



Betonin toksisuuden huomioiminen purettavissa betonirakenteissa

Erik Ahrens

OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Rakennustuotanto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Rakennustuotanto

Ahrens Erik
Betonin toksisuuden huomioiminen purettavissa betonirakenteissa

Opinnäytetyö 65 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Maaliskuu 2020

Tämä opinnäytetyö tehtiin pohjautuen selvitystyöhön, joka tilattiin Tampereen ammattikorkeakoululta erään yrityksen toimesta. Yhteistyötaho tilasi selvitystyön saadakseen tietoonsa, mitä kaikkia haitta-aineita betonirakenteet saattavat sisältää ja miten ne tulee huomioida rakenteita purkaessa. Tavoitteena on betonin turvallinen uusiokäyttö, niin etteivät kierrätetyt raaka-aineet sisällä toksisia aineita. Haitta-aineita sisältävät rakenteet voivat aiheuttaa rakennuksessa asuville tai siellä työskenteleville lukuisia erilaisia terveyshaittoja haitta-aineen ja sen määrän mukaan. Haitta-aineista eroon pääseminen ennen uusiokäyttöä on tärkeä asia, jotta uusiotehtävät rakenteet ovat terveellisiä ja turvallisia käyttää.

Opinnäytetyössä tutkitaan, mitä kaikkia aineita suomalaisen rakentamisen lähihistoriassa (1900-luvulta tähän päivään) on käytetty ja mitkä tänä päivänä tiedostetaan ihmisen terveydelle haitallisiksi. Näitä kutsutaan haitta-aineiksi. EU:ssa ja sitä kautta Suomessa on näiden käyttämiselle ja käytölle tarkat ohjeet ja säännökset. Lait määrittävät suurimmat sallitut pitoisuudet materiaalissa ja hengitysilmassa. Tarkkojen arvojen määrittäminen vaatii lähes poikkeuksetta laboratoriomittauksia, joilla varmistetaan, onko syytä alkaa toimenpiteisiin haitta-aineiden poistamiseksi rakennuksesta. Opinnäytetyössä selvitettiin, minkälaisilla menetelmillä kustakin rakennusmateriaalista saadaan luotettava haitta-ainenäyte ja miten näytteenottajan pitää suojata itsensä ja ympäristö näytteenoton ajaksi.

Opinnäytetyössä selvitettiin, minkälaisiin toimenpiteisiin pitää ryhtyä, jotta haitta-aineet saadaan poistettua betonirakenteista ennen betonin uusiokäyttöä. Haitta-ainetta sisältävien materiaalien poisto tuo yleensä hankkeeseen suunnittelematomia työvaiheita, jotka ovat tarkoin säädeltyjä ympäristön ja henkilön suojausneen. Ylimääräiset työvaiheet suunnitteluineen aiheuttavat hankkeelle ylimääräisiä kuluja ja aikataulun pitenemistä. Haitta-ainepurku on syytä toteuttaa huolellisesti ohjeita noudattaen ympäristön ja tilan käyttäjien turvallisuuden, terveyden ja mukavuuden vuoksi.

Asiasanat: haitta-aine, toksisuus, betoni, uusiokäyttö

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering
Building Production

Ahrens, Erik
Consideration of Concrete Toxicity in Demolished Concrete Structures

Bachelor's thesis 65 pages, appendices 0 pages
March 2020

This thesis was based on a study ordered from Tampere University of Applied Sciences by a company. The cooperation partner ordered the study to find out what kinds of contaminants concrete structures might contain, and how to deal with them when demolishing structures. The goal was safe reusing of concrete by removing toxic substances from raw materials before recycling. Structures that contain contaminants can cause various health hazards to those who live or work in the building, depending on the type and amount of contaminant. Getting rid of contaminants before reuse is an important matter, so that following structures are healthy and safe to use.

The focus of investigation in this study was on what substances have been used in the recent history of Finnish construction, from the early 20th century to today, and which of them are recognized as harmful for human health today. These substances are called contaminants. In EU and in Finland there are specific guidelines and regulations for using them. Laws define their maximum amounts in breathing air or in materials. Determining accurate values almost invariably requires laboratory measurements to ensure whether measures should be taken to remove contaminants from the building. The aim of this study was also to research the methods for obtaining a reliable sample of each building material, and the ways in which the sample collector should protect himself and the environment during sampling.

Finally, the goal was to explore what measures should be taken to remove harmful substances from the concrete structures before reusing the concrete. Removal of harmful materials usually results in unplanned work steps for the project, which are precisely regulated and include environmental and personal protection. The extra work steps and their planning will result in extra costs and lengthening of the project. The demolition of buildings containing contaminant materials should be executed carefully following the instructions for the safety, health and comfort of the environment and space users.

Key words: contaminant, toxicity, concrete, reuse

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Työn tausta	6
1.2	Työn tavoite	6
1.3	Työn rajaukset.....	6
2	Betoni rakennusmateriaalina	8
2.1	Betonirakentamisen historia	8
2.2	Betonin raaka-aineet	9
2.2.1	Sementti	10
2.2.2	Vesi	11
2.2.3	Kiviaines	12
2.2.4	lisäaineet	14
2.3	Betonin ominaisuudet.....	15
2.3.1	Turvallisuus	16
2.3.2	Eristävyys	17
2.3.3	Muotoiltavuus	18
2.3.4	Haasteelliset ominaisuudet.....	19
2.4	Betonin käyttö työkohteessa	23
3	Valmisosarakentamisen historia suomessa	26
4	Haitta-aineiden käyttökulttuuri ja historia Suomalaisessa rakentamisessa.....	30
5	Toksisuuslähteet	32
5.1	Asbesti	32
5.2	PCB-yhdisteet	36
5.3	Öljyhiilivety ja PAH-yhdisteet	37
5.4	Raskasmetallit.....	38
5.5	Säteily	39
5.6	Muut aineet	42
6	Toksisuuden kartoitus betonissa	44
6.1	Asbesti	45
6.2	PCB-yhdisteet	47
6.3	Öljyhiilivety ja PAH-yhdisteet	49
6.4	Raskasmetallit.....	50
7	Haasteet purkaessa	51
7.1	Asbesti	51
7.2	PCB-yhdisteet	54
7.3	Öljyhiilivety ja PAH-yhdisteet	55

7.4 Raskasmetallit.....	56
8 Ongelmajätteen määrittely ja käsittely	57
8.1 Asbesti	57
8.2 PCB-yhdisteet	58
8.3 Öljyhiihivety ja PAH-yhdisteet	58
8.4 Raskasmetallit.....	58
9 Uusiokäyttö	59
10 Pohdinta.....	61
LÄHTEET	62

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämä opinnäytetyö tehtiin pohjautuen selvitystyöhön, joka tilattiin Tampereen ammattikorkeakoululta salassa pidettävän yrityksen toimesta. Tilaajana ollut yritys soveltaa selvitystyön tutkimustuloksia yritystoimintaansa. Yritystoiminnan idea jää myös salassa pidettäväksi.

Tilaaja halusi teettää työohjeen, joka soveltuu betonin purkamiseen ja sen uusiokäyttämiseen niin, että ennen purkamista voidaan varmistua purettavien rakenteiden puhtaudesta haitta-aineiden osalta. Vain tervettä betonia käyttämällä voidaan varmistua siitä, että tulevat rakenteet ovat haitta-ainevapaita, ja turvallisia käyttää jokapäiväisessä asumis- ja työympäristössä.

1.2 Työn tavoite

Selvitystyössä selvitettiin betonissa mahdollisesti esiintyviä toksisuuslähteitä, ja niiden vaikutusta betonin terveellisen uusiokäytön mahdollisuuksiin. Suomalaisen rakennuskulttuurin lähihistoriassa on ollut käytössä useita aineita, jotka ovat vuosien varrella todettu ihmiselle ja luonnolle haitallisiksi. Tällä selvitystyöllä pyrittiin selvittämään näiden aineiden olemassaoloa, esiintymisvuosia, turvallisia purkumenetelmiä ja sallittuja pitoisuusrajoja betonirakenteissa. Betonin uusiokäytössä on tärkeää, että toksiset aineet saadaan karsittua pois ennen puretun rakenteen jatkokäyttöä. Terveellisiä rakennuksia rakentamalla säästetään niin rakennusten korjaus- ja ylläpitokuluissa kuin terveydenhoitokuluissakin. Terveellinen rakennus on myös mukava ja huoleton paikka asua ja käyttää.

1.3 Työn rajaukset

Opinnäytetyön pohjana ollut selvitystyö tehtiin tutkien suomalaista lainsäädäntöä ja ohjeistusta. Selvitystyön tekeminen rajattiin tiukasti Suomeen, eikä siinä otettu

huomioon ulkomaisia näkökulmia. Ainoastaan Euroopan unionin kautta Suomeen asetetut lait huomioitiin. Vaikkakin monet Suomen lait ja ohjeistukset pohjautuvat Euroopan unionin asetuksiin, ei tätä opinnäytetyötä voi soveltaa suoraan työhöohjeena muihin EU-maihin. EU:n sisäiseen käyttöön soveltuakseen tämä opinnäytetyö vaatii lisätutkimusta ja perehtymistä kunkin maan lainsäädäntöön. Tämä opinnäytetyö ei myöskään sovellu kansainväliseen käyttöön ilman lisätutkimusta.

2 Betoni rakennusmateriaalina

Betoni on tekokivi, joka syntyy raaka-aineidensa seoksen kovettumisreaktiona (Ihanamäki, Rajala, Uusitalo & Vallin 2004, 10). Se on tasalaatuinen, monipuolinen ja helposti muokattavissa oleva rakennusaine. Betoni on maailman ja Suomen yleisin rakennusaine. Betonirakenteista puhuttaessa lähes aina tarkoitetaan teräsbetonia eli teräksellä vahvistettua betonirakennetta. Näiden tuotteiden yhdistelmällä saavutetaan luja aine sekä puristus- että vetolujuutensa puolesta, mikä mahdollistaa käyttökelpoisuuden lähes kaikkiin mahdollisiin rakennuskohteisiin maan päällä. (Betoniteollisuus ry 2019.)

