoja. (Hytönen & Seppänen, 2009, s. 16)

Esivalmistetut kevytbetoniset välipohjat tulivat kokeiluun 1940-luvun loppupuolella. Esivalmisteisista osista käytettiin mm. nimitystä ”tehdasvalmisteinen” ja ”standardivalmisteinen”. Esivalmisteisista osista nimitys elementti vakiintui vuonna 1950. Asuinrakentamisessa ensimmäiset elementit olivat ns. täydentäviä rakenteita. Ensimmäinen betonista valmistettu täydentävä elementtirakenne oli porrassyöksy. Se otettiin tuotantoon vuonna 1951. (Hytönen & Seppänen, 2009, ss. 24-25, 35)

Suomessa alettiin käyttämään betonielementtien esijännitystekniikkaa 1940-luvun lopulla. Esijännittämisellä pyritään kompensoimaan rakenteen oman painon ja hyötykuorman aiheuttamaa jännitystä. Muottien avulla pystyttiin tekemään betonipinnoista sileämpiä. 1940- ja

1950-lukujen vaihteessa kehitetyt muottityypit olivat kevyitä ja käsin liikuteltavia. Käsin tehtävät muottityöt vaativat paljon työtä, joten myöhemmin kehitettiin suurmuotteja, joita voitiin siirrellä kokonaisena nosturin avulla. (Hytönen & Seppänen, 2009, ss. 27, 42)

Aikaisemmin rakennuksien ulkoseinät olivat osa kantavaa rakennetta. 1950-luvulla asuintalon ulkoseinä ja runko erotettiin toisistaan. Rungosta tuli kantava rakenne ja ulkoseiniä voitiin suunnitella esimerkiksi lämpöeristyksillä. Lämpöeristeillä varustettuja sandwich-elementtejä valmistettiin ensimmäisen kerran vuonna 1957, valmistamalla ne työmaalla Helsingissä. (Hytönen & Seppänen, 2009, ss. 47-48)

Sandwich-elementit toivat omat haasteensa. Ne tulee valmistaa mittatarkaksi tiiveyden takia. Lisäksi elementin ulkopinnan lämpötilanvaihtelut aiheuttavat siinä halkeilua, joten elementtien väliin pitää jättää sauma. Suomessa otettiin käyttöön joustava synteettisestä kumista valmistettu saumausaine 1960-luvulla. Saksassa oli valmistettu putkimaisilla onteloilla kevennettyjä välipohjalaattoja jo 1930-luvulla. Suomessa esijännitettyä ontelolaattaa alettiin käyttää 1950-luvulla ja 1960-luvulla alkoivat yleistymään elementtiparvekkeet ja niiden kaiteet. (Hytönen & Seppänen, 2009, ss. 49-51)

2.3 Betonirakentamisen ruuhka-aika ja nykyisyys

Suomen elementtiteollisuudella oli 1970-luvulla haastava pysyä tuotantoaikataulussa kiivaan kysynnän vuoksi. Elementtien kuivumista joudutettiin lämpökäsittelyllä, mutta sitä ei aina hallittu. Samoin saatettiin kuljettaa elementit ulkoilmaan säilytettäväksi ilman jälkihoitoaineita. Näiden takia elementit saattoivat vaurioitua talvella ja kesällä kuivua liian nopeasti. Tällöin Suomessa otettiin ensimmäisen kerran käyttöön myös pilarilaatta-järjestelmä. Pakkasrapautumista estävä lisähuokoistustekniikka otettiin käyttöön 1980-luvun alussa. (Hytönen & Seppänen, 2009, ss. 111-121)

Betonien laatuja on kehitetty edellisten vuosikymmenten aikana. Näitä kehitettyjä tuotteita on mm. kuitu-, itsestiviivistyvä- ja korkealujuusbetoni. Kuitubetoniin on sekoitettu erilaisia kuituja parantamaan betonin vetolujuutta ja kestävyyttä. Teräskuitubetonilla voidaan korvata perinteistä teräsraudoitetta. Polypropeenikuidut vähentävät betonin plastista kutistumista ja halkeilua.

Itsetiivistyvä betoni (IT-betoni) on kehitetty kohteisiin, missä normaalia tiivistystä ei voida tehdä. Näitä kohteita on esimerkiksi korkeat, ohuet ja tiheästi raudoitetut rakenteet. (Rudus, n.d. -a)

Korkealujuusbetoni (betoniluokat C55/67:stä ylöspäin) omaa nimensä mukaisesti korkeamman puristuslujuuden (yleensä 50 – 100Mpa) kuin normaalilla betonilla (alle 50Mpa).

Korkealujuusbetoni mahdollistaa ohuempien rakenteiden tekemisen verrattuna normaaliin betoniin. Korkealujuusbetonia käytettäessä rakenteiden paksuutta on mahdollista pienentää ja betonia saatetaan pystyä käyttämään jopa 25 % vähemmän, kuin normaalia betonia, joten se on myös ympäristöystävällisempää. (Tuomikko, 2019)

Rudus Oy kehitti markkinoille vihreän betonin vuonna 2012. Ruduksen mukaan vihreän betonin hiilidioksidipäästöt ovat helposti 20 – 50 % pienemmät tavanomaisiin betoneihin verrattuna. Vihreä betoni soveltuu mm. tavanomaisiin perustuksiin ja sisätiloihin, mutta ei voimakkaiden suola-pakkasrasitettuihin rakenteiden valmistukseen. (Rudus, n.d. -b)

Noora Tuomainen tutki opinnäytetyössään Rudus Oy:n vihreää betonia ja vertasi tuloksia normaaliin lattiabetoniin. Tuomaisen mukaan vihreän betonin hiilidioksidipäästöt ovat yli 50 % pienemmät kuin normaalin betonin. Vihreän betonin varhaislujuus on huomattavasti pienempi normaaleihin betoneihin verrattuna, mutta on kuitenkin lähellä tavoitelujuutta 28 vuorokauden iässä. Varhaislujuuden hitaampi kehitys saattaa vaikuttaa rakennusaikaan (holvitukien purkaminen). Tuomaisen mukaan kosteusmittausten tulosten perusteella lattian pinnoitus olisi kuitenkin mahdollista aloittaa aikaisemmin normaaliin lattiabetoniin verrattuna, mutta kuivumisaikaa on syytä tutkia tarkemmin. (Tuomainen, 2013, s. 45)

2.4 Betonialan järjestäytyminen

Betonirakenteiden yleistymisen seurauksena myös rakennusvirheet lisääntyivät Suomessa. 1900-luvun ensimmäisten vuosikymmenien aikana valmistumassa olleita rakennuksia sortui työmaiden huolimattomuudesta ja tietämättömyydestä. Sääntöjä, määräyksiä ja ohjeistuksia tarvittiin kipeästi rakennusalalle. (Hytönen & Seppänen, 2009, s. 19)

Vuonna 1911 laati Suomenkielisten Teknikoiden Seuran Betoniklubi määräykset betoni- ja teräsbetonirakenteista. Näiden esikuvana oli vuonna 1877 Preussissa laaditut ensimmäiset

betonialan viranomaisnormit. Suomen Betoniyhdistys perustettiin vuonna 1924. Suomen Betoniyhdistys ja Suomen Sementinvalmistajain Yhdistys tekivät yhteistyössä alalle standardoinnin. Vuonna 1929 valtioneuvosto vahvisti Suomen Betoniyhdistyksen laatimat maanlaajuiset betoni- ja teräsbetonirakenteiden määräykset. (Hytönen & Seppänen, 2009, s. 19)

Toisen maailmansodan aikana Suomi vahvisti runsaasti puolustuslinjojaan. Betonin lujuusvaatimukset kasvoivat linnoitustöissä. Tämän seurauksena betonimassan laadun valvonta kehittyi. Sotien aikana alkoi talvibetonoinnin kehittäminen ja sitä jatkettiin myös sotien jälkeen, jolloin koitti jälleenrakentaminen ja pula-aika. Rakennusmateriaalien saatavuusongelmien ratkaisemiseksi oli kehitettävä uusia rakenneratkaisuja. Nämä uudet rakenteet tarvitsivat uusia ohjeita, joten Suomen viranomaiset julkaisivat uudet betoninormit vuonna 1946. Näissä normeissa betoni jaettiin A-, B- ja C-luokkaan suunnittelun, lujuuden ja laadunvalvonnan mukaan. Vaativammassa A-luokassa rakentajia velvoitettiin käyttämään betonityön valvojia ja suunnittelijoita laadun varmistamiseksi. (Hytönen & Seppänen, 2009, ss. 20-22)

Betoniteollisuus kehittyi ja sen kehityksen hallitsemiseksi tarvittiin standardointia. Sodan aikana perustettu Suomen Arkkitehtiliitto SAFA:n Standardisoimislaitos suoritti standardointityön yhdessä VTT:n rakennusteknillisen laboratorion kanssa. SAFA keräsi tietoja RT-kortistoa varten ja VTT testasi ja standardoi talojen rakenneosia. Tutkimuksia ja laboratoriodien kokeiden tuloksia hyödynnettiin rakennusalan yritysten tuotekehityksessä. (Hytönen & Seppänen, 2009, s. 23)

Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestö (SBK) perustettiin vuonna 1962. Vuonna 1955 perustettu Betoniteollisuusliitto ja Suomen Betonialan teollisuus tulivat SBK:n jäseniksi ja ne lakkautettiin samalla. SBK:n toiminta jatkui aina vuoteen 1993 asti. Vuonna 1992 perustivat Suomen Betoniteollisuuden keskusjärjestö, Puuteollisuus, Kattohuopayhdistys, Suomen Tiiliteollisuusliitto ja Rakennuspuuseppäteollisuus Rakennustuoteteollisuus ry:n (RTT). Samana vuonna urakoitsijoiden etujärjestöt yhdistyivät Rakennusteollisuuden Keskusliitoksi (RTK). RTT ja RTK perustivat vuonna 2002 Rakennusteollisuus ry:n (RT). Näin ollen jo 1970-luvulla ajatus saada koko rakennusala yhteen etujärjestöön viimein toteutui. (Hytönen & Seppänen, 2009, ss. 61-64, 282-286)

2.5 Yleisesti Suomessa käytettävät rakenteet

Suomessa yleisimmin käytettävät holvirakenteet ovat massiivivalulaatta ja kevennettynä ontelolaatta. Lisäksi massiivilaatta on yleisesti käytössä, esim. parvekelaattoina ja kuorilaatta paikallavalun pohjalaattana. Arinalaattaa ei perinteisesti käytetä välipohjarakenteena asuinkerrostalorakentamisessa, koska se jättää kennomaisen alapinnan. Jotta on mahdollista vertailla kevennysjärjestelmien käyttöä ns. vanhoihin käytössä oleviin rakenteisiin, on tunnettava niiden erityispiirteet. Tässä luvussa esitetään teorian ja oman kokemuksen kautta eri rakenteita niiltä osin, kuin niillä on vaikutusta BubbleDeck-järjestelmän valintaan.

2.5.1 Paikallavalulaatta

Kerrostalon betonivälipohjia voidaan rakentaa kahdella tavalla: paikoilleen nostettavilla elementeillä tai muottijärjestelmän päälle valetulla betonirakenteella. Paikallavalulaatta on ristiin kantava ja sen hyvinä puolina on mm. tiivis rakenne ja muunneltavuus jopa rakennusaikana. Tiivis rakenne ei tuo ainoastaan kosteusteknillistä tiiveyttä, vaan se tuo myös hyvän ääneneristävyyden. Talotekniikkaan tai joihinkin muihin suunnitelmamuutoksiin on vielä mahdollista reagoida laatan rakennusvaiheessa ennen valua. Paikallavalulaatan huonona puolena on, että rakenteen kaikki työvaiheet tehdään työmaalla.

Paikallavalurakenne vaatii tuekseen tiiviin ja kestäväen muottijärjestelmän. Suomessa yleisimmin käytettyjä muottijärjestelmiä ovat Peri tai Doka (kuva 1). Eri valmistajien holvimuottikaluston peruseriaate on kaikilla sama. Säädettävät teräksiset tai alumiiniset pystytuet tukevat vaakapalkit. Vaakapalkkien päällä on koolauspalkit ja vaakakoolauksen päällä on muottivanerilevyt tai kasetit. (Doka, 2014)

Kuva 1. Doka-muotti



Muottilevyjen päälle rakennetaan raudoitus rakennesuunnittelijan ohjeiden mukaisesti. Pohjaraudoitus irrotetaan muottilevystä välikkeillä. Raudoituksen ohessa asennetaan talotekniikka ennen pintaverkkoa. Raudoitus sisältää mm. tarvittavat laatan reunateräkset ja seuraavien elementtien tartunnat sekä lopuksi pintaverkon. Lopuksi laatta valetaan valmisbetonilla. Betoni pumpataan, tärytetään ja tasoitetaan laatan haluttuun korkoon. Mikäli kylpyhuoneet valetaan samalla kertaa, kaadot lattiakaivoihin päin muotoillaan samalla. Talvirakentamisessa täytyy huolehtia, ettei betoni pääse jäätymään ennen kuin se saavuttaa riittävän lujuuden (5 MN/m^2). Lujuuden kehittymistä voidaan seurata mittaamalla ja jäätymistä voidaan estää tarvittaessa suojaamalla ja lämmittämällä.