2.1 Betonirakentamisen historia

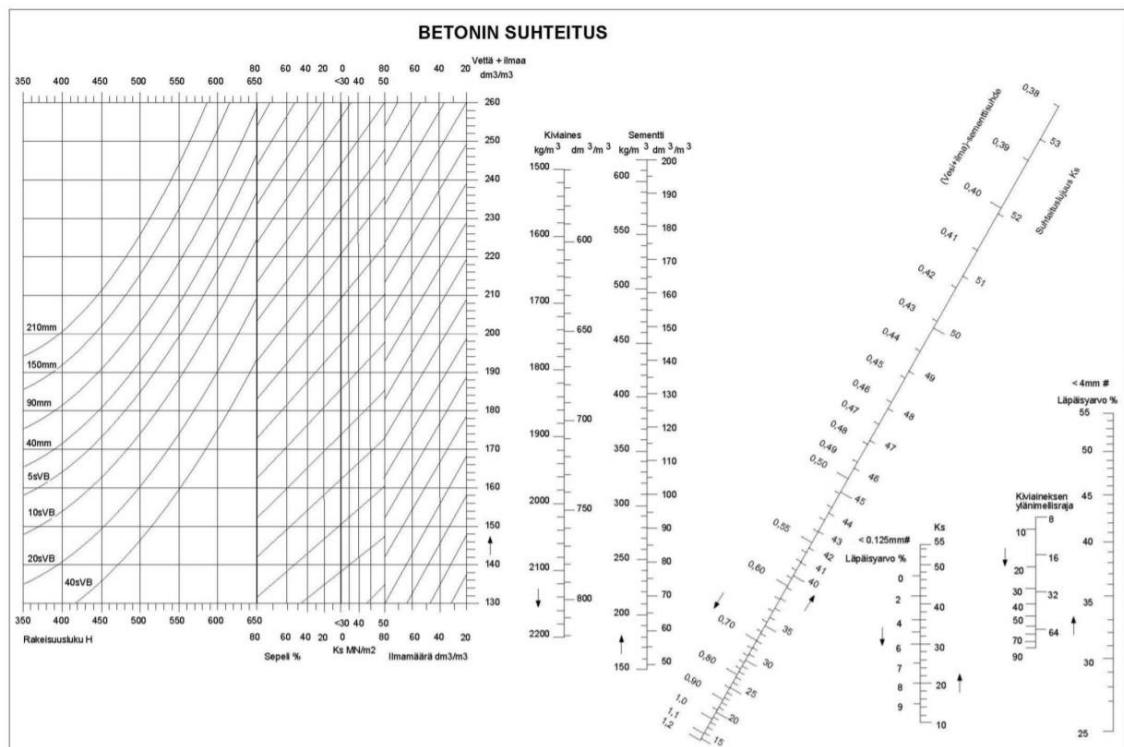
Ensimmäisiä tunnettuja betonirakennuksia on Roomassa sijaitseva Pantheonin Temppli, joka on valmistunut jo 100-luvulla, ja on edelleen käytössä. Nykyisestä rakennustavasta poiketen Pantheonissa ei käytetty terästä betonin vahvikkeena (Pantheon, 2019). Tuohon aikaan Antiikin Roomassa betonin sideaineena käytettiin runsaasti tulivuorituhkaa, jonka heikon saatavuuden vuoksi betonirakentaminen jäi laajassa käytössä unohduksiin sadoiksi vuosiksi. Vuonna 1824 Englannissa patentoitiin Portland-sementti. Vuonna 1844 rakennusmestari Isaac John kehitti menetelmää ja onnistui luomaan nykyisen sementin kaltaisen tuotteen. Tämän myötä sementti pystyttiin varastoimaan jauhemaisessa muodossa, kuljetamaan minne vain, ja käyttämään halutussa paikassa lisäämällä siihen vain vesi. Keksintö siivitti betoniteollisuuden nousukiitoon ja loi edellytykset laajamittaiselle käytölle. Teräsbetoni patentoitiin vuonna 1867 ranskalaisen puutarhuri Joseph Monierin toimesta, kun hän keksi lisätä kukkaruukkujensa kestävyyttä teräsverkkojen avulla. (Hytönen & Seppänen 2009.)

Suomessa tiedettävästi ensimmäisen kerran sementtiä käytettiin Saimaan kanavan muurirakenteissa vuonna 1856. Suomessa sementin valmistus alkoi vuonna 1869 Keravalla Savion kaupunginosassa. Ensimmäiset betoninormit eli ohjeistukset muun muassa suunnitteluun, rakentamiseen ja valvontaan, otettiin käyttöön vuonna 1929. Normeja on päivitetty ja muokattu aika ajoin nykypäivään

saakka. Läpimurtonsa Suomessa betoni teki ennen toista maailmansotaa. ”Betonista tuli 2000-luvulla ensimmäisenä rakennusmateriaali, jonka käyttöikä voitiin etukäteen suunnitella.” (Hytönen & Seppänen 2009.)

2.2 Betonin raaka-aineet

Betonin valmistukseen käytetään yksinkertaisimmillaan kolmea pääraaka-ainetta: sementtiä, kiviainesta eli runkoainesta ja vettä. Jokaisella pääraaka-aineella on tietynlaisia vaatimuksia, jotta valmiista betonimassasta saadaan oikein kovettuvaa, ja valmiille rakenteelle oikeanlainen lujuus ja muut halutut ominaisuudet. Pääraaka-aineiden keskinäisellä suhteituksella on erittäin iso vaikutus niin työnaikaisiin, kuin valmiin työn ominaisuuksiin. Periaatteen tasolla, mitä enemmän vettä lisätään, sitä huonompaa betonia saadaan. (Ihanamäki ym. 2009, 13). Ensimmäisen selkeän ja toimivan suhteitusmenetelmän kehitti vuonna 1945 suomalainen professori, DI Arvo Nykänen, joka vielä keksimisen jälkeen uusi menetelmän viimeisimpään muotoonsa vuonna 1955 (kuva 1). Tämä menetelmä, niin kutsuttu Nykäsen nomogrammi, antaa vastaukset lähes kaikkiin betonin valmistuksessa tavoiteltaviin ominaisuuksiin liittyen. Nykäsen suhteitusmonogrammi on säilyttänyt ominaisuutensa myös 2000-luvulla. (Finnsementti Oy 2019.)



KUVA 1. Betonin suhteitus eli ”Nykäsen nomogrammi”.

Betonimassaa valmistaessa sen työnaikaisia ja valmiin tuotteen ominaisuuksia pystytään muokkaamaan lukuisilla erilaisilla lisäaineilla ja muilla massan käsitteilyillä. Nämä lisäaineet joko pyrkivät helpottamaan betonin kanssa työskentelyä, parantamaan lopputuloksen laatua haluttuun kohteeseen sopivammaksi tai luomaan visuaalista ilmettä. (Betoniteollisuus ry 2019.)

2.2.1 Sementti

Sementti on betonin hydraulinen aineosa, joka reagoi veden kanssa muuttuen sementtikiveksi. Sementtikivi liimaa runkoaineet toisiinsa ja täyttää niiden väliin jäävät tyhjät tilat. Sementin kovettumisreaktio pystyy tapahtumaan niin ilmassa kuin vedessä, mahdollistaen näin myös vedenalaiset valut. (Ihanamäki ym. 2004.)

Kotikonstein tai työmaaoloissa sementtiä ei pysty valmistamaan, vaan sen valmistaminen raaka-aineista vaatii tehdasolot. Sementtitehtaita kuitenkin löytyy lähes jokaisesta maailman kolkasta (kuva 2), joten sen saatavuus lähes aina on

taattua. Jauhemaisen olomuotonsa ansiosta sementtiä pystyy kuljettamaan ja varastoimaan hyvin helposti, joten sen saa käyttöönsä missä vain. Suomessa toimii 2 sementtitehdasta; Finnsementti Oy:n tehtaat Paraisilla ja Lappeenrannassa. (Finnsementti Oy 2019.)



KUVA 2. Maailman sementtitehdaskartta (IndustryAbout 2019).

2.2.2 Vesi

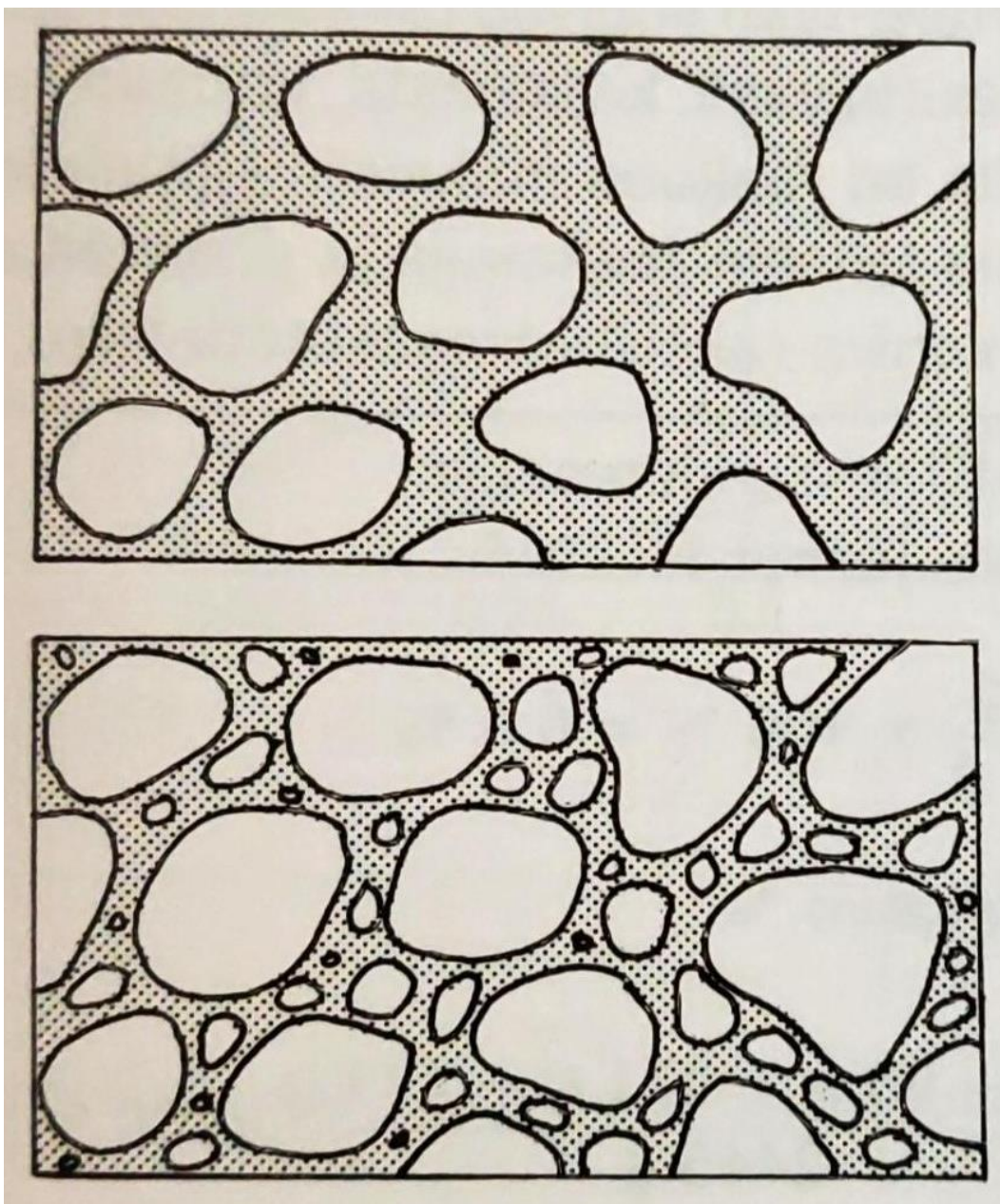
Veden tehtävä betonimassassa on reagoida sementin kanssa aiheuttaen sementtiliiman kovettumisen ja käynnistäen lujoudenkehityksen. Vesi myös mahdollistaa betonimassan työstettävyyden. Kaikki betonimassassa oleva ylimääräinen vesi, joka ei osallistu sementin kovettumiseen, haihtuu sieltä pois. Veden pois haihtuminen aiheuttaa betonin kutistumista, ja voi muodostua ongelmaksi, jos massassa on käytetty turhan paljon vettä. Kutistumisen seurauksena valun pinta voi laskea alemmalle tasolle kuin valuhetkellä ja valmiiseen valuun voi syntyä halkeamia. (Ihanamäki ym. 2004). Ylimääräisen veden haihtumista ei pysty kokonaan estämään, vain hidastamaan (Suomen betonitieto Oy 1998, 15.)

Betonimassan valmistuksessa käytettävä vesi pitää olla puhdasta. Se ei saa sisältää humusta, happoja, suolaa, sokeria eikä mitään muutaakaan ylimääräistä. Vedessä olevat liat ja muut aineet häiritsevät sementin kovettumisreaktiota tai

voivat jopa estää sen kokonaan. Hyvä nyrkkisääntö betonimassassa käytettävälle vedelle on se, että sen pitää olla juomakelpoista. Jos veden puhtaudesta on epäselvyyttä betonia valmistaessa, sen puhtaus tulee tutkia ennen käyttämistä. (Ihanamäki ym. 2004.)

2.2.3 Kiviaines

Kiviaines eli runkoaine muodostaa suurimman osuuden betonimassasta; noin 60-70%. Suomalaisessa rakentamisessa runkoaine on murskattua tai luonnon muokkaamaa kiviainesta (esim. sora ja moreenit). Osa betonimassan runkoaineesta voi myös olla uusiokäytettynä murskattua betonia. Massaa tehdessä kiviaineksen rakeisuus eli kokoluokka ja keskinäiset suhdeluvut määräytyvät käyttökohteen perusteella. Eri kiviainesten raekoot vaihtelevat 0,02mm-32mm. Rae-kooltaan pienin kiviaines on filleriä ja isoin murskettua. Rakeisuus massassa pitäisi olla semmoinen, että rakeet asettuisivat toistensa lomaan tiiviisti jättämättä liian isoja aukkoja välilleen (KUVA 3). Näin mahdollistetaan luja lopputulos edullisesti, koska tyhjöt aukot täyttävä sementti on betonin kallein ainesosa. (Ihanamäki ym. 2004.)



KUVA 3. Betonin rakeisuus (Ihanamäki ym. 2004).

Betonin valmistamiseen käytetyn kiviaineksen tulee olla lujaa sekä puhdasta, ja sen kosteus ja raemuoto pitää olla tiedossa. Heikko kiviaines heikentää valmiin betonituotteen kestävyyttä ja muita hyviä ominaisuuksia. Kiviaineksen epäpuhtaudet ja ylimääräiset liat (esim. roskat, hummus, öljy) heikentävät tartuntaa ja kovettumisreaktiota, näin myös huonontaan valmiin työn laatua. Kiviaineksen kosteus tulee tietää, koska hyvin kuiva kiviaines voi imeä itseensä niin paljon vettä, että sementin kovettumisreaktio heikentyy veden puutteen takia. (Ihanamäki ym. 2004.)

2.2.4 Lisäaineet

Jos betonia halutaan keventää, kiviainesta voidaan korvata esimerkiksi kevytsoralla. Betonista tulee kevyempää, ja sen lämmöneristävyys paranee. Valmiin rakenteen kantavuus ja lujuus on heikompi kuin normaalilla kiviaineksella tehtynä, joten kaikkiin samoihin tarkoituksiin soveltuvaa kevytsorabetoni ei ole. Kevytsorabetonia voidaan käyttää esimerkiksi vesikattorakenteiden kallistuksina sekä piha-alueiden kantavina kerroksina ja routaeristeinä. (Ihanamäki ym. 2004; Semtu 2020.)

Notkistimilla voidaan parantaa betonimassan työstettävyyttä, ja samalla vähentää vesimäärää työstettävyyden pysyessä ennallaan. Vesimäärän vähenemisen seurauksena samalla sementtimäärällä saadaan lujempaa betonia, jolla on parempi pitkäaikaiskestävyys. Lisäksi betonin varhaislujuuden kehitys paranee ja kutistumia on helpompi hallita. Liiallisella käytöllä on haittavaikutuksia, jotka heikentävät valmiin rakenteen ominaisuuksia. (Ihanamäki ym. 2004; Semtu 2020.)

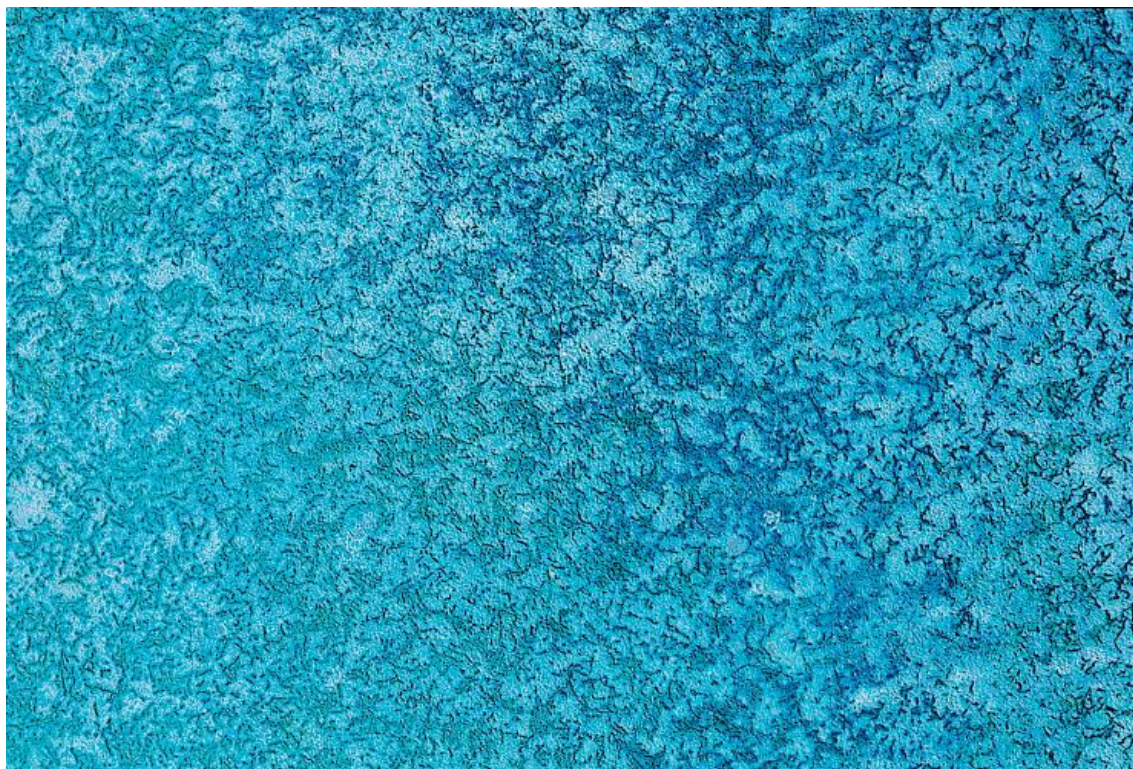
Huokostimilla voidaan tehdä pakkasen kestäväää betonia, joka on alttiina toistuvalla jäätymiselle ja sulamiselle. Huokostimet tekevät valmiiseen betoniin pieniä ilmahuokosia, jotka mahdollistavat veden jäätyneen aiheuttaman laajentumisen rikkomatta betonirakennetta. Huokostimet myös mahdollistavat pienemmän vesimäärän käytön valmistusvaiheessa sekä paremman työnaikaisen työstettävyyden. Suomessa lähes kaikki ulkotilojen betonirakenteet pitävät olla pakkasenkestäviä. (Ihanamäki ym. 2004; Semtu 2020.)

Hidastimilla saadaan siirrettyä betonin sitoutumisen alkaminen myöhemmäksi, ja näin pidennettyä työstettävyyden kestoja. Tästä on hyötyä esimerkiksi kuumalla ilmalla, kuumabetonilla valettaessa, vedenalaisissa valuissa, laajoissa valukohdeissa ja betonin pitkillä kuljetusmatkoilla. Lopputulokseen oikein annosteltu hidastin ei vaikuta negatiivisesti. (Ihanamäki ym. 2004; Semtu 2020.)

Kiihdyttimillä nopeutetaan betonin kovettumista ja varhaislujuuden kehitystä. Tällä voidaan mahdollistaa betonin käsittely kylmemmällä säällä ja saavuttaa nopeampi muottien purkulujuus. Nopeammalla purkulujuuden saavuttamisella

säästetään aikaa muita töitä varten, ja nopeutetaan seuraavia työvaiheita. (Ihanamäki ym. 2004; Semtu 2020.)