Kuva 2. Holviraudoitus



2.5.2 Betonielementit

Elementtirakentaminen tuo rakentamiseen paljon hyötyjä. Elementit valmistetaan tehtaissa kuivissa oloissa, sillä tämä säästää työvaihe- ja kuivumisaikaa työmaalla.

Normaalisti kuorielementti on ohut ja tehtaalla esijännitetty laattaelementti, jolloin se toimii muottina työmaalla valettavalle betonille. Kuorilaatta muodostaa pääraudoituksen sisältävänä päälle valetun betonirakenteen kanssa liittorakenteen. Massiivisia kuorilaattoja voidaan käyttää väli- ja yläpohjina. (Betsset, n.d. -c)

Ontelolaatta (kuva 3) on Suomessa eniten käytetty ja yhteen suuntaan kantava elementtilaatta. Ontelolaatat ovat tehtaalla esijännitetyjä ja pitkittäissuunnassa kulkevilla onteloilla kevennettyjä. Ontelolaattoja käytetään joskus seinärakenteina, mutta pääasiassa ala-, väli- ja yläpohjissa, niin asuin-, liike- ja teollisuusrakennuksissa. Ontelolaattoja on mahdollista saada 150 – 500 mm paksuisina käyttötarkoituksensa mukaan. Laattojen väliin tulee raudoitus ja saumavalu. (Betsset, n.d. -c)

Kuva 3. Ontelolaatta ja saumaraudoitus



Betsset antaa tarkat ohjeet ontelolaattojen käsittelylle ja asentamiselle turvallisesti. Yritykseltä saa vuokrattua tarvittavan ja ontelolaatoilleen yhteensopivan nostokaluston työmaan käyttöön. Onteloiden päätytulpat on tarkastettava ennen saumavalua, muuten onteloihin menee saumabetonia valun yhteydessä. Asennuksen jälkeen laattojen päältä on mahdollista aloittaa seuraavat työvaiheet.

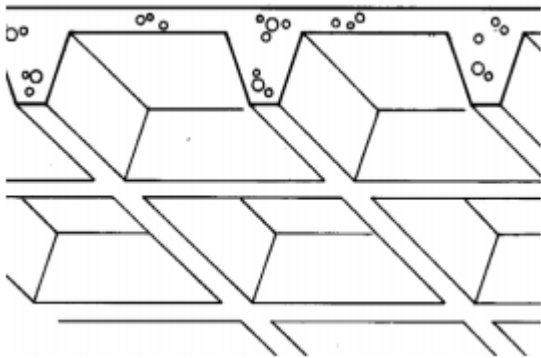
Ontelolaattojen ontelorakenteen huonona puolena on, että onteloihin on mahdollista kertyä vettä rakennusvaiheessa. Ontelolaatan onteloiden molempiin päihin porataan tehtaalla halkaisijaltaan 10 – 12 mm vesireiät. Nämä reiät saattavat kuitenkin tukkeutua, joten työmaalla ne on tarkastettava ja porattava tarvittaessa auki. (Betsset, n.d. -a)

Saumarakenteen takia ontelolaatoilla ei ole samanlaista jäykistävää rakennetta kuin paikallavalulaatoilla. Lisäksi ontelolaatat tarvitsevat yleensä yläpuolelle lisärakenteen. Tämä rakenne voi sisältää esimerkiksi askelääniä eristävän steppieristeen ja sen päälle valetun pintalaatan.

Ripalaattoja on TT-laatta ja HTT-laatat. Ne soveltuvat teollisuuden ja varastorakennusten ylä- ja välipohjaratkaisuksi, koska ne mahdollistavat pitkät jännevälit. TT-laatalla jopa 25 metriä ja HTT-laatalla jopa 30 metriä. HTT-laattojen korkeutta ja leveyttä on mahdollista säätää kohteen mukaisesti ja MaxTT-laatalla on mahdollista kattaa kerralla entistä suurempia alueita. (Betsset, n.d. -a)

Arinalaatta valetaan kupumuottien päälle, joten sen laattaa keventävä rakenne on laatan alapinnassa. Tämän vuoksi arinalaatta ei sovellu asuinkerrostalorakentamiseen välipohjien osalta.

Kuva 4. Arinalaatan rakenne (Väisänen, 2005, s. 66)



Massiivilaattoja käytetään parveke-, lepotaso- ja kerrostasolaattoina. Ne voidaan muotittaa ja valaa asiakkaan haluamaan muotoon, kuten kaareviin, kiilamaisiin tai kulmikkaisiin muotoihin. Jännitettyinä parvekelaattaan saadaan pitkät jännevälit, tällöin ylimääräiset seinät ja pilarit voidaan jättää pois. (Betsset, n.d. -a)

2.5.3 Talotekniikan sisältävä laattaelementti

Betonelementtirakenteiden suurimpia hyötyjä on sen tuoma ajan säästö työmaalla. Monet työvaiheet voidaan tehdä jo elementtitehtailla valmiiksi paikallavalurakenteisiin verrattuna. Esimerkiksi Parma Oy ja Lujabetoni Oy ovat kehittäneet välipohjarakentamisen vielä tehokkaammaksi sisällyttämällä LVI- rakenteet jo valmiiksi laattaelementtiin. Laattaelementti voi sisältää mm.

- lattialämmityskaapelit tai -putket
- lattia- ja kuivakaivot

- jätevesiviemärit
- lattia- ja kuivakaivot
- vesi- ja lämpöjohtojen asennusputket
- sähköputket ja -asiat

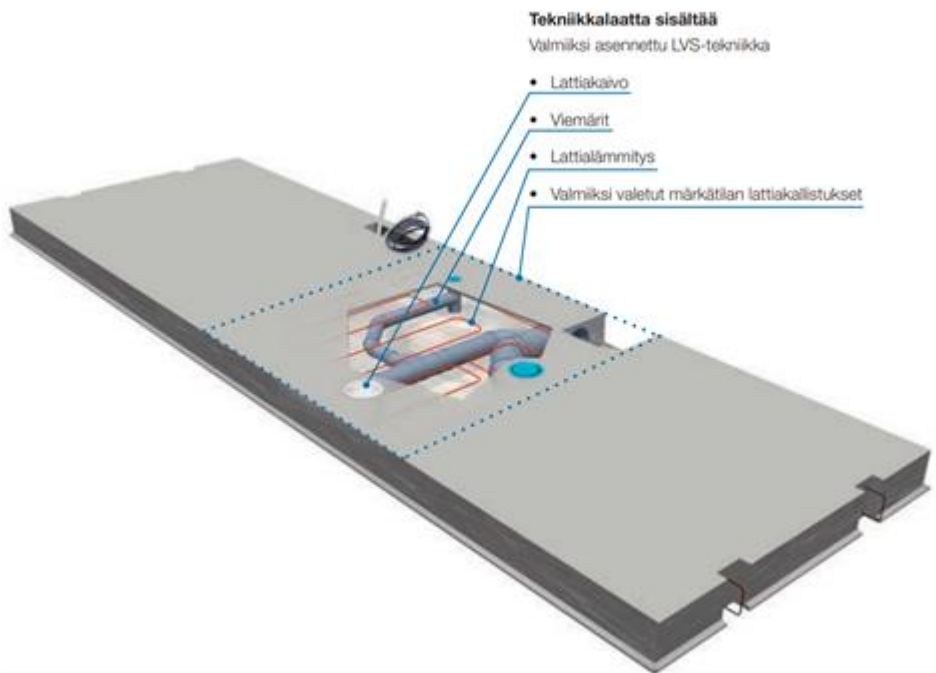
Luja-Superlaatta (kuva 5) on Lujabetoni Oy:n kehittämä esijännitetty teräsbetonilaatta, joka on kevennetty sisäisellä kevytsorabetonirakenteella. Luja-Superlaatta on 270 mm paksu ja perusleveydeltään 3000 mm leveä ala- ja välipohjalaatta. Yläpohjalaattana käytettynä normaalipaksuus on 220 mm. Laatan alapinnanrakenteessa on valettuna ohut pohjamassa, sen päällä on kevytsorakevennykset ja yläpinnassa esijännitetty itse kantava betoni. Rakenteellisesti laatta toimii samoin kuin esijännitetty ripalaatta ja märkätilojen kohdalta kuin esijännitetty massiivilaatta. (Lujabetoni, n.d.)

Kuva 5. Luja-Superlaatta (Lujabetoni, n.d.)



Parma Oy:n kehittämän tekniikkalaatan ja ontelolaatta P27R:n yhdistelmä on välipohjarakenne, jolla saadaan yhdistettyä talotekniikka valmiiseen laattaelementtiin jo tehtaalla. Tekniikkalaatta on kantava ja normaalimitoitukseltaan 270 mm korkea ja 2400 mm leveä. Laattaa voidaan valmistaa tarvittaessa kapeampana tai leveämpänä vakioleveyden 3M-kerrannaisella. Parman tekniikkaseinällä ja -laattalla on VTT:n tuotesertifikaatti, lisäksi se on patentoitu. (Parma, n.d.)

Kuva 6. Parma tekniikkalaatta (Parma, n.d.)



3 Kevennystekniikoiden hyödyt

Niin kuin kaikkea muutakin rakentamista, betonirakentamista tulee kehittää taloudellisesti ja ympäristöllisesti parempaan suuntaan. Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali ja sitä valmistetaan noin 10 miljardia kuutiometriä vuosittain. Suomessa valmistusmäärät ovat joka vuosi noin 1 kuutiometriä jokaista henkeä kohden. Valtavien valmistusmäärien vuoksi betonirakentaminen tuottaa noin 2,5 % kasvihuonepäästöistä Suomessa. Ilmastopäästöjä on jo kuitenkin onnistuttu leikkaamaan lähes 25 % vuoteen 1990 verrattuna. (Salminen, 2021, s. 86)

Tässä luvussa käydään läpi kevennystekniikoiden ympäristöllisiä, taloudellisia ja ajallisia hyötyjä sekä teorian että kokemuksen pohjalta ottaen huomioon tällä hetkellä Suomessa käytössä olevien välipohjarakenteiden käytänteet.

3.1 Ympäristölliset hyödyt

Betoniteollisuudessa betonin sideaineen ympäristövaikutus on kaikkein suurin. Yli puolet kasvihuonepäästöistä johtuu betonin sideaineista koko betonituotteen elinkaaren aikana. Valmisbetonilla sideaineiden osuus kasvihuonepäästöistä on 70 %. Sideaineista merkittävin on

sementti. Ympäristövaikutuksia arvioitaessa on otettava huomioon myös raaka-aineiden ja valmiiden tuotteiden kuljetukset (myös tyhjtä paluukuormat), sekä tuotteiden valmistukseen ja asennukseen kuluva energia. Betonirakenteiden elinkaaren lopussa rakenteiden purkaminen tuottaa myös päästöjä ja kuluttaa energiaa. (Salminen, 2021, ss. 86-89)

Suomen hallituksen tavoitteena on Suomen hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä. Vahanen Enviroment Oy:n kehittämää elinkaariarviointimenetelmää hyödynnetään betonirakentamisen ympäristöystävällisyyden kehittämisessä. Vahanen Enviroment Oy:n elinkaarimenetelmä perustuu EN.15804 + A1 & ISO 14040 & 14044 - standardeihin, sekä RTS:n (Rakennustietosäätö) menetelmäohjeeseen (1.6.2020). Bionova Oy on verifioinut laskelmat. Elinkaariarvioinnissa on jätetty pois itse rakentamisesta ja käytössä aiheutuneet ympäristövaikutukset (taulukko 1). Rakentamisesta ja käytön aikaisesta aiheutuneet päästöt lasketaan yleisesti rakennuksen hiilijalanjälkeen, koska ne perustuvat hankekohtaisiin tietoihin. (Salminen, 2021, ss. 88-89)

Taulukko 1. Elinkaaren vaiheet (Salminen, 2021, s. 88)



Vahanen Enviroment Oy:n laskelmista havaitaan, kuinka valtava osuus betonin raaka-ainetuotannolla on betonin valmistuksessa hiilijalanjälkeä vertaillen. Jos betonirakenteen prosentuaalinen osuus korvataan jollain ympäristöystävällisemmällä rakenteella tai aineella,

saadaan suurin ympäristöystävällisin vaikutus (taulukko 2). Tähän betonin korvaamiseen kevennystekniikat tähtäävät. Betoni korvataan niissä rakenteissa ja niiltä osin, missä se ei ole välttämätöntä rakenteen kestävyys- tai muiden ominaisuuksien kannalta.

Tietyt kevennysrakenteiden valmistajat käyttävät kierrätettyjä materiaaleja. Yhteistä kaikille on kuitenkin se, että betonin tilalla käytetään ilmaa. Ilma erotetaan betonivalusta käyttämällä muovista valmistettuja kuppeja tai palloja, joiden avulla betonirakenteeseen jää tyhjiä ilmaa sisältäviä kohtia tai alueita niissä rakenteissa, missä ne eivät vaikuta rakenteen kestävyys- tai muihin tarvittaviin ominaisuuksiin paikallavalurakenteissa. Kevytrakenteiden käyttö säästää betonin lisäksi myös kuljetuskustannuksissa.