Betonin harmaaseen ominaisväriin ei tarvitse tyytyä, vaan betonia pystyy värjäämään halutessaan (KUVA 4). Yksi tapa värjäykseen on valita betonin runkoaineksi halutun värinen kiviaines, ja valun jälkeen hioa pinnalta pois pinnalle syntynyt sementtiliima. Värjäyksen voi myös tehdä käyttämällä massan valmistuksessa sementtinä värisementtiä eli metallien oksideilla värjättyä sementtijauhetta. Valmiista tuotteesta saa kirkkaamman värisen, jos käyttää värisementin pohjaineena valkosementtiä. Betonipinnan voi myös maalata tai muuten pinnoittaa, mutta värjäyksellä saadaan pysyvämpi väri, joka on läpi koko rakenteen sama. (Ihanamäki ym. 2004).



KUVA 4. Sininen väribetoni (Betoniteollisuus ry 2020).

2.3 Betonin ominaisuudet

Betonilla on lukuisia hyviä ominaisuuksia, jotka ovat siivittäneet sen suosiota rakennusmateriaalina. Betoni on ominaisuuksiinsa nähden kohtalaisen edullista. Valmiin massan hinta Suomessa on noin 120-160€/m³ riippuen ominaisuuksista,

joista lujuus on keskeisin. Betonia pystyy käyttämään todella monimuotoisesti, ja sillä rakentaminen on tunnettua suomalaisessa rakennuskulttuurissa. Suomessa on kattavat ohjeistukset ja normit monenlaiseen betonirakentamiseen liittyen. Valmis betonirakenne sopii lukuisiin erilaisiin käyttöympäristöihin aina jätevesialtaista kodin seiniin ja moottoriteihin. (Betoniteollisuus ry 2019.)

2.3.1 Turvallisuus

Betoni on luja ja kantava rakenne. Siitä voidaan tehdä suurin osa kaikista rakennuksen osista aina betonipaaluista ja perustuksista seinä- ja kattorakenteisiin. Betonin käyttöikä voidaan suunnitella kullekin kohteelle halutuksi, ja betoni itsessään koko käyttöikänsä ajan on lähes huoltovapaa materiaali. Betonin suhteitusta muuttamalla ja korkealaatuisia raaka-aineita käyttämällä, betonista voidaan tehdä korkealujuusbetonia. Korkealujuusbetonin puristuslujuus vaihtelee 70-100Mpa välillä, kun taas normaalin betonin lujuus 30-60Mpa välillä. Korkealujuusbetoni mahdollistaa raskaammat rakenteet (esim. sillat ja pilvenpiirtäjät), mutta se myös mahdollistaa normaaleissa rakennuksissa rakenteiden kaventamista, joka tuo lisää tilaa hyötykäytettäväksi. (Betoniteollisuus ry 2020.)

Betonista ei irtoa vaarallisia aineita hengitysilmaan tai veteen. Sisätilojen erilaisina pintoina ja esineinä betonipinta voidaan jättää paljaaksi, niin ettei sitä päällystetä muilla aineilla piiloon. Suomesta löytyy myös paljon pihakaivoja, jotka on tehty betonisista kaivonrenkaista, koska se on turvallinen ja kestävä vaihtoehto niihin. (Betoniteollisuus ry 2020.)

Betoni itsessään ei pysty homehtumaan, mutta sen pinnalle voi muodostua homekasvustoa, jos ympäröivät olosuhteet sen mahdollistavat. Homeen kasvaessa betonipinnalle, homekasvusto on mekaanisesti putsattava ja sen jälkeen pinta käsitellään torjunta-aineella. (Putus 2010). Muihin materiaaleihin verrattuna betonin pinnan homehtuminen on helppo hoitaa, koska rakennetta ei tarvitse muuten korjata tai vaihtaa. Betonin kastuessa vedellä esimerkiksi vesivahingon yhteydessä, betoni on myös helppohoitoinen, koska se ei tarvitse muuta kuin kuivauksen, ja se on taas kunnossa, kun taas monet muut rakennusmateriaalit pitää

kokonaan uusia. Betoni voidaan myös valmistaa vedenpitäväksi, mikä mahdollistaa sen käyttämisen esimerkiksi erilaisissa altaissa. (Betoniteollisuus ry 2020.)

2.3.2 Eristävyys

Betoni eristää erittäin hyvin ääntä, ja onkin asuinrakentamisessa hyvä ratkaisu, koska asuntojen väliset betoniseinät yksinään pystyvät täyttämään ääneneristysvaatimukset ilman, että rakennetta joudutaan kasvattamaan järjettömän paksuiseksi. Väliseinien paksuusvaatimus ääneneristävyyden suhteen on 180mm. Betoniset välipohjat taas saadaan järkevillä paksuuksilla vaimentamaan tarpeeksi tehokkaasti askelääntä. Paikalla valetulla betonilaatalla ääneneristävyysvaatimukset saavutetaan 240mm paksuisena. (Betoniteollisuus ry 2020.)

Betonirakenteet tasaavat hyvin päivän lämpötilaeroja niin talvella kuin kesällä, ja näin säästävät energiankulutusta rakennuksessa. Päivällä aurinko, lämpimämpi ulkoilma, rakennuksen asukkaat ja kodinkoneiden hukkaenergia lämmittävät betonia ja lämpö sitoutuu rakenteisiin, josta se vapautuu viileämpään yöaikaan. Talvella tämä vähentää lämmitystarvetta, ja kesäisin vähentää viilennystarvetta. Kesäisin betonirakenteen massa myös pienentää lämpötilahuippujen vaikutusta sisäilman lämpötilaan. (Betoniteollisuus ry 2020.)

Betoni luokitellaan palonkestävyydessä parhaaseen A1-luokkaan. Betoni on tulipalotilanteissa hyvä, koska betonirakenne itsessään osastoi paloa, ja kestää kauan sortumatta ja sulamatta. Samalla betonirakenne myös estää savun pääsyn muihin palo-osastoihin, kunhan vain läpiviennitkin on tukittu asianmukaisesti. Betonin suuren massan takia kestää myös kauan, ennen kuin lämpötila viereisessä osastossa nousee vaaralliseksi. Betoni itsessään ei syty palamaan, joten betonirakenteet eivät lisää palokuorman määrää. Useissa tapauksissa betonirakenteissa talossa syttyvä palo pystytään rajaamaan siihen huoneistoon, josta tulipalo saa alkunsa. (Betoniteollisuus ry 2020.)

2.3.3 Muotoiltavuus

Betonia pystyy, sen raaka- ja lisäainekoostumusta säätämällä, muotoilemaan lähes minkälaisiin kuvioihin ja muotoihin vain (KUVA 3). Mitä hankalamman muotoista rakennetta haetaan, sen hankalammaksi sen suunnittelukin yleensä tulee. Betonin muotoilu muottien avulla tai käsin valuvaiheessa on helppoa, ja betoni omaksuu muottikalustonsa jäljen lähes täydellisesti (KUVA 4). Mitä enemmän yksityiskohtia muottikalustosta halutaan jäljentää valmiiseen betonipintaan, sitä tärkeämmäksi tulee betonimassan ominaisuudet, jotka mahdollistavat tämän. Jälkikäteen betonin kovettuttua muotoilu on erittäin hidasta ja kallista, joskin mahdollista. (Betoniteollisuus ry 2020.)



KUVA 3. Santiago Calatravan suunnittelema Auditorio de Tenerife (Designing buildings Ltd, 2019).



KUVA 4. Betoni omaksuu muottikaluston jäljen lähes täydellisesti (Consolis 2020).

2.3.4 Haasteelliset ominaisuudet

Lukuisten hyvien puolien lisäksi betonilla on myös muutama haasteellinen puoli. Betonin heikon vetolujuuden takia betonirakenne vaatii lähes poikkeuksetta aina raudituksen betonin sisään. Rauditus ottaa vastaan vetorasitusta, jota betoni itsessään ei suurissa määrin pysty tekemään. Raudituksen suunnittelu ja toteutus vie aikaa, minkä lisäksi rauditus materiaalina myös maksaa. Rauditus asennetaan ennen betonin valamista. Joissain tapauksissa ison osan raudituksesta pystyy korvaamaan kuiduilla, jotka sekoitetaan betonimassaan sitä valmis-

tettaessa (KUVA 5). Kuituja on usean tyyppisiä, ja ne parantavat lisäaineiden ta-
voin massan ja valmiin rakenteen ominaisuuksia. Teräskuidut ovat pituudeltaan
25-60mm. (Betoniteollisuus ry 2020; Rudus Oy 2020.)



KUVA 5. Betonin sekaan asennettavia teräskuituja (Rudus Oy 2020).

Betonimassa vaatii lähes aina, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta esim. ruiskubetoni, muotin mihin se valetaan. Muotti asennetaan raudoitusten ympärille tai raudoitukset asennetaan muotin sisään tai näitä tapoja soveltaen. Muottityöllä luodaan valmiin betonirakenteen muotokieli (KUVA 6). Muottivaihtoehtoja on monenlaisia aina alusta alkaen irtotavarasta tehdyistä, valmiisiin muottijärjestelmiin. Betonoitavaa aluetta ei tarvitse kokonaan ympäröidä muoteilla, jos betonoitava alue muuten rajautuu johonkin betonille soveliaaseen materiaaliin, joka on tuettu ja tarpeeksi luja kestämään valettavan betonin massan, esimerkiksi maan pinta, toinen betonirakenne tai maata vasten oleva lämmöneristyskerros. Muotin ja sen tuentojen pitää olla tarpeeksi lujia kestääkseen betonimassan aiheuttamat kuormitukset. Muottityöt vievät aikaa ja rahaa monella työmaan osalla; suunnittelu, logistiikka, ainekustannukset, rakentaminen ja purkaminen. Valettavan rakenteen saavuttaessa suunnitellun lujuuden muotit puretaan. Käytettävästä muottikalustosta riippuen, muotit joko putsataan jatkokäyttöä varten tai lajitellaan jätteiksi. (Ratu – Lautamuottityö 2012; Ratu – Kasetti- ja kupumuottityö 2012.)



KUVA 6. Valumuotti ja raudoitus (Rakennusliike Koivu Oy 2020).

Betonilla on vähäinen kutistumataipumus, tämän eliminoimiseksi valumassa vaatii runsaasti jälkihoitoa lähes kaikissa ilmasto-olosuhteissa. Betonirakenne voi myös epäonnistua dramaattisesti – jopa sortua – jälkihoidon ja etenkin työnaikaisen tuennan laiminlyöntien seurauksena. Betonin liian nopea kuivuminen ilmenee yleensä halkeamina, jotka lyhentävät betonin yleensä pitkää toiminnallista käyttöikää ja huoltovapautta. Tämä on vaarana varsinkin kuumalla ja tuulisella ilmalla. Lämpimässä, tuulisessa ja kuivassa ilmassa betoni vaatii kastelua, ettei kuivuminen tapahdu liian äkillisesti. Betonipinnan voi pitää kosteana monin eri tavoin esim. asentamalla valun päälle muovin, joka estää kosteuden haihtumisen pois betonipinnalta, tai ruiskuttamalla valun pinnalle varta vasten suunnitellun jälkihoitoaineen (KUVA 7). Kylmässä valettaessa betonin lujuuden kehitys hidastuu, joten betoni vaatii valamisen jälkeen lämmityksen järjestämisen. Lämmityksen voi toteuttaa monella tavalla esim. lämmityskaapeleilla ja suojapeitteillä. Betonia

voi myös tilata lämpökäsiteltynä eli lämmitettynä, jolloin varmistetaan alkulujuudenkehitys. Lämpökäsittely kuitenkin alentaa betonin loppulujuutta. Jos betoni pääsee jäätymään ennen kuin jäätymislujuus (60% nimellislujuudesta) on saavutettu, betonirakenne ei ikinä jatka lujuuden kehitystään ja rakenne on purettava turvallisuuden nimissä. (Ratu – Betonointi 2012; Ihanamäki ym. 2004.)



KUVA 7. Betonivalun peittäminen muovilla jälkihoitotoimenpiteenä (Rintawilla 2020).

Betoni on painavaa, mistä syystä iso osa teräsbetonirakenteen kantokyvystä menee oman massan kannattelemiseen. Tämän takia varsinkin korkeassa rakentamisessa kantavat pystyrakenteet ovat huomattavan suuria ja näin ollen vievät tilaa pois pinta-alasta. Vaakarakenteetkin joudutaan tekemään paksuiksi, mikä vaikuttaa huonekorkeuteen, ja tuo omat haasteensa talotekniikan asennuksille. (Betoniteollisuus ry 2020.)

Betonirakenteet vaativat kylmien ilmasto-olosuhteiden maissa, muun muassa Suomessa, lähes poikkeuksetta erillisen lämmöneristeen, betonin suuren lämmönjohtavuuden takia. Suomen Ympäristöministeriön asetuksen (Finlex 1010/2017) mukaiset lämmöneristysvaatimukset rakenteille ovat niin korkeita, että pelkän betonin käyttö eristävänä rakennekerroksena kasvattaisi paksuuden useiden kymmenien senttimetrien paksuiseksi.

2.4 Betonin käyttö työkohteessa

Työmaalle valmista betonimassaa voidaan tilata lukuisilta eri valmistajilta liki koko Suomen kattavasti. Betonimassa kuljetetaan työmaalle betoniautolla, jossa on sekoittajallinen kuljetussäiliö, ettei massa pääse kovettumaan kuljetuksen aikana. Betoniauto voi olla vain purkamiseen tarkoitettu tai jakelupuomilla/linjapumpulla varustettu pumppausauto (KUVA 8). Purkamiseen tarkoitettulla betoniautolla sen kuljettama betonimassa kaadetaan pumppausauton vastaanottosuppiloon tai betoninostoastiaan. Betoninnostoastia nostetaan nosturilla työkohteen ylle, jossa se puretaan. Betonipumppausautolla massa voidaan purkaa suoraan työkohteeseen auton varustelun ominaisuuksien mukaisesti. Riippuen betoniauton mallista, betonimassan kuormakoko on 4-12m³. (Ratu – Betonointi 2012.)



KUVA 8. Betonipumppausauto (Lujabetoni 2020).

Betonia pystyy valmistamaan työkohteessa myös paikan päällä betonimyllyllä ja käsityökaluin (KUVA 9). Suuria määriä betonimassaa ei kuitenkaan ole järkevää tehdä työmaalla, eikä pientä määrää ole järkevää tilata betonivalmistajalta. Väähäpätöisissä kohteissa Suomessa voi edelleen tuottaa massan työmaalla itse

mylläten. Varmuuskertoimet lujuusarvoissa ovat täten luonnollisesti tehdastuotetta suurempia. Lähtökohtaisesti betonitehtailta saadaan lujempaa betonia, ja halutut lisäaineet varmemmin suhteutetuiksi. (Finnsementti Oy 2020.)



KUVA 9. Betonimylly (Taloon.com 2020).

Betonia valaessa tulee olla asianmukaiset suojavarusteet päällä, sillä iholle pääsevä betonimassa voi nopeastikin aiheuttaa kemiallisen palovamman eli pysyvän vamman ihoon. Iholle ja vaatteiden alle päässyt betonimassa pitää heti pestä huolellisesti pois. Jos vaatteisiin imeytyy betonipitoista vettä, on ne vaihdettava heti pois päältä ja iho pestävä. Betoni on raskasta ainetta, noin 2500kg/m^3 eli 2,5 kertaa painavampaa kuin vesi. Sen kanssa työskennellessä on muistettava ergonomiset työasennot ja varovaisuus. Betonitöissä käytettävät työkalut pitää olla ergonomisia ja töihin suunniteltuja. Useat työmaan työkalut ja työvaiheet aiheuttavat ammattitauteja muun muassa: Tärinätauti, meluvamma ja rasitusvammat. (Ratu – Tuoreen betonin turvallinen käyttö 2010; Työterveyslaitos 2020.)

Betonimassa on syytä levittää suunniteltuun lopulliseen muotoonsa ja kokoonsa kerralla, sen ollessa työstettävässä muodossa. Kovettuneen betonin jälkikäsittely, varsinkin purkaminen, on hidasta ja kallista. Betonivalua ei tarkoituksella myöskään kannata jättää vajaaksi, sillä lisävalunkin tekeminen tuottaa omia lisätyövaiheita, ja sitä kautta lisääntyviä kustannuksia sekä aikatauluhaittoja.

Betonia voi normaalin valumassan lisäksi käyttää työmaalla monissa eri työmuodoissa esim. ruiskubetonointi, rappaus ja betonisaumaus. Kuhunkin menetelmään pitää kuitenkin olla omanlaiset, kyseiseen työhön suunnitellut betonimassat.

3 Valmisosarakentamisen historia suomessa

Valmisosat eli elementit ovat nykyaikainen tapa rakentaa, ja elementit ovat var-teenotettava vaihtoehto lähes kaikessa rakentamisessa ja kaikilla materiaaleilla. Elementit rakennetaan tehtaissa, mikä mahdollistaa ja parantaa useita asioita verrattuna paikallarakentamiseen. Tehtaissa on mahdollista rakentaa tuotteet va-kio-olutiloissa säältä suojassa. Tämä minimoi varsinkin homeen kasvamisen ra-kenteissa rakennusaikana esim. eristysvilloissa. Kaikki tuotteet on mahdollista rakentaa jo kauan ennen niiden asennustarvetta, joten betoni on varmasti saa-vuttanut tarvittavan lujuutensa, ja työmaalla asennusajankohtaa voidaan jopa ai-kaistaa muiden töiden niin salliessa. Työmaalla säästyy aikaa, koska elementit voidaan vain asentaa paikalleen, eikä tarvitse rakentaa paikalla erikseen muotti-kalustoa ja raudoituksia. Tehtailla saavutetaan suurempi työvauhti, koska beto-nielementtien muotit valetaan vaakatasossa, ja työvaiheet voidaan rytmittää niin, että kullakin työryhmällä on oma työvaiheensa esim. raudoittaminen. Tehtaalla elementtimuotteja voi olla kymmenittäin jonossa, joihin jokainen ryhmä tekee jär-jestyksessä omat työnsä. Tehtaalla saavutetaan myös parempi työturvallisuus koska työ tapahtuu maan tasossa ja tutussa vakioympäristössä. Laadunvarmis-tus on tehtaalla helpompaa, koska elementtimuotit ovat vaakatasossa, ja teh-taalla on lämpötilamittareita ja antureita. Tehtaalla hävikit ovat pienempiä, ja au-tomaatioita ja sarjavalmistusta hyödyntäen kustannukset saadaan pienemmiksi kuin paikalla rakentaen. (Betoniteollisuus ry 2019.)

Suomessa ensimmäinen kerran elementtirakentamista käytettiin vuonna 1952 valmistuneessa Hotelli Palacessa Helsingissä (KUVA 9). Talon arkkitehtuurinen ilme jäljitteli risteilylaivaa. Talon julkisivut tehtiin betonielementeistä, ja niitä oli 400 eri tyyppiä, yhteensä 6000m² edestä (Tehdään elementeistä, 2009). Ensimmäinen merkittävä kokonaisuudessaan elementeistä rakennettu talo oli vuonna 1957 valmistunut Helsingin yliopiston rakennus Porthania (KUVA 10). Ensimmäi-nen suomalainen elementeistä rakennu asuinalue on Helsingin Pihlajamäki. (Hy-tönen & Seppänen 2009.)



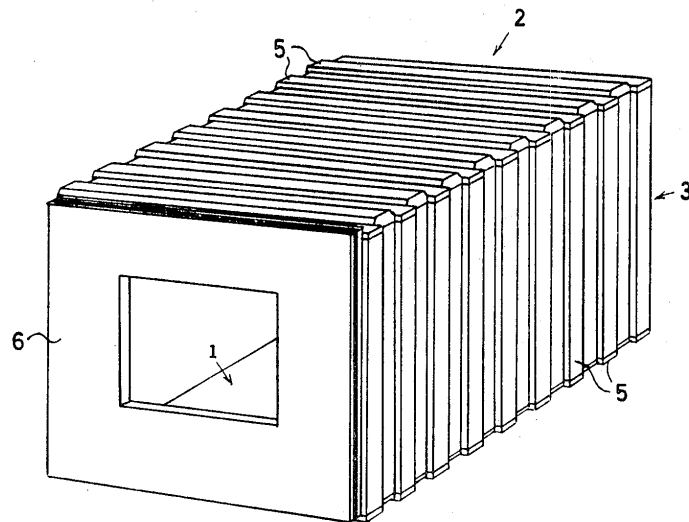
KUVA 9. Helsingin Hotelli Palace (Wikipedia 2020).