Taulukko 2. Normaalisti kovettuvan betonin hiilijalanjälki (Salminen, 2021, s. 90)



3.2 Taloudelliset hyödyt

Kevennystekniikoiden taloudellinen hyöty riippuu siitä, kuinka paljon betonia ja raudoitetta on mahdollista säästää kulloisessakin rakenteessa. Betonin ja raudoitteen materiaalmäärät sekä niiden kuljettamisesta aiheutuneet kustannussäästöt on mahdollista laskea. Koska kevennystekniikoita ei ole vielä käytetty Suomessa, on niistä aiheutuvia kuluja vaikeampi arvioida. Arviot täytyy perustaa ulkomailta valmistajilta saatuihin tietoihin ja soveltaa saadut tiedot Suomen oloihin ja kustannuksiin.

Huomattavin taloudellinen hyöty kevennettyjä rakenteita käytettäessä on materiaalisäästö. BubbleDeck-järjestelmää käytettäessä parhaimmillaan kevennysrakenne voi syrjäyttää 35 % laatan betonitilavuudesta. Myös raudoitetta voidaan käyttää vähemmän, koska kevennysrakenne keventää laatan painoa huomattavasti, jopa 40 % kokonaismassasta. Raudoitesäästö voi olla 15 %. Materiaalikulujen väheneminen säästää myös kuljetuskustannuksia samassa suhteessa.

Paikallavalurakenteissa kevennysmateriaaleja käytettäessä tulee kustannuksiin huomioida lisäksi niiden asentamiseen käytettävän työn kustannus. Kevennystekniikasta riippuen kevennysmateriaalit asetetaan paikoilleen joko yksittäin tai elementteinä. BubbleDeck-järjestelmässä kevennyskuplat on sidottu jo valmiiksi teräskehikoiksi, joten ne asennetaan paikoilleen elementteinä nostattaen. Asennuksiin tarvittava aika ja koulutus vaikuttaa työkustannuksiin.

Normaalisti käytettävän kuorilaatan rakenne eroaa kevennysrakenteisesta kuorielementtilaatasta siten, että kevennetyssä elementissä on kevennysosat ja osa raudoituksesta asennettuna jo tehtaalla. Tämä saattaa vaikuttaa kuljetuskustannuksiin normaaliin kuorilaataan verrattuna. Käytettäessä kevennettyä kuorielementtiä, työmailla tehtäviä töitä on vähemmän. Samoin laatan valuun menevä aika on pienempi, koska betonimassaa kuluu vähemmän.

Massiivilaatan tapauksessa suurin hyöty kevennystekniikalla on se, että valmiiksi tehtaalla valetut umpilaatat ovat huomattavasti kevyempiä kuin normaalit täysbetonilaatat. Tämä säästää materiaalikustannuksia ja laatan kevyempi paino mahdollistaa suurempien laattojen tekemisen, kuljettamisen ja asentamisen työmaalla. Uusien kevennystekniikoiden tuominen tehtaiden valmistukseen saattaa aiheuttaa tuotantolinjojen modifiointitarvetta. Kevennystekniikasta riippuu, asennetaanko kevennysrakenteet käsin vai koneellisesti. Henkilökunnan koulutusta täytyy ehkä lisätä, mutta vastapainona tulee myös paljon etuja. Betonielementtiyrityksille tulee mahdollisuus markkinoida tuotteitaan enemmän ympäristönäkökulmasta. Uudet järjestelmät mahdollistavat myös uusien tuotteiden markkinoille tuomisen.

3.3 Ajalliset hyödyt

Ajallisen hyödyn arvioimisessa on otettava huomioon, millaista kevennystekniikkaa käytetään. Paikallavaluholviin asennetun kevennysjärjestelmän vaikutus holvin tekemiseen kuluvaan aikaan

on hankala arvioida ennen kuin ensimmäiset järjestelmät on asennettu Suomessa.

Holvimuottirakenne ja sen asentamiseen kuluva aika ei eroa normaalista paikallavaluholvin muottirakenteesta. Kevennysrakenteiden asennusnopeuteen vaikuttaa käytettävä järjestelmä. Tietyillä valmistajilla on käytössä käsin siirrettävät putkimaiset elementit, kun taas toisilla kevennysosat ovat täysin irrallisia. Käytettävästä kevennystekniikasta riippuu myös työmaalla tehtävän raudoittamisen määrä.

Kevennysjärjestelmällisen holvin valaminen eroaa normaalin holvin valamisesta. Normaalisti holvi valetaan kokonaan yhdellä kertaa. Kevennysjärjestelmää käytettäessä on hyvin tärkeää välttää kevennyskuppeihin tai -paloihin kohdistuvaa nostetta valun aikana. Tämä vältetään valamalla holvi kahdessa osassa. Ensimmäisen valukerran tehtävä on kiinnittää keventävä rakenne toisiinsa ja alempaan raudoitteeseen. Sopivan ajan kuluttua valetaan loput holvirakenteesta. Kahdessa osassa tehtävä valu lisää valamiseen käytettävää aikaa. Pumppu seisoo pidempään työmaalla ja valuporukka odottaa, kunnes ensimmäisellä valukerralla valettu betoni saavuttaa tarvittavan jäykkyyden. Liian märkä betoni ei estä valunosteen vaikutusta kevennysjärjestelmiin. Liikaa kuivunut betoni aiheuttaa valusauman ensimmäisellä ja toisella valukerralla valetun betonin väliin.

Kuorilaattaelementtiä käytettäessä ajallista säästöä tulee valmiimmasta rakenteesta.

Kuorielementtejä käytettäessä on kevennysrakenteet ja osa raudoitteesta jo asennettuna elementtiin työmaalle toimitettaessa. Kuorielementti toimii holvivalun pääasiallisena muottina. Ainoastaan elementtien saumoihin on asennettava vastaava muotti kuin esimerkiksi normaaleja kuorilaattoja tai ontelolaattoja käytettäessä.

Ajan säästöä ajateltaessa umpinaisen kevennetyn elementin asennus ei eroa normaalisti käytettävien massiivilaattojen asennuksesta. Asennustekniikka on molemmissa sama.

Massiivilaattaa kevyempänä kevennetyn laatan elementtituet on mahdollista poistaa aikaisemmin kuin massiivilaattaa käytettäessä. Rakennusvaiheen ajansäästöä tulee merkittävämpi, kun suunnitellaan kevennetty massiivilaatta sisältämään esimerkiksi talotekniikan. Laatan kuivumisaikaa saadaan lisäksi lyhennettyä valitsemalla betonilaaduksi nopeasti kuivuvan betonin.

4 Materiaalit ja niiden kierrätys

BubbleDeck-kuplat valmistetaan joko kierrätetystä polyeteenistä tai kierrätetystä polypropeenista. Kuplien tehtävä on korvata betonia niissä rakenteen osissa, missä se on mahdollista, niin että rakenteen rakennetekniset ominaisuudet säilyvät riittävällä tasolla. Betonirakentaminen on merkittävä ympäristöön haitallisesti vaikuttava tekijä ja luontoon pääsevät mikromuovit ovat suuri riski maailman eliöstölle. Rakentamista ei lopeteta, eikä muovien käytölle ole korvaajaa. Tavoitteena on kuitenkin suunta ekologisempaan rakentamiseen ja jo maailmassa olevien muovien hyötykäyttöön.

4.1 Betoni ja betonin kierrätys

Betonin pääraaka-aineet ovat vesi, kiviaines ja sementti. Yhä suurempi osuus kiviaineksesta on murskattua kalliota, jolloin säästetään harjukiviaineksia. Sementin pääraaka-aine on kalkkikivi, joka on maapallon yleisimpiä kivilajeja. Suurin osa betonin päästöistä syntyy nimenomaan sementin valmistuksesta ja kuljetuksesta. Yksi sementtitonni vaatii noin 4500 – 5000 MJ energiaa ja tuottaa noin 600 – 700 kg hiilidioksidipäästöjä. (Betoni, n.d. -a)

Betonin valmistuksessa syntyviä hiilidioksidipäästöjä kompensoi betonissa tapahtuva karbonatisoituminen. Noin puolet sementin valmistuksen aikana kalkkikivestä ilmakehään irronneesta hiilidioksidista sitoutuu betonin kierrätysvaiheen ja käytön aikana takaisin betonirakenteeseen. Tämä hiilidioksidin sitoutuminen tapahtuu pitkällä aikavälillä tarkasteltuna. (Betoni, n.d. -a)

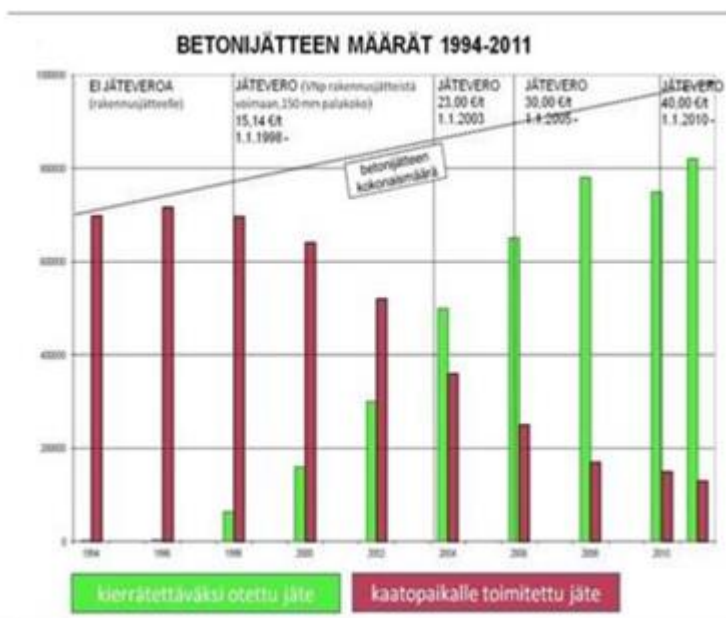
Betonin valmistuksessa käytetään merkittäviä määriä teollisuuden ylijäämätuotteita. Näitä kierrätettyjä raaka-aineita on mm. terästeollisuudessa syntyvä masuunikuona ja lämpövoimaloiden lentotuhka, yli 300 tuhatta tonnia vuosittain. Sementtiuunien tarvitsemasta energiasta noin puolet tuotetaan bio- ja kierrätyspolttoaineista. Myös uunien ylijäämälämpöä jaetaan kaukolämpöverkkojen kautta yli 2000 omakotitalon lämmittämiseen. (Betoni, n.d. -b)

Työmaiden ja betonin valmistuksessa syntyvää ylijäämäbetonia voidaan uusiokäyttää uuden betonin valmistuksessa. Ylijäämäbetonista voidaan pesemällä erottaa kiviaines uusiokäyttöön ja pesussa syntyvä betoniliete voi korvata osaa betoninvalmistuksessa tarvittavaa vettä tai sitä

voidaan käyttää muuten esimerkiksi betonisäiliöiden pesussa. Betonilietettä voidaan käyttää myös peltojen happamuuden vähentämiseen ja parantamaan savimaiden rakennetta. (Betoni, n.d. -b)

Ylijäämäbetoni voidaan kovettuneena murskata ja käyttää osana uuden betonin kiviaineksena tai korvata kantavaa maa-ainesta maarakenteissa. Samoin kuin elinkaarensa päässä olevat murskatut betonirakenteet. Murskauksen jälkeen vanhojen teräsbetonirakenteiden teräkset erotellaan uudelleen sulatettavaksi. Kierrätetyn harjateräksen valmistuksessa aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat alle puolet uuden harjateräksen valmistuksesta syntyvistä hiilidioksidipäästöistä. Nykyään betonin kierrätysaste on jo yli 80 % ja se kasvaa edelleen. (Betoni, n.d. -b)

Taulukko 3. Betonijätteen kierrätys 1994-2011 (Betoni, n.d. -b)



4.2 Muovit ja muovien kierrätys

Muovi on suurikokoisen polymeerin (yleisin raaka-aine öljy) ja erilaisten lisäaineiden seos, jota muokataan valmistusvaiheessa paineen ja lämmön avulla. Vuonna 2015 maailmassa valmistettiin 300 miljoonaa tonnia muovia ja vuosittain muovin tuottamisesta ja polttamisesta syntyy noin 400 miljoonaa tonnia hiilidioksidipäästöjä. (Suomen Uusiomuovi, n.d.)

Polyeteeni on maailman käytetyin muovi, joka luokitellaan painojakaumansa mukaan joko LDPE (Low Density Polyethylene) tai HDPE (High Density Polyethylene). LDPE:tä käytetään mm. muovipusseissa ja ohuissa kalvoissa, HDPE:tä käytetään mm. putkissa, liukumuoveissa ja eristeissä.