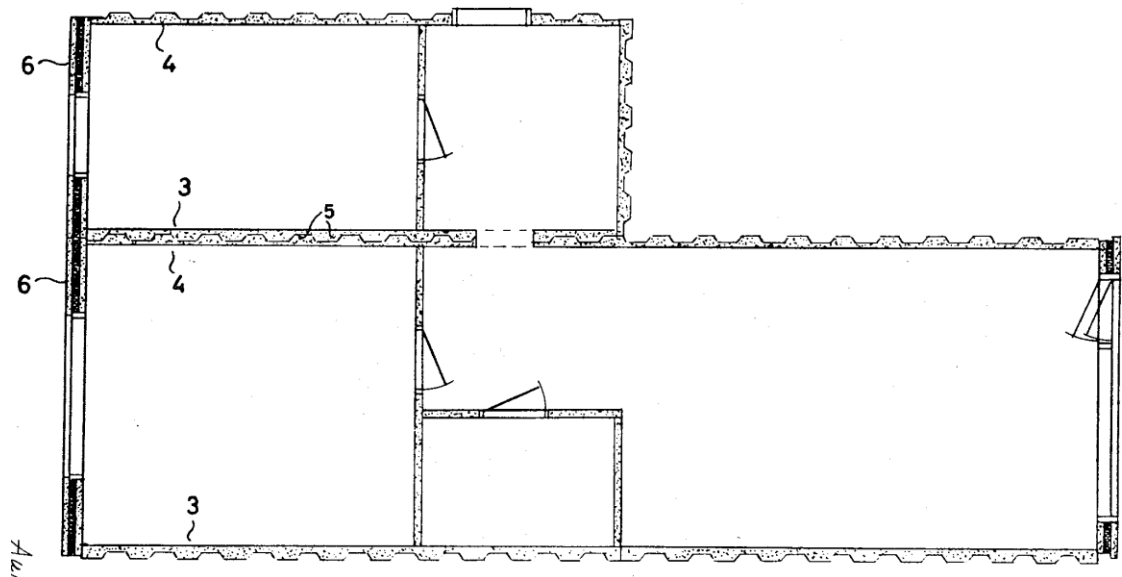
KUVA 10. Helsingin yliopiston Porthania (Finnish Architecture 2019).

1960-luvulla tamperelainen rakennusmestari Aulis Saarinen kehitti AUSA-tilaelementtijärjestelmän (KUVA 11). Yksi tilaelementti käsitti yksi tai kaksi huonetta seinineen, kattoineen ja aukkoineen. Näistä toteutettiin päällekkäin ja rinnakkain laitoen toimivaa liitostekniikkaa käyttäen jopa 7-8 -kerroksisia kerrostaloja (KUVA 12). Tilaelementit valmistettiin tehtaassa. Nopeus oli AUSA-elementtien valttikortti, mutta huonona puolena olivat isot rahtikustannukset. AUSA-elementtejä

viettiin Saksaan asti, mutta 1970-luvun puolivälissä yritys meni konkurssiin rahoitusvaikeuksien takia. Suomessa Tampereen Hakametsän jäähallin alueella on AUSA-elementeistä toteutettuja kerrostaloja useita. Kuljetushaasteet rajoittivat elementtien aktiivisen käytön Pirkanmaalle itä-Tampereella sijainneen tehtaan kohtuulliseen läheisyyteen. Konkurssin jälkeen patentit tuotteesta siirtyivät Lohjan Kalkkitehtaalle, ja elementtien nimeksi muutettiin Lohja Box Unit. Sen ainoksi isoksi tilaukseksi jäi kuitenkin kaivoskaupungin asuntojen rakentaminen Irakiin. (Hytönen & Seppänen 2009.)

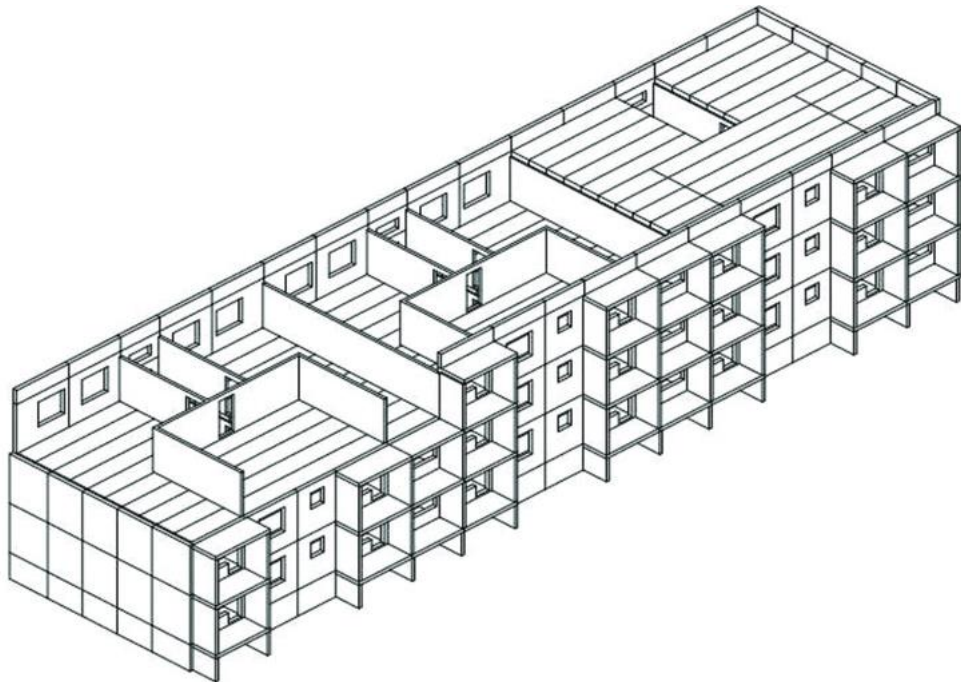


KUVA 11. AUSA-tilaelementti (Google Patents 2020).



KUVA 12. AUSA-tilaelementtien pohjaratkaisuesimerkki (Google Patents 2020).

Suomalaisten kaupunkien suuren asuntotarpeen myötä 1960-70-luvun vaihteessa kehitettiin suomalainen BES-järjestelmä eli Betonielementtistandardi-järjestelmä. ”Se perustui kantaviin pääty- ja väliseiniin, ei-kantaviin sandwich- ulko-seiniin ja välipohjina käytettäviin pitkälaattoihin. Parvekkeet olivat yleensä vapaasti perustuksilla seisovia torneja. Laattaelementteinä alettiin käyttää esijännitetyjä ontelo- ja kotelolaattoja.” (Elementtisuunnittelu.fi. 2020) (KUVA 13). Järjestelmä myös loi yhtenäiset elementtien liitosdetaljit, mikä mahdollisti useamman toimittajan elementtien käyttämisen samaan rakennukseen. Yhtenäiset liitosdetaljit helpottivat työnjohdon ja -tekijöiden työtä heidän siirtyessään uudelle työmaalle. Suomen 1970-luvun alkupuolen valtava rakennusbuumi ei olisi onnistunut ilman BES-järjestelmän luomista. Järjestelmä mahdollisti pohjaratkaisujen vapaan muokkaamisen, mutta tätä mahdollisuutta buumin aikana ei hyödynnetty kiireen ja valtion rahoituksen kustannussäästöjen seurauksena. ”BES-järjestelmän käyttöönotto teki Suomesta edelläkävijän avoimen elementtijärjestelmän käytössä” (Tehdään elementeistä, 2009). 1970-luvun alussa BES-järjestelmää täydennettiin pilari-laatta-systeemillä, joka on nykyisin hyvin suosittu toimitilojen rakentamisessa. BES-järjestelmää on aina tähän päivään saakka kehitetty, ja se on tänäkin päivänä käytössä. (Betoniteollisuus ry 2019; Hytönen & Seppänen 2009.)



KUVA 13. BES-järjestelmän mukainen kerrostalo (ResearchGate 2020).

4 Haitta-aineiden käyttökulttuuri ja historia Suomalaisessa rakentamisessa

Haitta-aineiden käyttö vanhaan aikaan ei ollut juuri mitenkään säädeltyä. Varsinkin maailmansotien aikaan ja jälkeen, taloja rakennettiin niillä aineilla mitä oli, ja useimmiten saatavuus ja hinta ratkaisivat materiaalivalinnan (Helsingin kaupunginosayhdistykset 2008). Suurten asuntokysynnän vuosina rakennetuissa taloissa on jopa eristeen sijasta laitettu sanomalehtiä toisarvoisiin rakenteisiin kuten talotekniikan eristyskoteloihin. Vasta myöhemmin alettiin kiinnittämään huomioita rakentamisen ja materiaalien terveysvaikutuksiin.

Vuonna 1978 Suomeen astui voimaan työterveyshuoltolaki, joka velvoitti kaikki työnantajat järjestämään työterveyshuoltoa. 1980-luvulla alettiin kiinnittämään huomiota työolojen turvallisuuteen ja vaarojen ennaltaehkäisyyn. (Rissanen 2012.) Vaikka rakennusala on tänäkin päivänä Suomen vaarallisimpien alojen kärkitilastoissa, on tapaturmat ja kuolemat vähentyneet runsaasti 1980-luvulta lähtien (Mölsä 2017.) Silti tänäkin päivänä jokainen tapaturma ja kuolema on liikaa. Rakennusalan tavoitteena on nolla tapaturmaa. Suomessa 1970-luvulla alettiin tunnistamaan rakentamisessa käytettyjä haitta-aineita terveydelle vaarallisiksi. Tähän päivään saakka on tutkittu ja tunnistettu uusia rakentamisessa käytettyjä haitta-aineita. Vaarallisten aineiden käyttämisestä on kielletty laissa, ja sallittujen haitta-ainepitoisuuksien raja-arvot ilmassa ja materiaaleissa ovat tiukentuneet vuosien saatossa. (Työsuojelu 2020.)

Haitta-ainesta puhuttaessa usealle tulee ensimmäisenä mieleen asbesti. Se on varmasti tunnetuin haitta-aineista, ja vielä tänäkin päivänä asbesti on eniten työperäisiä kuolemia aiheuttava aine. (Työterveyslaitos, 2018) Asbestia on käytetty suomalaisessa rakentamisessa 1920-luvulta vuoteen 1994. On hyvin todennäköistä, että jokainen tänä aikana rakennettu talo sisältää asbestia jossain muodossa. Asbestia sisältäviä taloja on rakennettu arvioiden mukaan 2,2 miljoona kappaletta pelkästään Suomessa. Hittituotteeksi asbesti pääsi edullisen hintansa ja lukuisten hyvien ominaisuuksiensa ansiosta. Asbestista voitiin valmistaa ra-

kennustuotteita lähes jokaiseen käyttötarkoitukseen työmailla. (Bestlab 2020; Siikanen 2014.) Suomessa on toiminut aikanaan Euroopan isoin asbestilouhimo (Wikipedia 2019).

5 Toksisuuslähteet

Betonin huokoisuuden takia on lukuisia aineita, jotka voivat imeytyä betoniin tai tarrautua niiden pintaan, niin että niistä on haittaa betonirakennetta purettaessa. Jäljempänä pureudutaan näihin.

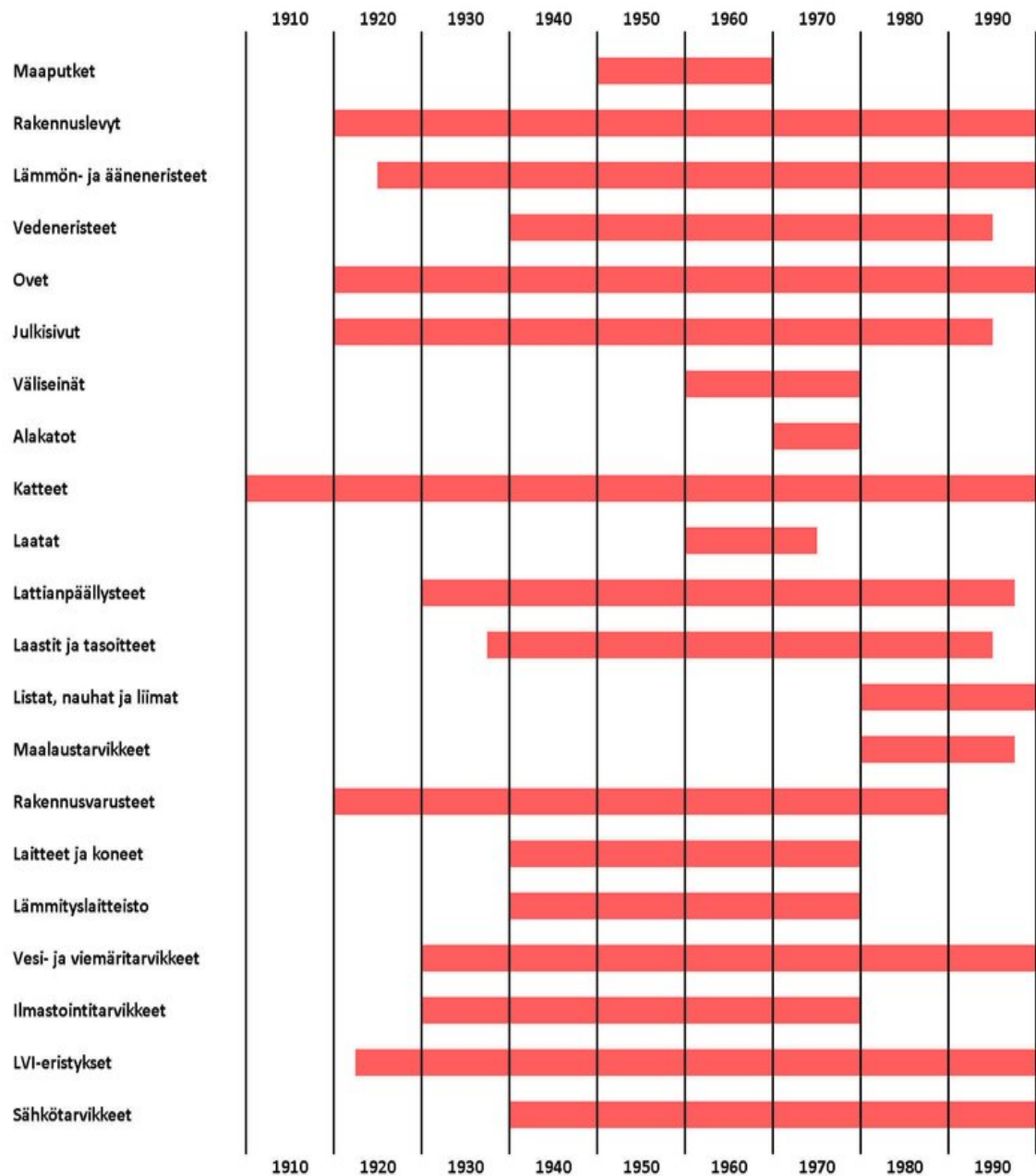
5.1 Asbesti

Asbesti on yleisnimitys kaikille silikaattimineraalikuiduille. Asbesti muodostuu neulamaisista, kiteisistä kuiduista, jotka tarrautuvat toisiinsa luoden lujan ja kestävän sidoksen (KUVA 14). Asbestikuidun pituus on noin 5-10 mikrometriä (μm) eli millin tuhannesosaa. Niiden näkeminen paljaalla silmällä on käytännössä mahdotonta. Asbesti on ihmiselle vaarallista hengitettynä, ja turvallista alistumistasoa ei ole. Asbestikuidun rakenteen takia ihmisen hengittämät kuidut eivät ikinä pysty poistumaan kehosta. Asbestilaatuja on useita erilaisia, joista jokainen aiheuttaa useita hengenvaarallisia sairauksia, ja asbesti onkin tupakansavun jälkeen eniten syöpää aiheuttava aine. Asbestin aiheuttamien tautien puhkeamisaika altistumisesta on pitkä, noin 10-40 vuotta. (Siikanen 2014.) Asbesti on Suomen Työterveyslaitoksen (2018) mukaan eniten työperäisiä kuolemia aiheuttava kemiallinen altiste.



KUVA 14. Asbestikuituja mikroskoopilla suurennettuna (Detair 2020).

Asbestia on käytetty maailmanlaajuisesti runsaasti rakennusteollisuudessa eri käyttötarkoituksiin. Suomalaisessa rakentamisessa asbestia käytettiin 1900-luvun alusta 1990-luvulle todella laajalti eri käyttökohteissa aina lattiasta kattoon, ja siltä väliltä (KUVA 15). Laajimmillaan käyttö oli 1960-1970 -lukujen vaihteessa. Arvioiden mukaan Suomessa on yli 2 miljoonaa kotia, jotka sisältävä asbestia jossain muodossa. Asbestin käytön yleisyys perustuu useisiin asbestin hyviin ominaisuuksiin mm. ääneneristävyys, palonkesto, lämmön- ja kosteudeneristävyys ja hyvä vetolujuus (Siikanen 2014).

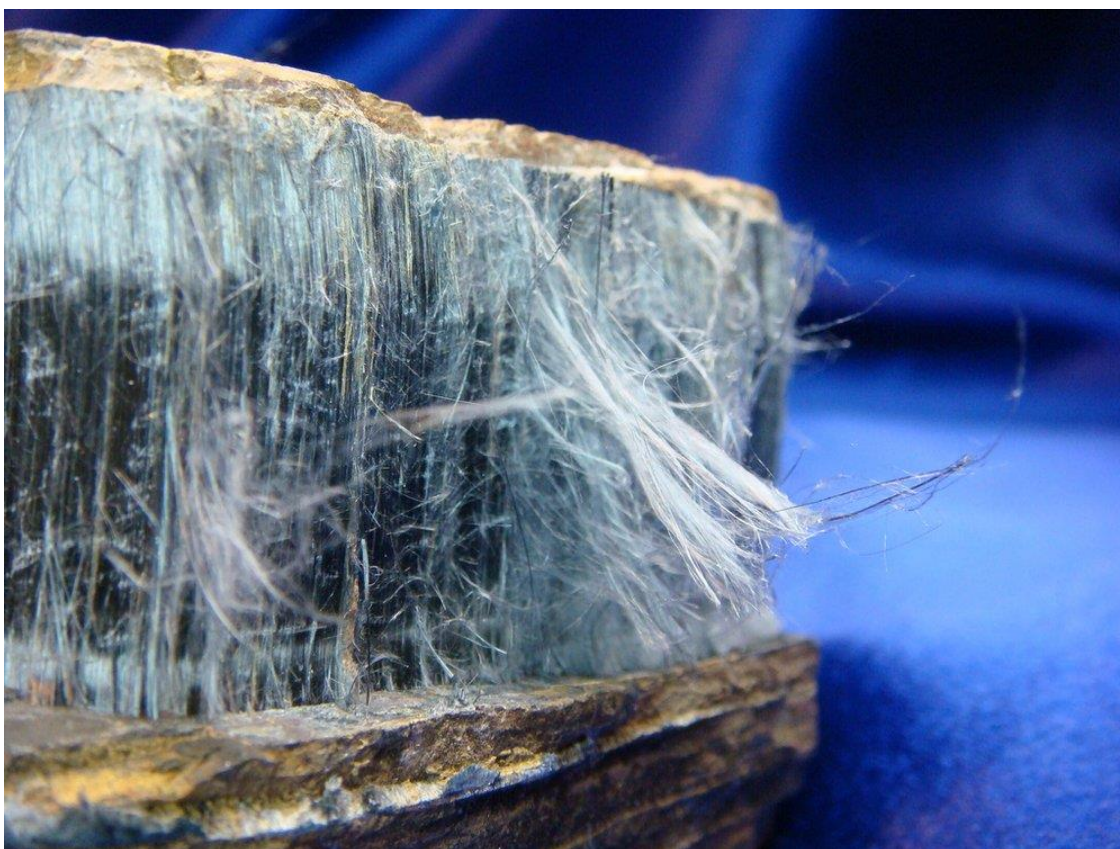


KUVA 15. Asbestipitoiset rakennustarvikkeet Suomessa vuosittain (K. Parila Oy 2020).