Polyeteenin käyttölämpötila on $-40\text{ °C} - 80\text{ °C}$. Muita polyeteenin ominaisuuksia on mm. paloluokka B2 (DIN 4102), lämmönlaajenemiskerroin $0,2\text{ mm/m}^{\circ\text{C}}$ (DIN 53762) ja lämmönjohtavuus $0,37\text{ W/m}^{\circ\text{K}}$ (DIN 52162). (Vink Finland, n.d. -a)

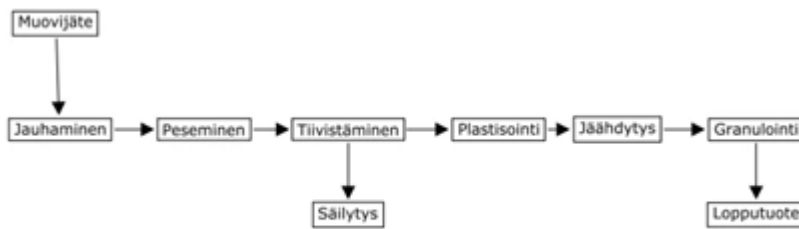
Polypropeeni on maailman kolmen eniten käytettyjen muovien joukossa PVC:n ja Polyeteenin kanssa. Polypropeenia käytetään mm. putkistoissa, venttiileissä, pumpuissa, koteloissa ja sähkötarvikkeissa. Polypropeenin hyvinä puolina on sen hyvä kestävyys erilaisille liuottimille, hapoille ja emäksille, mutta sillä on heikko kylmäkestävyys. Polypropeeni ei kestä alle -10 °C :ssa mekaanista rasitusta. Polypropeenin käyttölämpötila on $-10\text{ °C} - 100\text{ °C}$. Muita polypropeenin ominaisuuksia on mm. paloluokka B2 (DIN 4102), lämmönlaajenemiskerroin $0,1\text{ mm/m}^{\circ\text{C}}$ (DIN 53762) ja lämmönjohtavuus $0,22\text{ W/m}^{\circ\text{K}}$ (DIN 52162). (Vink Finland, n.d. -b)

Suomessa muovipakkausten kierrätysaste oli noin 30 % vuonna 2018. EU- direktiivin mukaan muovipakkausten kansallisen kierrätyksen tulee olla 50 % vuonna 2025 ja 55 % vuonna 2030. (Suomen Uusiomuovi, n.d.)

Muoveja voidaan kierrättää kolmella tapaa: polttamalla energiaksi, kierrättämällä kemiallisesti ja kierrättämällä mekaanisesti. Muovit valmistetaan yleensä öljypohjaisista raaka-aineista, joten ne sisältävät normaalisti enemmän energiaa kuin sama määrä esimerkiksi puuta tai kivihiiltä. Polttamalla muovista saadaan energiaa tai lämpöä esimerkiksi sähköntuotantoon tai kaukolämmitykseen. (Muovien kierrätys, n.d. -a)

Kemiallisessa kierrätyksessä pilkotaan polymeerien ketjut pienemmiksi. Näitä pienempiä molekyyliä voidaan käyttää mm. uusien öljytuotteiden valmistuksessa. Mekaaninen kierrätys on tehokkainta, kun eri muovijätteet (esim. PP, PE ja PVC) on eroteltu jo etukäteen esimerkiksi työmaalla. Jos taas eri muovilaadut sekoittuvat toisiinsa, niin lopputuotteen laatu saattaa laskea ja ominaisuudet heiketä. (Muovien kierrätys, n.d. -b, -c)

Taulukko 4. Mekaanisen kierrätyksen prosessi (muovien kierrätys, n.d. -c)



Mekaanisen kierrätyksen perusaskleet. Muokattu artikkelista Aznar et al., Plastic Waste elimination b co-gasification with coal and biomass in fluidized bed with air pilot plant. Fuel Process Technol. 2006; 87 (5): 409-420

5 Yleiset rakentamismääräykset

Jotta uusia ratkaisuja voidaan ottaa käyttöön betonirakentamisessa, on selvitettävä, onko niillä vaikutusta esimerkiksi rakentamismääräyksiin. Betonirakennetta ei voi korvata ilmapölyllä ilman, että sitä otettaisiin huomioon rakenteiden suunnittelussa. Varsinkaan kun holvirakenteet ovat osa kantavaa ja jäykistävää rakennetta.

Ympäristöministeriön rakentamismääräykset antavat tarkat määritykset, miten rakennetaan turvallisesti niin, että rakennus on turvallinen ja toimiva myös loppukäyttäjille. Kun rakentamiseen otetaan mukaan uusia innovaatioita, niiden on täytettävä tarvittavat vaatimukset. Näitä vaatimuksia on esimerkiksi paloluokka, askeläänitasoluku, ilmaääneneristysluku, kuormitusluokka ja suunnittelijoiden vaatimukset.

5.1 Suunnittelu

Ympäristöministeriö on antanut ohjeet suunnittelutehtävien vaativuusluokista. Vaativuusluokat on jaettu vähäiseen suunnittelutehtävään, tavanomaiseen suunnittelutehtävään, vaativaan suunnittelutehtävään sekä poikkeuksellisen vaativaan suunnittelutehtävään. Suunnittelutehtävien vaatimusluokkien ohje liittyy maankäyttö- ja rakennuslain pykälään 120 d. Kerrostalorakentaminen kuuluu käytännössä aina vähintään vaativaan rakennussuunnittelutehtävä-luokkaan. Samoin se kuuluu yleensä vaativaan kantavien rakenteiden suunnittelutehtävä-luokkaan. Näissä luokissa rakennuksessa on enemmän kuin kaksi kerrosta ja yli 300 m²:n pinta-ala. (Ympäristöministeriö, 2015)

5.2 Kuormitusluokka

Ympäristöministeriön suosittelemat rakenteiden lujuutta ja vakautta koskevat suositukset on kerätty Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. Asunto- ja majoitustilat kuuluvat luokkaan A. Rakennusten välipohjien, parvekkeiden ja portaiden pistekuorman Q_k mitoituksessa käytetään kuormitusalanana $100 \times 100 \text{ mm}^2$. Mikäli pistekuorma Q_k on alle $2,0 \text{ kN}$, kuormitusalanana käytetään $50 \times 50 \text{ mm}^2$. (Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2019, s. 5)

Rakennusten osien hyötykuormien (q_k) minimiarvot luokassa A:

- välipohjat: $2,0 \text{ kN/m}^2$
- portaat: $2,0 \text{ kN/m}^2$
- parvekkeet: $2,5 \text{ kN/m}^2$

Rakennusten osien pistekuormien (Q_k) minimiarvot luokassa A:

- välipohjat: $2,0 \text{ kN}$
- parvekkeet: $2,0 \text{ kN}$
- portaat: $2,0 \text{ kN}$
- asunnon sisäiset portaat: $1,5 \text{ kN}$

Eurokoodien SFS-EN 1991 kansallisia liitteitä ovat mm. standardi -SFS-EN 1991-1-1: Rakenteiden kuormat.

5.3 Palonkestävyys

Kantavien rakenteiden rakennusosan vaatimus merkitään kirjaimella R. Esimerkiksi R60 tarkoittaa kantavuusvaatimusta ja lukuarvo palonkestävyysaikaa minuuteissa standardi palotilanteessa. Kirjaimet EI merkitsevät rakenteen osastoivuutta. E tarkoittaa tiiveyttä ja I eristävyyttä. Teräsrakenteiden palonsuojauksessa käytetään betonia sen suuren lämpökapasiteetin takia. Teräsbetonilaatoissa betoni ja teräs muodostavat liittorakenteen samansuuruisten lämpölaajenemiskerrointen takia. Kantavissa rakenteissa betonipeite suojaa teräksiä liian suurelta lämpötilannousulta. (Rosvall, 2015, s. 17)

Taulukossa 5 on esitetty eri palonkestävyysvaatimuksiin liittyvät laatan ja betonipeitteen minimipaksuudet. Keskiötäisyys määräytyy rakenteen betonipeitteen ja pintaa lähinnä olevan raudoituksen mukaan.

Taulukko 5. Vapaasti tuettujen, yhteen suuntaan kantavien ja ristiin kantavien teräsbetoni- ja jännebetonilaattojen vähimmäismitat ja keskiötäisyyksien vähimmäisarvot (Rosvall, 2015, s. 40)

Standardipalonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Laatan paksuus h_x (mm)	Keskiötäisyys a		
		Yhteen suuntaan kantava	Ristiin kantava	
			$l_y / l_k \leq 1,5$	$1,5 < l_y / l_k \leq 2$
1	2	3	4	5
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

l_y ja l_k ovat ristiin kantavan laatan jännemitat (kaksi toisiaan vastaan kohtisuoraa suuntaa) missä l_y on pitempi jännemitta.

Sarakkeiden 4 ja 5 mukainen keskiötäisyys a ristiin kantavissa laatoissa koskee kaikilta neljältä reunalta tuettuja laattoja. Muita laattoja käsitellään yhteen suuntaan kantavina laattoina.

* Tavallisesti standardin SFS-EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeitteen paksuus on määräävä.

Jännebetonipalkeissa otetaan huomioon keskiötäisyydensuurentaminen standardin SFS-EN 1992-1-2 + AC kohdan 5.2(5) mukaisesti.

5.4 Ääniympäristö

Ympäristöministeriö on antanut ohjeen rakennuksen ääniympäristöstä. Ympäristöministeriön asetus 796/2017 antaa eri rakenteiden ja rakennusosien ääniolosuhteiden vähimmäisvaatimukset. Äänenvoimakkuutta kuvataan suhdeluvulla desibeli (dB). Logaritminen desibeliasteikko yhdistää kuulon vasteeseen äänenpaineen suhteelliset muutokset. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 5)

Taulukko 6. Vaatimukset uuden rakennuksen ääneneristykselle (Ympäristöministeriö, 2018, s. 20)

Huonetila	Pienin sallittu äänitaso- eroluku $D_{nT,w}$ (dB)	Suurin sallittu askelääni-taso- luku $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ (dB)
Asuntojen, majoitus- tai potilashuoneiden välillä	55	53
Uloskäytävästä asuin-, majoitus- tai potilashuoneeseen	39	63

Maankäyttö ja rakennuslaki 117 f § 3 momentin nojalla asetus 796/2017

5.4.1 Askelääneneristys

Askeläänitasoluku $L'_{nT,w}$ (dB) on standardoitu mittaluku, joka kuvaa ilmaääneneristystä huonetilojen välillä. Se kuvaa äänen voimakkuutta, joka on tuotettu askeläänikojeella toisessa tilassa. Sen jälkikaiunta-aika on 0,5 sekuntia ja se lasketaan taajuusalueella 100 – 3150 Hz mitatuista askeläänitasoista. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 19)

$C_{1,50-2500}$ (dB) on askelääneneristävyden mitattavaa taajuusaluetta (kaistoille 50, 63 ja 80 Hz) laajentava spektripainotusermi. Se ottaa huomioon myös koko taajuusalueella esiintyvät yksittäisillä taajuuskaistoilla esiintyvät suuret poikkeamat vertailukäyrästä. Se otetaan huomioon vain, kun sen arvo on suurempi kuin nolla. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 19)

Mitä pienempi askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ tai askeläänitaso L'_{nT} on, sitä parempi on askelääneneristävyys. On huomioitava, että ääni voi siirtyä myös sivutiesiirtymänä kaikkien tiloja yhdistävien rakenteiden kautta. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 19)

5.4.2 Ilmaääneneristysluku

Äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ (dB) on standardoitu mittaluku, joka kuvaa ilmaääneneristystä huonetilojen välillä. Se on mittasuure, joka on mitattu ja mallinnettu äänitasoeroista D_{nT} taajuuskaistoittain taajuusalueella 100 – 3150 Hz. Eristysluku on standardoitu 0,5 sekunnin jälkikaiunta-aikaan. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 8)

Vaatimus ilmaääneneristykselle määritellään vastaanotto- ja lähetystilojen äänenpainetasojen erona tilojen välillä (tai äänitehon siirtymisenä tilasta toiseen). Eli ilmaääneneristymisen

vaatimukset perustuvat tiloissa mitattujen äänenpainetasojen erotukseen. Mitä suurempi äänitasoero D_{nT} tai äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ on, sitä parempi ääneneristävyys. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 19)

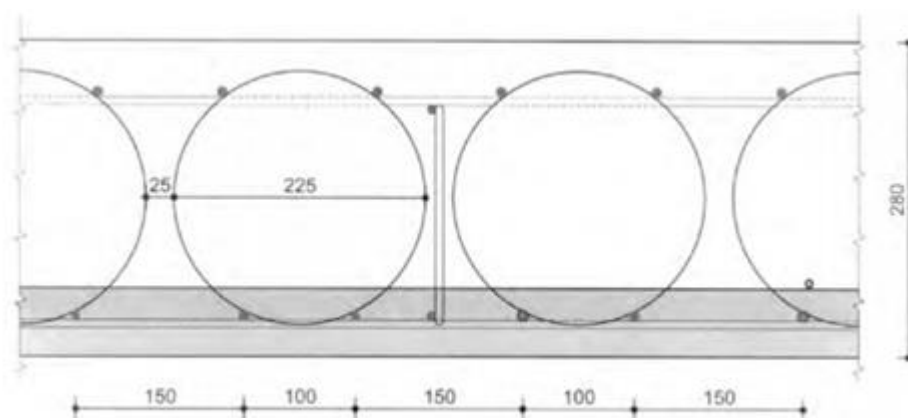
6 BubbleDeck-järjestelmä

BubbleDeck-järjestelmän kehitti tanskalainen professori Jorgen Breunin vuonna 1996. Järjestelmä on käytössä yli 40 eri maassa, eniten Australiassa ja Hollannissa. Järjestelmässä käytetään polyeteenistä tai polypropeenista käytettäviä pallomaisia kuplia. Kuplat ovat kierrätettyjä ja ilmatäytteisiä. BubbleDeck-järjestelmässä laatan rakenteen voi tehdä paikallavaluna, valmiista umpinaisesta elementistä tai kuorilaattamaisesta elementistä. (Leikas, 2013, s. 10)

6.1 Rakenne

BubbleDeck-järjestelmien rakenne koostuu betonista, rauditteesta ja kevennyskuplista. BubbleDeck-raudoite koostuu ylä- ja alapinnan rauditteista, joiden väliin kevennyskuplat sidotaan verkkojen väliin ansamaisilla siderauditteilla. Siderauditteet toimivat laatan leikkausteräksinä. BubbleDeck-järjestelmä tarjoaa seitsemän eri kuplakokoa ja niillä voidaan tehdä 230-600 mm paksuisia laattoja. BubbleDeck-kuplien kevennysvaikutus riippuu kuplien koosta ja betonin peitepaksuudesta: mitä suurempi kupla ja mitä pienempi betonin peitepaksuus, sitä parempi on kevennysprosentti. Kevennysvaikutus voi olla 25 – 35%, riippuen laatan paksuudesta. (Leikas, 2013, s. 10)

Kuva 7. BubbleDeck-laatan poikkileikkaus (BubbleDeck floors, 2001, s. 3)



6.2 Mitoitus

BubbleDeck-järjestelmää ja sen ominaisuuksia verrattuna vastaavaan umpinaiseen laattaan on tutkittu suhteellisen paljon. BubbleDeck on julkaissut mitoitusoppaita sekä eri maiden yliopistoissa ja korkeakouluissa tehtyjä mittausraportteja. Raporttien ja kokeiden pohjalta on määritelty rakenteiden mitoituksien pienennyskertoimia vastaavan paksuisiin umpilaattoihin verrattuna.

6.2.1 Jänneväli

BubbleDeck on julkaissut vuonna 2006 jänneväli-oppaan. Opas on nimeltään Technical Paper 2006 ja sen mukaan yksiaukkoisilla rakenteilla on mahdollista saavuttaa jopa 15 m pitkät jänneväli ja jatkuvilla laatoilla jopa 21 metriä pitkät jänneväli. Tämä tosin vaatii 600 mm paksuiset laatat. Taulukossa 7 esitettyjen arvojen laskennassa on käytetty 20 mm raudoitteiden betonin peitepaksuutta, 60 minuutin (P60) palonkestoa ja 3+1 kN/m² hyötykuormaa. (Technical Paper, 2006, s. 2)

Taulukko 7. BubbleDeck-laatan jänneväli (Technical Paper, 2006, s. 1)

Version	Slab Thickness	Bubbles	Span (Multiple bays)	Cantilever Maximum Length	Span (Single bays)	Completed Slab Mass	Site Concrete Quantity
	mm	mm	metres	metres	metres	kN/m ²	m ³ /m ²
BD230	230	Ø 180	5 – 8.3	≤ 2.8	5 – 6.5	4.34	0.109
BD280	280	Ø 225	7 – 10.1	≤ 3.3	6 – 7.8	5.17	0.142
BD340	340	Ø 270	9 – 12.5	≤ 4.0	7 – 9.5	6.25	0.186
BD390	390	Ø 315	11 – 14.4	≤ 4.7	9 – 10.9	6.93	0.213
BD450	450	Ø 360	13 – 16.4	≤ 5.4	10 – 12.5	7.94	0.245
BD510 *	510	Ø 410	15 – 18.8	≤ 6.1	11 – 13.9	9.06	0.291
BD600 *	600	Ø 500	16 – 21.0	≤ 7.2	12 – 15.0	10.22	0.338

* New 2006 BubbleDeck slab configurations: Agrément certification pending, outside scope of KOMO technical certificate.

6.2.2 Taivutusjäykkyys ja taipuma

Hollantilaiset Eindhoven University of Technology ja Technical University of Delft sekä Saksalainen Technical University of Darmstadt testasivat BubbleDeck-laatan ja umpinaisen betonilaatan taivutusjäykkyyttä toisiinsa. Teknilliset yliopistot tekivät kokeet 230 mm ja 450 mm paksuisille laatoille ja tuloksia verrattiin saman paksuisten umpilaattojen arvoihin lyhyt- ja pitkäaikaiskuormitustapauksissa. Teoreettiset tulokset varmistettiin kokeellisesti ja tuloksilla oli hyvin pieni ero, joka selittyi pienellä betonin paksuuden erolla. Tulosten mukaan BubbleDeck-

laatan betonitilavuus on 66 % saman paksuisen umpilaatan tilavuudesta ja 87 % saman paksuisen umpilaatan taivutusjäykkydestä. (Tests and Reports Summary, 2006, s. 3)

Taulukko 8. BubbleDeck taivutusjäykkyys (Tests and Reports Summary, 2006, s. 3)

<i>In % of a solid deck</i>	BubbleDeck vs. solid deck		
	Same strength	Same bending stiffness	Same concrete volume
Strength	100	105	150 *
Bending stiffness	87	100	300
Volume of concrete	66	69	100

* On the condition of the same amount of steel. The concrete it self has 220 % greater effect.

6.2.3 Leikkaus

Hollantilaisen Eindhoven University of Technology:n professori Kleinmann vertasi kahta eri BubbleDeck-rakennetta umpilaattaan. Laattojen paksuus oli 340 mm, joista toinen oli raudoitettu hitsatuilla raudoitteilla ja toinen irtonaisilla raudoitteilla. Tutkimus tehtiin kahdella eri kuormitustavalla. Kuormitustavoissa etäisyys tuelta kuormituspisteeseen mitattiin suhteessa a/d , eli suhteessa laatan paksuuteen. Testien perusteella leikkauskestävyys irtonaisilla raudoitteilla oli 77 % ($a/d = 2,15$) saman paksuisen umpinaisen laatan leikkauskestävyydestä. Hitsatuilla raudoitteilla vastaava testi antoi tulokseksi 91 % ($a/d = 2,15$) ja 78 % ($a/d = 3,0$). Pidemmällä kovettumisajalla leikkauskapasiteetti nousi 81 % ($a/d = 3,0$) umpinaiseen laattaan verrattuna. (Tests and Reports Summary, 2006, ss. 3-4)

Taulukko 9. Leikkauskapasiteetti (Tests and Reports Summary, 2006, s. 4)

Shear capacity (in % of solid deck)	$a/d = 2.15$	$a/d = 3.0$
Solid deck	100	100
BubbleDeck, secured girders	91	78 (81) [†]
BubbleDeck, loose girders	77	

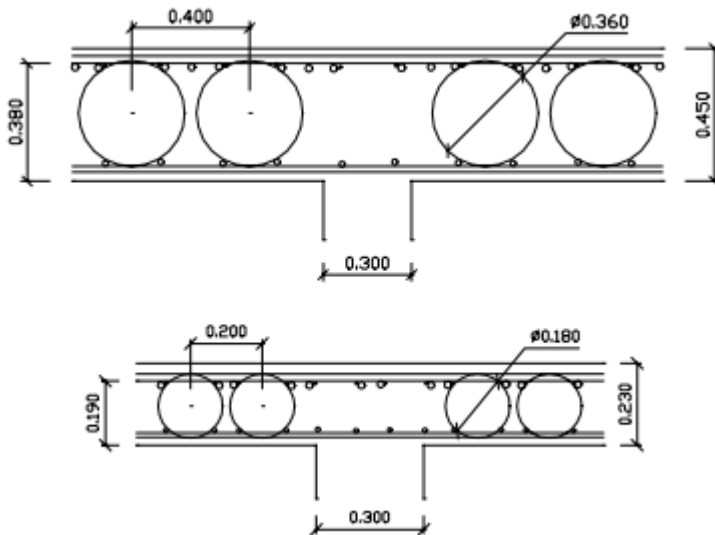
[†] Corrected for test-elements with longer time for hardening

6.2.4 Lävistys

Saksalainen Darmstadt University of Technology julkaisi vuonna 2002 tutkimuksen "Punching behavior of biaxial hollow slabs" BubbleDeck-laatan lävistymisestä, kun kuplat olivat lähellä pilaria. Tutkimuksessa käytettiin saksalaista DIN 1045-normia vertaamaan massiivilaattaa saatuihin

mittaustuloksiin. Kokeissa käytettiin 240 mm ja 450 mm paksuisia laattoja. Pilarin halkaisija oli 300 mm. Laattojen betonin lujuusluokat olivat B25 ja B35 (kuva 8). (Schnellenbach-Held & Pfeffer, 2002, ss. 551-552)

Kuva 8. Testissä käytetyn rakenteen leikkauskuva (Schnellenbach-Held & Pfeffer, 2002, s. 552)



Tutkimuksessa todetaan, että kuormitetun BubbleDeck-laatan murtumistapa oli saman kaltainen, kuin massiivilaatan murtuminen (kuva 9). Taulukon 10 mukaan BubbleDeck-laatan murtumiseen vaadittava voima oli noin 34 – 42 % pienempi, kuin laskennallisesti massiivilaatan murtumiseen vaadittava voima. BubbleDeck-laatta voidaan mitoittaa massiivilaatan mitoituksen mukaisesti leikkauskestävyyttä silmällä pitäen, kunhan kuplia ei sijoiteta pilarien tai muiden kantavien rakenteiden kohdalle. (Schnellenbach-Held & Pfeffer, 2002, s. 553)

Kuva 9. Kevennyskuplien kohdalta murtunut rakenne (Schnellenbach-Held & Pfeffer, 2002, s. 555)



Taulukko 10. Testitulokset eri laatan paksuuksille (Schnellenbach-Held & Pfeffer, 2002, s. 553)

Ultimate load BubbleDeck (test) (kN)	Ultimate load massive slab (calculated ^a) (kN)
520	840
580	945
525	893
935	1503
990	1701
1180	1795

6.2.5 Palonkesto

Saksalainen ”Materialforschungs- und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig e.V.” on antanut Saksan testisertifikaatin nro. P-SAC 02/IV-065 koskien palonkestoä DIN 4102-2. (ISO 834-1 mukaisesti) Taulukossa on minimi suojabetonin paksuus suojaamaan alempaa raudoitetta tietyllä vaaditulla palonkestävyyden ajalla sekä teräsjännitykset lasketun kuorman alla. (Technical Paper, 2006, s. 2)

Taulukko 11. BubbleDeck-laatan suojabetonin paksuus eri palonkestoajoilla (Technical Paper, 2006, s. 2)

Version	Approximate Total Cover & Effective Depth Data						
	Slab Thickness	BubbleDeck Slabs Total Concrete Cover (c')			BubbleDeck Slabs Effective Depth (d)		
		1 Hour FR	1.5 Hour FR	2 Hour FR	1 Hour FR	1.5 Hour FR	2 Hour FR
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
BD230	230	34	39	44	196	191	186
BD280	280	34	39	44	246	241	236
BD340	340	36	41	46	304	299	294
BD390	390	44	49	54	346	341	336
BD450	450	49	54	59	401	396	391
BD510	520	49	54	59	461	456	451
BD600	600	49	54	59	551	546	541

Table based on nominal concrete cover of 20mm for 1 hour FR. 25mm for 1.5 hour FR

6.2.6 Askelääniluku

BubbleDeck-laattojen äänen kulkeutumiseen rakenteissa liittyviä testejä ja tutkimuksia on tehty Tanskassa, Hollannissa ja Englannissa. Testien mukaan akustisesti BubbleDeck-rakenne toimii paremmin kuin muut ontot tai umpinaiset lattiarakenteet. Tämä johtuu onttojen pallojen tuomasta kolmiulotteisesta rakenteesta, joka aiheuttaa porrastetun äänivirran rakenteen läpi. (Acoustic Test and Reports, 2006)

Jerseyssä tehtyjen mittausten tulokset on esitetty alla. Mittaukset on tehty kahdella eri kerralla, BubbleDeck-laatan paksuuden ollessa 280 mm. Mittaukset perustuvat seuraaviin standardeihin: ISO 140-4:1998, ISO 140-7:1998, ISO 717-1:1997 ja ISO 717-2:1997.

Keskimääräiset mittaustulokset elokuu 2005:

- Askeläänitasoluku (lattia): $L_{nTw} = 52$ dB
- Äänitasoeroluku (lattia): $D_{nTw} = 63$ dB
- Äänitasoeroluku (seinä): $D_{nTw} = 50$ dB

Keskimääräiset mittaustulokset marraskuu 2005:

- Askeläänitasoluku (lattia): $L_{nTw} = 44$ dB

- Äänitasoeroluku (lattia): $D_{nTw} = 61$ dB
- Äänitasoeroluku (seinä): $D_{nTw} = 60$ dB

6.3 Asentaminen

BubbleDeck-rakenteessa on raudoitemoduuli, joiden sisällä kevennyskuplat sijaitsevat. Lisäksi rakenteessa on kahdessa osassa valettu laatta. Elementtirakenteessa ensimmäinen valukerta tehdään jo tehtaalla ja rakenteen alapinnanraudoite valetaan laatan sisään. Tähän kuorilaattaan valetaan raudoitusmoduuli kevennyspalloineen kiinni ja toimitetaan työmaalle. Kevennyspalloja sitova sideraudoite toimii nostolenkkeinä työmaalla. BubbleDeck-järjestelmässä, kuten muitakin kevennysjärjestelmiä käytettäessä, täytyy ottaa huomioon talotekniikka-asennukset jo suunnitteluvaiheessa, koska viemäriputkien kohdille ei voida asentaa kevennyskuplia. (Leikas, 2013, s. 10)

Työmaalla elementtirakenteisena käytettynä BubbleDeck-kuorilaatat tuetaan samoin kuin normaalitkin kuorilaatat. Kuorilaatan päälle asennetaan talotekniikkajärjestelmät sekä loput raudoitteet, kuten loput raudoitepukit, päätyteräkset ja lopuksi yläpinnan raudoite. (Leikas, 2013, s. 10)

Paikallavalussa käytettynä BubbleDeck-raudoituskehikko toimitetaan työmaalle ja nostetaan sideraudoitteista muotin päällä olevien korokepukkien päälle. BubbleDeck-järjestelmän käyttö paikallavalurakenteessa eroaa kuorielementtirakenteisesta käytännössä siinä, että paikallavalurakenteessa ensimmäinen valukerta tehdään vasta työmaalla. Ensimmäisen valukerran tarkoitus on estää valun aiheuttama noste. (Leikas, 2013, s. 10-11)

Kuva 10. BubbleDeck-kuorilaatan nosto (BubbleDeck Construction, 2015)



7 BubbleDeck massiivilaatta -ratkaisu

Haastattelin opinnäytetyöhöni liittyen Betset Oy:n kehitysjohtaja Harri Bergholmia (6.4.2021) ja tiedustelin heidän mielipidettään ja näkemystään BubbleDeck-järjestelmän käyttöönotosta Suomessa.

7.1 Elementtitehdas Betset Oy

Betset Oy on suomalainen perheyritys, joka on perustettu vuonna 1950. Yritys oli alkujaan sementtivalimo ja sen ensimmäiset tuotteet olivat kaivonrenkaat. Tällä hetkellä Betset Oy:llä on yhdeksän tehdasta Suomessa ja se onkin Suomen toiseksi suurin elementtitoimittaja. Yrityksen vuoden 2019 liikevaihto oli noin 122 miljoonaa euroa ja se työllistää 632 henkilöä. (Betset, n.d. -b)

Betset Oy on kokonaisvaltainen betonia ja betonielementtejä asiakkailleen tarjoava yritys. Se tarjoaa asennus-, suunnittelu- ja valmisbetoniratkaisujen lisäksi yleisimmin käytettävät betonielementit. Runkoratkaisuista heiltä on mahdollista saada teräsbetonipilarit ja -palkit, seinistä julkisivuelementit ja väliseinät sekä laattarakenteista ontelo-, kuori-, ripa- ja massiivilaatat. (Betset, n.d. -b)

Betset Oy:n arvoihin lukeutuvat vastuullisuus, luotettavuus ja yhdessä tekemisen me-henki. Vastuu ympäristöstä on merkittävä syy etsiä uusia innovaatioita suomalaiseen rakentamiseen. Yrityksen monipuolinen elementtitarjonta (mm. laatta- ja seinäelementit) mahdollistavat uusien kevennysmenetelmien monipuolisen käyttöönoton ja kokonaisvaltaisten rakenteiden kehittämisen. (Betset, n.d. -b)

7.2 BubbleDeck-järjestelmän tuominen markkinoille

Betset Oy:n kehitysjohtaja Harri Bergholmin mukaan BubbleDeck-kevennysjärjestelmän tuominen Suomen markkinoille voisi tapahtua suhteellisen nopealla aikataululla. Tämä tapahtuisi kohdekohtaisella hyväksynnällä jo jonkin valmiin standardin mukaisesti. Näistä standardeita voisi olla esimerkiksi kuorielementti- tai jännitettyjen tuotteiden standardi. Massiivilaattaa käytettäessä vaihtoehto olisi jälkimmäinen.

7.3 BubbleDeck-järjestelmä massiivielementtinä

BubbleDeck-järjestelmää on mahdollista käyttää paikallavaluholvissa teräselementtikehikkoihin asennettuna, kuorielementtiin kiinni valettuna ja massiivilaattaratkaisuna. Betset Oy:n kehitysjohtaja Harri Bergholm lähtisi kehittämään kokonaisvaltaista ratkaisua, eli massiivilaattaa, johon olisi suunniteltu ja asennettu myös talotekniikkajärjestelmä jo tehtaalla. Tällä jo valmiiksi tehtaalla kevennysjärjestelmä laatan sisään valettuna olisi mahdollista minimoida työmaalla tehtävät asennukset ja sillä saavutettaisiin mahdollisimman nopea laatan kuivumisaika seuraavia työvaiheita silmällä pitäen.

7.4 Betset Oy:n resurssit BubbleDeck-tuotantoon

Bergholmin mukaan BubbleDeck-järjestelmän ottaminen tuotantoon ei ole ongelma Betsetin tehtaalle. Betset-tehtaiden ontelolaattalinjalla tehdyillä elementeillä on maksimileveys 1,2 metriä ja maksimipaino 12 – 16 tonnia. Elementtien pituusrajoitetta ei ontelolaattalinjalla ole. Parvekemuottilinjaston maksimileveys on 2,7 metriä, maksimipituus 10 metriä ja maksimipaino 10 – 12 tonnia.

Betset Oy:n kehitysjohtaja Harri Bergholmin mukaan, mikäli Betset Oy aloittaa teollisen tuotannon BubbleDeck-järjestelmien tai vastaavien tuotteiden käytöllä, olisi järkevää modifioida ontelolaattalinja tämän kaltaisten tuotteiden tekoon.

7.5 BubbleDeck-järjestelmän maksimaalinen hyödyntäminen

Betset Oy:n kehitysjohtaja Harri Bergholm lähtisi kehittämään BubbleDeck-järjestelmää sisältävää massiivilaattaa mahdollisimman kokonaisvaltaisesti ajateltuna. Tämä tarkoittaisi mm. työmaalla tehtävän rakennusajan minimointia. Esimerkiksi betoniksi kannattaisi valita korkealujuusbetonia sen nopeamman pinnoitettavuuden takia.

Massiivilaatan käyttö välipohjaratkaisuna tarkoittaa käytännössä talotekniikan valamista laatan sisään jo tehtaalla. Betset Oy valmistaa myös seinäelementtejä, joten laatussa oleva talotekniikka on luontevaa yhdistää Elpo-hormeihin ja seinäelementtien sisältämään talotekniikkaan. Toimintaperiaatteet talotekniikan sisällyttämiseen laattoihin ovat samankaltaiset kuin Parman

Tekniikkalaatassa ja Lujabetonin superlaatassa. Laattoihin ja seinäelementteihin jätetään asennuskolot talotekniikan yhdistämistä varten. Nämä asennuskolot valetaan jälkikäteen umpeen.

BubbleDeck-järjestelmällistä massiivilaattaa suunniteltaessa on huomioitava kuplien sijainti laatassa. Esimerkiksi kylpyhuonelaatan asemointi täytyy ottaa huomioon, samoin kuin mahdollisten laatan päältä lähtevien rakenteiden sijoittuminen kevennyskupliin nähden. Massiivilaattaa ja koko välipohjan rakennetta kannattaa muutenkin miettiä seuraavien työvaiheiden nopeaa käynnistämistä silmällä pitäen. On pohdittava, millainen välipohjan rakenne pitäisi olla, että esimerkiksi kevyiden väliseinien asentamisen voisi aloittaa yhtä nopeasti kuin paikallavaluvälipohjia käytettäessä.

7.6 BubbleDeck-järjestelmän haasteet

Uusien innovaatioiden ottaminen käyttöön ei ole aina mutkatonta, varsinkaan silloin, kun puhutaan suurten ja kantavien rakenteiden muutoksista. Monesti ongelmat ovat seurausta liian nopeasta aikataulusta keksinnöstä valmiiseen tuotteeseen. Näin ei kuitenkaan ole BubbleDeck-järjestelmän kohdalla, vaikka BubbleDeck-järjestelmällä rakennettuja rakenteita onkin sortunut maailmalla. Laskennallisesti toimivaksi todennetut tuotteet tai rakenteet saattavat osoittautua toimimattomiksi käytännössä silloin, kun suunnittelu ja toteutus eivät noudata alkuperäisiä mitoituksia ja pahimmillaan seuraukset voivat olla kohtalokkaita.

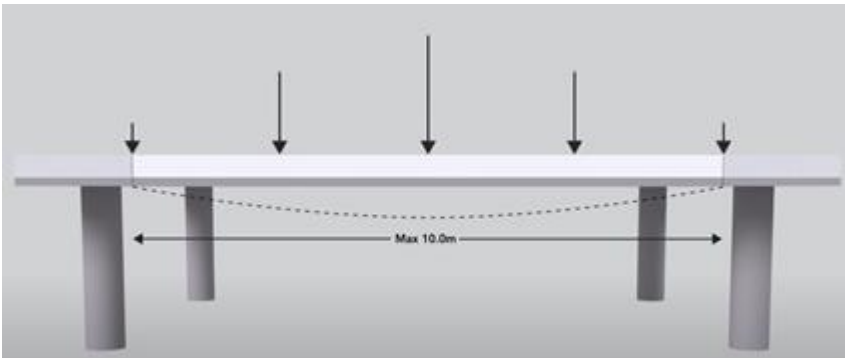
Hollannin Eindhovenissa tapahtui pysäköintitalon romahdus 27.5.2017 (kuva 11). Pysäköintitalo sijaitsee lähellä Eindhovenin lentokenttää ja oli lähes valmis ennen onnettomuutta. Hollannin onnettomuustutkijat (Onderzoeksraad voor Veiligheid) selvittivät romahtamiseen johtavat syyt ja tekivät niistä animoidun videon.

Kuva 11. Romahtanut pysäköintitalo (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019)



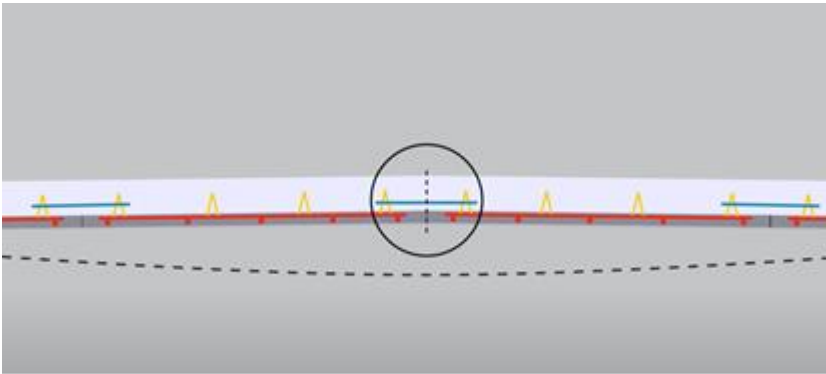
Modernin pysäköintitalon rakenteissa käytettiin BubbleDeck-järjestelmää keventämään rakenteita. BubbleDeck-elementit olisi pitänyt asentaa pitkittäin pilarilinjan väliin, jolloin pilareiden väliksi olisi tullut korkeintaan 10 metriä (kuva 12). Tällöin elementtien raudoitus olisi kantanut rakenteen. (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019)

Kuva 12. Oikea asennustapa (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019)



Eindhovenin pysäköintitalossa oli kuitenkin päätetty kääntää BubbleDeck-elementit poikittain, jolloin saatiin pilareiden maksimiväliä kasvatettua 12 metriin. Tämän muutoksen seurauksena lisäteräkset eivät enää tukeneet rakennetta, vaan suurin rasitus kohdistui liian lyhyille elementtejä toisiinsa yhdistäville teräksille, eikä rakenne pystynyt kannattamaan omaa painoaan (kuva 13). (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019)

Kuva 13. Pettävä rakenne (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019)



8 Keventävät rakenteet

BubbleDeck-järjestelmälle on olemassa useampia vaihtoehtoja. Niissä kaikissa on sama pääperiaate: korvata betonia ilmalla betonilaattarakenteissa. Tässä luvussa esitellään pääasiassa paikallavalurakenteisiin tarkoitettuja kevennysjärjestelmiä. Eri järjestelmien rakenteista Cobiax vastaa eniten BubbleDeck-järjestelmää, koska molemmat käyttävät keventävinä osina pyöreitä kuplia. U-Boot Beton ja New Nautilus käyttävät keskenään samankaltaisia kennorakenteita kevennysjärjestelmänä. Beeplate-järjestelmän kevennysrakenne eroaa edellisistä, koska se käyttää omassa kevennysrakenteessaan pyöreitä muovikennoja.

Paikallavalurakenteissa kevennysosia käytettäessä täytyy kaikissa kevennysjärjestelmissä valu suorittaa kahdessa osassa. Ensimmäisessä valukerrassa sidotaan raudoite muotin pintaan, sillä muuten kevennysosien alapuolelle menevä valubetoni voi nostaa rakenteen (kevennysosat ja raudoitteen) oikeasta korostaan. Toinen valukerta on mahdollista tehdä, kun ensimmäisen valukerran valubetoni on jähmettynyt sopivasti. Liian kuivaksi päässyt valu aiheuttaa valusauman ja liian märkä sekoittuu uuteen valukertaan ja saattaa nostaa raudoitteen irti muotista.

Umpinaisilla kevennysosilla on merkittävä hyöty avonaisiin kevennysosiin verrattuna. Umpinaisien kevennysosien sisälle ei kerry vettä, kuten osittain avonaisiin kuppirakenteisiin tai esimerkiksi ontelolaatan onteloihin. Kuppirakenteisten kevennysosien hyötynä on niiden helpompi kuljetus ja varastointi sisäkkäin, lisäksi ne tuovat asennettuna tasaisen työskentelyalueen työmaalla.

Eri kevennysjärjestelmistä ainakin Cobiax-järjestelmällä on edustus Suomen markkinoilla. Seuraavaksi käyn läpi eri kevennysjärjestelmien ominaisuudet helpottamaan järjestelmien vertailua BubbleDeck-järjestelmään.

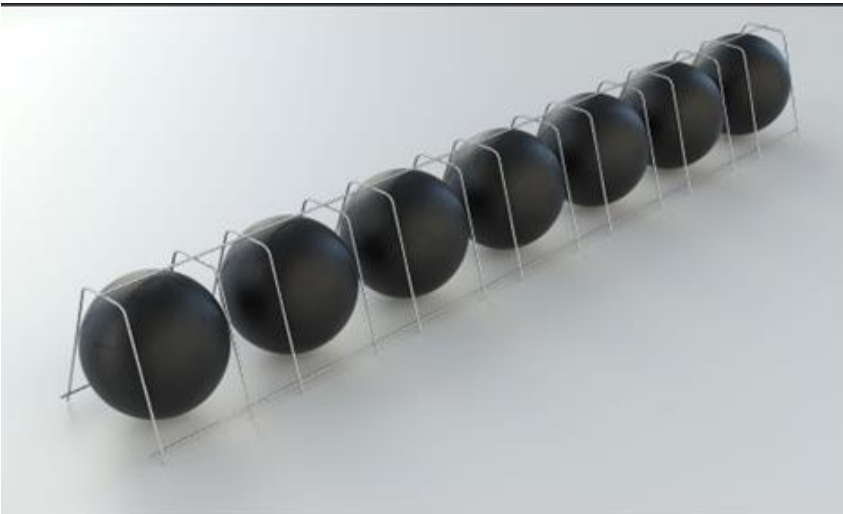
8.1 Cobiax-järjestelmä

Saksalaisen Cobiax-järjestelmän kehittäminen aloitettiin vuonna 1998. Cobiax-järjestelmän takana on Heinze Cobiax International GmbH. Suomessa Cobiax-järjestelmän tuotteita markkinoi Insinööritoimisto Sulin Oy. Cobiax-järjestelmää voidaan käyttää kuorielementeillä, mutta pääasiassa sitä käytetään paikallavaluissa. Cobiax-järjestelmien rakenteet ovat kevyitä sekä käsin siirreltäviä ja asennettavia. Elementtikehikkojen ja kevennysrakenteiden kokoamiseen löytyy selkeät ohjeet. Tutkimus- ja mittaustuloksia on paljon tarjolla. (Cobiax, n.d. -c)

Cobiax-järjestelmässä on kolme eri rakennetta: Cobiax EL (kuva 14), Cobiax SL (kuva 15) ja uusimpana Cobiax CLS (kuva 16). Cobiax EL ja Cobiax SL ovat ensimmäisiä järjestelmän rakennusosia ja ne koostuvat työmaalla käsin siirreltävistä putkimaisista raudoitekehikoista, joiden väliin kevennysosat asentuvat. Kehikot voidaan lyhentää työmaalla sopivan mittaisiksi. Cobiax EL rakentuu pyöreistä umpinaisista kuplista. Cobiax SL koostuu kupeista, joita yhteen liittämällä voidaan tehdä eri korkuisia soikeita ja umpinaisia kevennyskuplia. Cobiax CLS-rakenne koostuu neliönmallisista kupeista, joita yhteen liittämällä saadaan tiiviitä erikorkuisia kevennyselementtejä. (Cobiax, n.d. -a, -b, -d)

Cobiax-järjestelmä keventää laattaa parhaimmillaan 35 % ja raudoitteessa säästö on 15 %:n luokkaa vastaavaan umpilaattaan verrattuna. Verrattaessa 550 mm paksuiseen umpilaattaan, Cobiax-järjestelmien luvataan antavan 27 – 33 % säästön, kun käytössä on 500 mm paksuinen Cobiax-keventein laatta. Cobiax SL keventää laattaa 337 kg/m² sekä säästää 135 l/m² betonia. Cobiax EL:n luvataan keventävän laattaa 382 kg/m² ja säästävän 153 l/m² betonia. Cobiax CLS puolestaan keventää laattaa 410 kg/m² sekä säästää 164 l/m² betonia. (Cobiax, n.d. -e)

Kuva 14. Cobiax EL raudoituskehikko (Cobiax, n.d. -b)



Cobiax EL:

- vähemmän betonia 115 – 199 l/m²
- vähemmän painoa 286 – 477 kg/m²
- vähemmän hiilidioksidia 0,024 – 0,04 t/m²
- elementin korkeus 275 – 457 mm
- laatan paksuus 400 – 750 mm

(Cobiax, n.d. -b)

Kuva 15. Cobiax SL raudoituskehikko (Cobiax, n.d. -d)



Cobiax SL:

- vähemmän betonia 53 – 135 l/m²
- vähemmän painoa 132 – 337 kg/m²
- vähemmän hiilidioksidia 0,011 – 0,028 t/m²
- elementin korkeus 120 – 280 mm
- laatan paksuus 220 – 560 mm

(Cobiax, n.d. -d)

Kuva 16. Cobiax CLS moduuli (Cobiax, n.d. -a)



Cobiax CLS:

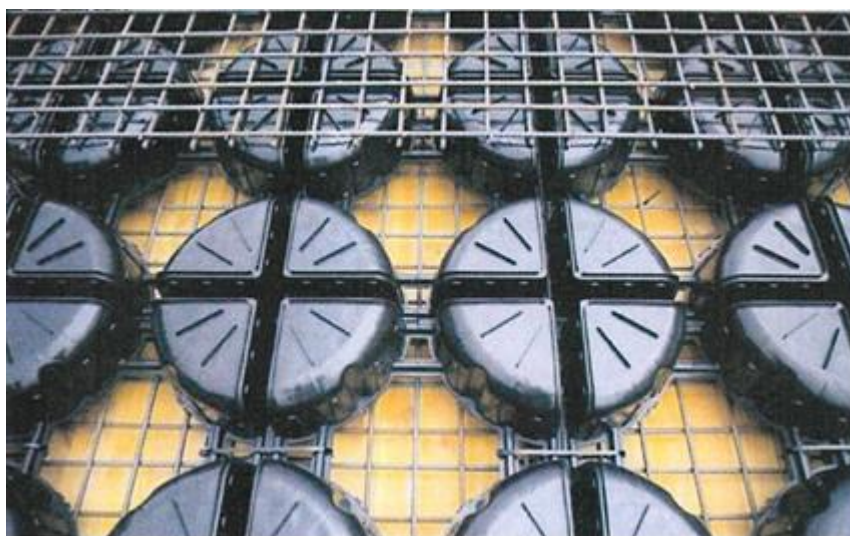
- vähemmän betonia 46 – 259 l/m²
- vähemmän painoa 114 – 649 kg/m²
- vähemmän hiilidioksidia 0,01 – 0,054 t/m²
- elementin korkeus 110 – 590 mm
- laatan paksuus 200 – 800 mm

(Cobiax, n.d. -a)

Cobix EL- ja SL- järjestelmien asennuksessa on otettava huomioon, että Cobix-kehikko asennetaan kohtisuoraan alemman raudoitteen ylempien tankojen päälle, jonka jälkeen kehiöt sidotaan kiinni alaraidoitteeseen. Kehikon teräkset toimivat yläpinnan raudoitteen kohoepukkeina. Talotekniikan kohdalta sekä laatan reunalta ja laatan aukkojen reunalta jätetään vähintään yksi rivi kevennyskuplia pois. (Leikas, 2013, s. 31)

Cobix CLS -järjestelmän asennus eroaa teräskehikkorakenteesta. CLS-järjestelmässä elementtikupit voidaan kasata työmaalla umpinaiseksi elementiksi ja asentaa yksittäin paikoilleen. Elementti tuo tasaisen pinnan ylimmälle raudoitteelle ja tämän jälkeen ylin raudoite sidotaan hakoja käyttämällä alemmaan. (Cobix, n.d. -e)

Kuva 17. Cobix CLS -elementit paikallavalurakenteessa (Cobix, n.d. -e)



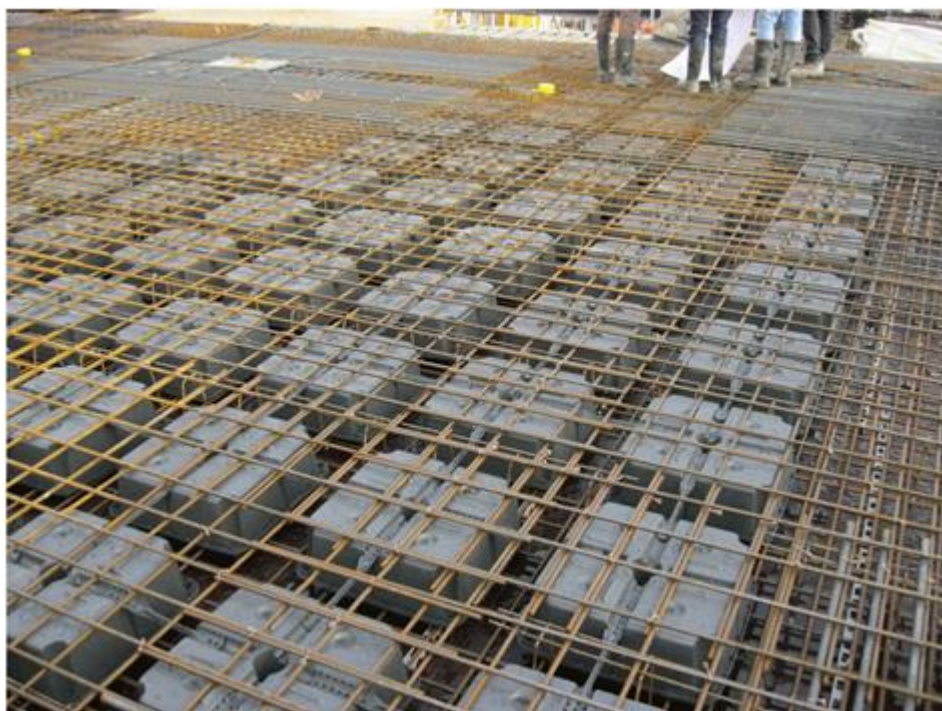
8.2 U-Boot Beton- ja U-Bahn Beton-järjestelmät

U-Boot Beton- ja U-Bahn Beton-järjestelmät ovat italialaisen Daliform Group srl-valmistajan laatan kevennys tuotteita. Erona niillä on, että U-Boot Beton on ristiin kantavaan laattaan tarkoitettu kevennysjärjestelmä, kun taas U-Bahn Beton on yhteen suuntaan kantavien laattojen kevennysjärjestelmä. Järjestelmissä käytetään kierrätetystä polypropeenista valmistettuja kulmikkaita kuppeja. U-Boot Beton- ja U-Bahn Beton-järjestelmien avulla voidaan saavuttaa 40 % kevyempiä betonilaattoja ja saada enimmillään 20 metrin jännevälejä. (Leikas, 2013, s. 32)

Kevennyskuppien leveydet ovat 520 x 520 mm ja niitä on kuusi eri korkeutta. Kuppeja yhdistelemällä voi eri rakenteiden korkeuksia olla 22 kpl. Kevennyskuppien korkeudet ovat 100 – 280 mm välillä, joten niiden yhdistelmällä voidaan saavuttaa 560 mm korkeimmillaan. On mahdollista asentaa kolme kuppia päällekkäin, jolloin voidaan tehdä vielä paksumpia rakenteita. Tällöin kuitenkin valu on tehtävä kolmessa osassa, koska alinta kuppia ei ole mahdollista sitoa mekaanisesti ylempiin kuppeihin. (Leikas, 2013, s. 33)

Yhteen liitettyjen kuppien rakenne tuo tasaisen työskentelyalustan työmaalle. Ne on raudoitettavissa millä tahansa menetelmällä, myös yläpinta irtotangoilla, koska siteet ovat samalla tasolla kuppien yläpinnan kanssa. U-Boot Beton-järjestelmän asennuksessa kevennyskupit asennetaan alaraidoitteen päälle ja sidotaan toisiinsa säädettävillä välikkeillä. Välikkeitä säätämällä voidaan lisätä tai vähentää laatan betonin määrää. Välikkeet kiinnitetään painamalla ne kiinni kupin pohjaan eli rakenteen yläpintaan. (Leikas, 2013, ss. 34-35)

Kuva 18. U-Boot Beton yksinkertaiset kupit asennettuna (Daliform Group, n.d.)



8.3 New Nautilus-järjestelmä

New Nautilus-järjestelmä on italialaisen Geoplast- yrityksen laatan kevennysjärjestelmä. New Nautilus käyttää järjestelmässään kierrätetystä polypropeenista valmistettuja kuppeja ja sillä on

muutenkin paljon yhteistä italialaisen Daliform Group srl-yrityksen valmistavan U-Boot Betonin kanssa. Suurimpana erona niillä on välikkeiden kiinnitystapa. New Nautilus-järjestelmän välikkeet kiinnitetään kuppien reunoissa oleviin välikkeiden kiinnityspisteisiin. Tällöin rakenteessa, jossa kaksi kuppia on kiinnitetty toisiinsa, jää välikkeet rakenteen keskelle. Välikkeiden pituudet voidaan lyhentää 120 – 200 mm välillä. (Leikas, 2013, ss. 32-33)

Kevennyskuppien leveydet ovat 520 x 520 mm ja niitä on kolme eri korkeutta. Kuppeja yhdistelemällä voi eri rakenteiden korkeuksia olla 22 kpl. Kevennyskuppien korkeudet ovat 160, 200 ja 240 mm. Kuppeja yhdistelemällä voidaan saada 320, 360, 400 ja 440 mm korkeita kevennysrakenteita. Kupit on mahdollista irrottaa raudoitteesta käyttämällä 50 – 100 mm korkeita korokejalkoja.

Kuva 19. New Nautilus yhdistetty kuppi (Geoplast, 2013)



8.4 Beeplate-järjestelmä

Beeplate-järjestelmä on saksalaisen Häussler Ingenieure GmbH:n paikallavalettaville laatoille tarkoitettu kevennysjärjestelmä. Järjestelmässä käytetään pyöreitä muovikenoja, jotka valetaan betonilaattaan ylösalaisin. Valmistaja suosittelee omaa itse kehittämäänsä Bamtec-mattoraudoitejärjestelmän käyttöä Beeplate-järjestelmissä. Kennot on mahdollista asentaa kahdella eri tavalla, joko suorakulmaisesti tai hunajakennomaisesti. Näistä kevennyksen kannalta tehokkaampi tapa on hunajakennomuodostelma, koska se syrjäyttää enemmän betonia kuin suorakulmainen muodostelma. Beeplate-järjestelmän kevennysvaikutus voi olla enimmillään 35 %. (Leikas, 2013, s. 21, 25)

Kuva 20. Beeplate-kennosto (Roll-it! Rolled Reinforcement, 2017)



Beeplate-järjestelmää käytettäessä raudoitteiden asentamista helpottaa kennojen tasainen yläpinta, joka toimii yläraudoitteen tukipukkina. Kennot asennetaan sopivaan muodostelmaan käsin ja kiinnitetään ne toisiinsa käyttämällä 10 cm pituisia välikkeitä. Välikkeet asennetaan painamalla ne kennon sivussa oleviin asennus reikiin. Mikäli kennot asennetaan hunajakennomuodostelmaan, niin erillisiä pintaraudoitteen tukipukkeja ei tarvitse asentaa kennojen väliin. Rakenne saattaa koostua myös kahdesta päällekkäin kootusta kennosta. Tällöin välikkeet asennetaan vain alempiin kennoihin. (Leikas, 2013, s. 24, 26)

Bamtec-mattoraudoitetta käytettäessä on huomioitava kennojen päällä olevien sakaroiden suunta. Sakaroiden on osoitettava samaan suuntaan mihin yläpinnan alempi raudoite rullataan auki. Kennojen päälle rullattava mattorulla saa painaa korkeintaan 100 kg/m ja rullan kokonaispaino saa olla korkeintaan 800 kg. Kennomainen rakenne ei aiheuta samanlaista nostetta betonivalun aikana, kuin pyöreät rakenteet, eikä erillisiä siderakenteita tarvita. Beeplate-järjestelmässä laatan ensimmäisellä valukerralla valetaan 2 cm kennojen alareunan yläpuolelle. Valua on tärytettävä, jotta betoni nousee saman verran myös kennon sisäpuolelle. Muuten raudoite ei peity kokonaan betoniin. Kennon pohjassa on reikiä, joista voidaan tarkistaa betonipinnan korkeus käyttämällä mittatikkua. (Leikas, 2013, s. 25)

9 Yhteenveto

Euroopan markkinoilla olevat kevennystekniikka- järjestelmät ovat ympäristöä säästäviä ja niiden tuomista Suomen markkinoille voidaan perustella merkittävänä ympäristötekona. Suomen pyrkiminen hiilineutraaliuteen seuraavien 14 vuoden sisällä vaatii myös Suomen rakennusteollisuudelta merkittävää panosta kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi. BubbleDeck- järjestelmillä tai vastaavilla kevennystekniikoilla on mahdollista säästää kymmeniä prosentteja betonin määrässä ylä-, ala- tai välipohjalaatoissa.

Käytännössä BubbleDeckin kaltaisilla betonilaatan kevennystekniikoilla korvataan laatan ns. ylimääräinen betoni ilmalla. Suurin osa betonin tuottamista hiilidioksidipäästöistä syntyy betonin pääraaka-aineen sementin valmistuksessa. Vähentämällä betonitarvetta, vähennetään myös kuljetuksista aiheutuvia päästöjä.

Taloudellisesti ajateltuna säästö tulee varsinkin juuri rakennusmateriaalisäästönä. Kun betonia käytetään vähemmän rakentamisessa, sen aiheuttamaa omaa massaa tarvitaan vähemmän raudoitetta tukemaan. Samoin myös laatan paksuutta voidaan mahdollisesti pienentää. Kuljetuskustannukset vähenevät pienempien ja kevyempien materiaalien ja rakenteiden ansiosta.

Tarkemman aikataulullisen säästön laskeminen riippuu siitä, kuinka paljon uusien tekniikoiden asennukseen menee aikaa paikallavalurakenteissa. Suurin aikataulullinen säästö tulee betonin kuivumisajoissa. Näitä kuivumisaikoja voidaan vielä vähentää valitsemalla sopivimmat materiaalit ja rakenteet kuivumista edesauttamaan. Näitä materiaaleja on esimerkiksi korkealujuusbetoni ja tehdasvalmisteinen massiivilaattarakenne.

Oikein toteutettuna BubbleDeck-järjestelmä on varteenotettava ehdokas Suomen betonirakennusmarkkinoille. Kevennyskuilien materiaaleista polyeteeni kestää -40°C kylmyyteen asti mekaanista rasitusta, mikä on hyvä huomioida talvirakentamisessa. BubbleDeckin etuna muihin vastaaviin järjestelmiin on sen elementtirakenne riippumatta siitä, käytetäänkö järjestelmää paikallavalussa vai elementtilaatoissa. Kilpailevista järjestelmistä Copiax-järjestelmä vaikuttaa tutkimisen arvoiselta rakenteelta paikallavalukohteisiin.

Ympäristöllisesti, aikataulullisesti ja taloudellisesti ajateltuna, on hyvä nähdä järjestelmän suurempi kuva, ei pelkästään yksittäisinä materiaali- tai asennusaikasäästöinä. Vihreä ajattelu tuo myös yrityksille ja yhteisöille positiivista näkyvyyttä. Askel BubbleDeckin kaltaisten järjestelmien käyttöönotolle ei ole suuri. Kyse on vain siitä, kenellä tai millä yrityksellä tai instanssilla on riittävästi halua ja rohkeutta olla ensimmäinen suunnannäyttäjä uusille tekniikoille Suomessa.

Lähteet

Betoni. (n.d. -a). *Betonirakenteen ekotehokkuus*. Haettu 7.4.2021 osoitteesta

<https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ekologisuus/betonirakenteen-ekotehokkuus/>

Betoni. (n.d. -b). *Kiertotalous toimii*. Haettu 7.4.2021 osoitteesta [https://betoni.com/tietoa-](https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ekologisuus/kierratys/)

[betonista/perustietopaketti/ekologisuus/kierratys/](https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ekologisuus/kierratys/)

Betset. (2020). *Ontelolaattojen vastaanotto- ja käsittelyohje*. Betset-yhtiöt

Betset. (n.d. -a) *Laatat*. Haettu 11.4.2021 osoitteesta

<https://betset.fi/tuotteet/betonielementit/laatat/>

Betset. (n.d. -b). *Älykkään rakentamisen edelläkävijä*. Haettu 8.4.2021 osoitteesta

<https://betset.fi/yritys/>

BubbleDeck Construction. (7.11.2015). *How BubbleDeck* [video]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=YNscXlvrZ9c>

BubbleDeck floors. (2001). *CUR Recommendations 86*. BubbleDeck

Cobias. (n.d. -a). *Cobias CLS*. Haettu 14.4.2021 osoitteesta

<https://www.cobias.com/intl/en/produkte/cobias-cls/>

Cobias. (n.d. -b). *Cobias EL*. Haettu 14.4.2021 osoitteesta

<https://www.cobias.com/intl/en/produkte/cobias-el/>

Cobias. (n.d. -c). *From the beginning, until today*. Haettu 19.4.2021 osoitteesta

<https://www.cobias.com/intl/en/history/>

Cobias. (n.d. -d). *Cobias SL*. Haettu 14.4.2021 osoitteesta

<https://www.cobias.com/intl/en/produkte/cobias-sl/>

Cobias. (n.d. -e). *The ideal product*. Haettu 14.4.2021 osoitteesta

<https://www.cobias.com/intl/en/products/>

Daliform Group. (n.d.). *U-Boot Beton*. Haettu 17.4.2021 osoitteesta

<https://www.daliform.com/en/disposable-formwork-for-two-way-lightened-voided-slabs/>

Doka. (2014). *Dokaflex 1-2-4 Asennus- ja käyttöohje* haettu 23.4.2021 osoitteesta

https://direct.doka.com/ext/downloads/downloadcenter/999776011_2014_06_online.pdf

Geoplast. (n.d.). *New Nautilus*. Haettu 17.4.2021 osoitteesta

<https://www.geoplastglobal.com/en/products/slabs/new-nautilus/>

Hytönen Y. & Seppänen M. (2009). *Tehdään elementeistä Suomalaisen betonielementtirakentamisen historia*. SBK-säätiö

Lujabetoni. (n.d.). *Tehokkuusloikka välipohjarakentamiseen*. Haettu 6.4.2021 osoitteesta

<https://www.lujabetoni.fi/luja-superlaatta/>

Muovien kierrätys. (n.d. -a). *Energiatuotanto*. Haettu 6.4.2021 osoitteesta

<https://muovienkierratys.wordpress.com/energoian-tuotanto/>

Muovien kierrätys. (n.d. -b). *Kemiallinen kierrätys*. Haettu 6.4.2021 osoitteesta

<https://muovienkierratys.wordpress.com/kemiallinen-kierratys/>

Muovien kierrätys. (n.d. -c). *Mekaaninen kierrätys*. Haettu 6.4.2021 osoitteesta

<https://muovienkierratys.wordpress.com/mekaaninen-kierratys/>

Onderzoeksraad voor Veiligheid. (16.1.2019). *Constructing structural safety – Lessons from the Eindhoven Airport parking building collapse* [video]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=jSmRELbmdV4>

Parma. (n.d.). *Tekniikkalaatat*. Haettu 6.4.2021 osoitteesta <https://parma.fi/tuote/tekniikkalaatat/>

Roll-it! Rolled Reinforcement. (18.8.2017). *Beeplate Honeycomb Floor – Next Level Flat Slab Construction* [video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=s3eyzxhufNE>

Rudus. (n.d. -a). *Kuitubetonilla parantavaa vetolujuutta ja kestävyyttä*. Haettu 6.4.2021 osoitteesta <https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/kuitubetonit>

Rudus. (n.d. -b). *Vihreä betoni*. Haettu 6.4.2021 osoitteesta

<https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/vihrea-betoni/5798/vihrea-betoni>

- Salminen E. (2021). *Suomalaisen betonin hiilijalanjälki*. Vahanen-yhtiöt
- Schnellenbach-Held M. & Pfeffer, K. (2002). *Punching behavior of biaxial hollow slabs*. Darmstadt University of Technology
- Suomen rakentamismääräyskokoelma. (2019). *Rakenteiden lujuus ja vakaus*. Ympäristöministeriö
- Suomen Uusiomuovi. (n.d.). *Polku 2021 ohjelmalla kierrätyksen haasteisiin*. Haettu 6.4.2021 osoitteesta http://www.uusiomuovi.fi/fin/suomen_uusiomuovi/polku_2025/
- Technical Paper. (2006). *Technical Paper, BubbleDeck Span Guide*. BubbleDeck
- Tests and Reports Summary. (2006). *Tests and Reports Summary*. BubbleDeck
- Tuomainen N. (2013). *Pienempi hiilijalanjälki vihreällä betonilla* [opinnäytetyö, Savonia ammattikorkeakoulu].
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/59165/Tuomainen_Noora.pdf?sequence=1
- Tuomikko J. (26.8.2019). *Korkealujuusbetoni – valmistus ja hyödyt*. Haettu 6.4.2021 osoitteesta <https://www.tecwill.com/fi/blogi/korkealujuusbetoni-valmistus-ja-hyodyt>
- Vink Finland. (n.d. -a). *Polyeteeni*. Haettu 6.4.2021 osoitteesta https://www.vink.fi/muovitietopankki/pe_muovi
- Vink Finland. (n.d. -b). *Polypropeeni*. Haettu 6.4.2021 osoitteesta https://www.vink.fi/muovitietopankki/pp_muovi
- Väisänen P. (2005). *Betoni Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle*. TKK Arkkitehtiosasto Rakennusoppi 2005
- Ympäristöministeriö. (2015). *Ympäristöministeriön ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaatimusluokista*. Ympäristöministeriö
- Ympäristöministeriö. (2018). *Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä*. Ympäristöministeriö
- Ympäristöministeriö. (2018). *Ääniympäristö, Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä*. Ympäristöministeriö