Asbestin purkutyöt tulivat luvanvaraisiksi Suomessa vuonna 1988, ja asbestin käyttö kokonaisuudessaan kiellettiin Suomessa vuonna 1994. Kaikista ennen vuotta 1994 valmistuneista taloista pitää tehdä asbestianalyysi ennen purkutöiden aloittamista. Analyysi suoritetaan purettavien rakenteiden osalta. (Bestlab 2020.)

Asbesteja on useita laatuja: Krysotiili (valkoinen asbesti), amosiitti (ruskea asbesti), krokidoliitti (sininen asbesti), aktinoliitti ja antofyliitti. Värinimityksensä jotkut asbestilaadut saavat niiden raaka-aineidensa väristä, mutta rakennusmateriaalin värin perusteella ei voi varmaksi tietää, mitä asbestilaatua materiaali sisältää. Ainoa tapa varmistua rakennusmateriaalin sisältämästä asbestilaadusta, on laboratoriokoe. (Siikanen 2014.)

Asbestilaaduista vaarallisin on krokidoliitti eli sininen asbesti (KUVA 16). Siitä irtoa enemmän kuituja massaansa nähden kuin muista asbestilaaduista (Siikanen 2014). Sitä käytettiin ruiskueristeenä sekä haponkestoa vaativissa kohteissa. Krokidoliitin terveyshaitat tiedostettiin ennen muita asbestilaatuja, ja sen käyttö kiellettiin Suomessa, kauan ennen muita asbestilaatuja, vuonna 1976. Tänä päivänä rakennuksen asbestikartoitusta tehdessä asbestilaadut ja määrät pitää eritellä mittauspöytäkirjoissa, ja krokidoliitin purkamiselle on muita asbestilaatuja tiukemmat purkamisehdot. (Finlex 2015).



KUVA 16. Krokidoliitti eli sininen asbesti (K. Parila Oy 2019).

5.2 PCB-yhdisteet

PCB-yhdisteet eli polyklooratut bifenyylit ovat orgaanisia yhdisteitä. Nämä yhdisteet voivat ihokosketuksessa läpäistä ihon, ja aiheuttaa ihmiselle hormoniitoiminnan muutoksia sekä syöpää. Kehoon päässeet yhdisteet kertyvät sinne, eivätkä poistu. PCB-yhdisteet ovat kestäviä sekä kosteuden- ja lämmönkestäviä, minkä takia niitä käytettiin laajalti erilaisissa rakennusmateriaaleissa. Purkaessa niitä ei saa päästää leviämään ympäristöön, sillä ne ovat rasvaliukoisia ja siirtyvät helposti maaperään ja eläinkuntaan, ja tätä kautta jopa ihmisille asti lihaa syödessä. (THL 2019.)

PCB-yhdisteitä on käytetty maaleissa, liimoissa, eristeissä, pinnoitteissa ja elastisissa saumausmassoissa. Saumausmassoja on käytetty muun muassa betonielementtisaumoissa, aukkosaumauksissa, ja lämpölasi-ikkunoissa profiililistojen ja lasin välissä. Mikäli saumamassa on päältä maalattu, on mahdollista, että se sisältää myös asbestia. PCB-yhdisteet siirtyvät viereisiin materiaaleihin, kun ne ovat keskinäisessä kosketuksessa toistensa kanssa. PCB-yhdisteitä saattaa valua elementtisaumoista myös rakennuksen viereiseen maaperään, ja pilata sitä. PCB-yhdisteitä sisältäviä maaleja käytettiin jopa rakennusten sisätiloissa mm. rappukäytävissä ja kellareissa. Aikanaan betoni lisäaineena saatettiin käyttää PCB-yhdisteitä sisältäviä aineita. Näiden aineiden käyttö usein nostaa betonin PCB-pitoisuuden niin korkeaksi, ettei sitä voi uusiokäyttää. Vanhojen sähkölaitteiden kondensaattoriöljyt sisältävät isolla todennäköisyydellä PCB-yhdisteitä. Näiden öljyjen valuessa pois laitteesta betonille, ne saastuttavat betonirakennetta. (Huttunen, Komulainen & Sääntti 2011.)

Maailmalla PCB-yhdisteitä sisältävien rakennustuotteiden myynti alkoi vuonna 1929. Niiden käyttö oli runsasta, ja niitä löytyi useista rakennusmateriaaleista. Tänä päivänä niiden käyttö useissa maissa on lailla kielletty. Suomessa PCB-yhdisteitä sisältävien rakennusmateriaalien käyttö lopetettiin pääosin 1970-luvulla, ja vuonna 1990 niiden valmistus ja maahantuonti kiellettiin (Työterveyslaitos 2020). PCB-yhdisteitä sisältävät sähkölaitteet tuli poistaa käytöstä vuoden 1994 kuluessa (Ympäristöministeriön muistio 2016, 3).

PCB-pitoisuudet tulee selvittää saumausmassoista rakennuksissa, jotka on rakennettu tai korjattu vuosina 1957-1979. Lämpölasi-ikkunoiden tiivistysmassojen PCB-pitoisuudet tulee selvittää ennen vuotta 1979 asennetuista ikkunoista. (Huttunen ym. 2011.)

5.3 Öljyhiilivety ja PAH-yhdisteet

Hiilivety on orgaaninen yhdiste, jota löytyy muun muassa öljystä ja bensiinistä. Hiilivety on karsinogeeninen eli syöpää aiheuttava aine. Varsinkin vanhoissa teollisuusrakennuksissa on hyvin todennäköistä, että hiilivetyä sisältäviä aineita on päässyt aikojen saatossa imeytymään betonirakenteisiin paljonkin. Useissa vanhoissa sähkölaitteissa, niiden kondensaattorit ovat sisältäneet öljyä, joka on saattanut valua betonirakenteisiin. Näin ollen asuinrakennuksistakin voi löytyä hiilivetyä. Hiilivedyn lisäksi kondensaattoriöljyt ovat sisältäneet raskasmetalleja ja PCB-yhdisteitä. Aikaisemmin betonirakentamisessa käytetyt muottiöljyt ovat olleet raakaöljyä, josta hiilivety on päässyt imeytymään betoniin jo rakennusvaiheessa. Nykypäivänä käytetyt muottiöljyt ovat kasvipohjaisia. Hiilivedyn päästessä betonirakenteeseen, se myös leviää hengitysilmaan tuottaen sisäilmahaittoja. Tämä aiheuttaa kalliita työvaiheita varsinkin muuttaessa vanhaa teollisuusrakennusta asuinkäyttöön. Jos kohteessa epäillään öljyvauriota, se pitää todentaa laboratoriotekokein. (Huttunen ym. 2011.)

PAH-yhdisteet (polysyklinen aromaattinen hiilivety) ovat orgaanisten aineiden epätäydellisen palamisen seurauksena syntyneitä tuotteita. Näitä yhdisteitä löytyy monista vanhoista rakennustarvikkeista. PAH-yhdisteet ovat hiilivedyn kaltoin karsinogeenisiä. Lisäksi PAH-yhdisteet aiheuttavat silmä- ja iho-oireita. (Aluehallintovirasto 2019.)

PAH-yhdisteitä sisältäviä aineita on käytetty laajalti talonrakentamisessa kosteuden- ja vedeneristämiseen liittyvissä tuotteissa 1890-1960 -luvulla. Näitä aineita on muun muassa kivihiilipiki, bitumipahvit- ja paperit, ja bitumisivelyt. Näitä rakennusmateriaaleja löytyy niin ulko- kuin sisätiloistakin. PAH-yhdisteitä löytyy lisäksi ainakin valuasfalteista, rakennuspahveista, maaleista, naruista sekä sähköjohtojen ja putkien eristeistä. Valuasfalttia on käytetty ylä-, ala- ja välipohjissa

sekä portaissa. Suomessa tiedetään tapauksia, joissa valuasfaltin sisältämät haitta-aineet ovat imeytyneet viereisiin betonirakenteisiin. Myös kyllästetty puu sisältää PAH-aineita, ja vanhoissa rakennuksissa on jossain määrin käytetty kylästettyä puuta muualla kuin asuinhuoneistoissa. (Huttunen ym. 2011.)

PAH-yhdisteitä sisältävien rakennusmateriaalien korjauskohteet ovat hankalia, sillä kaikkea PAH-yhdistettä ei saada usein pois, ellei koko rakennetta pureta. Usein korjauskohteissa joudutaan kapseloimaan PAH-yhdisteet niin, etteivät ne pääse leviämään hengitysilmaan. (Huttunen ym. 2011.)

5.4 Raskasmetallit

Lyijyä on käytetty saumausmassoissa, ja sen pitoisuudet tulee selvittää saumausmassojen osalta rakennuksissa, jotka on rakennettu tai korjattu vuosien 1957-1989 välisenä aikana. Jos näiden aikojen ulkopuolella olevissa rakennuksissa epäillään olevan käytetty lyijypohjaisia saumausmassoja, on niiden lyijypitoisuudet selvitettävä. Lyijyä on käytetty myös muovi- ja PVC-matoissa, valurautaputkien liitoksissa sekä jalka- ja potkulistoissa (KUVA 17). Sisämaaleissa lyijypigmenttien käyttö on kielletty Suomessa 1920-luvulla. Raskasmetalleja sisältäviä maaleja ja pinnoitteita saa käyttää nykyäänkin korkean kosteusrasituksen kohteissa, mutta ei sisätiloissa. (Huttunen ym. 2011; RT – haitta-ainetutkimus 2016.) Lyijylle altistuminen johtaa hermostomyrkytykseen, eli hermoston rapautumiseen, ja anemiaan (Terveyskirjasto 2014).

Lyijypitoisuudet tulee selvittää saumausmassojen osalta rakennuksissa, jotka on rakennettu tai peruskorjattu vuosina 1957-1989 (Huttunen ym. 2011).



KUVA 17. Valurautaputken liitoksessa lyjyä (RT – haitta-ainetutkimus 2016).

Kromia löytyy sementistä luonnostaan pieniä määriä vesiliukoisessa muodossa, mutta Euroopan parlamentti sääti vuonna 2006 sen pitoisuuksien rajoittamisesta. Raja-arvoksi asetettiin 2mg kuusiarvoista kromia / 1kg kuivaa sementtiä. Kromi on allergisoiva aine, se aiheuttaa astmaa ja jopa syöpää. (Työterveyslaitos 2020.)

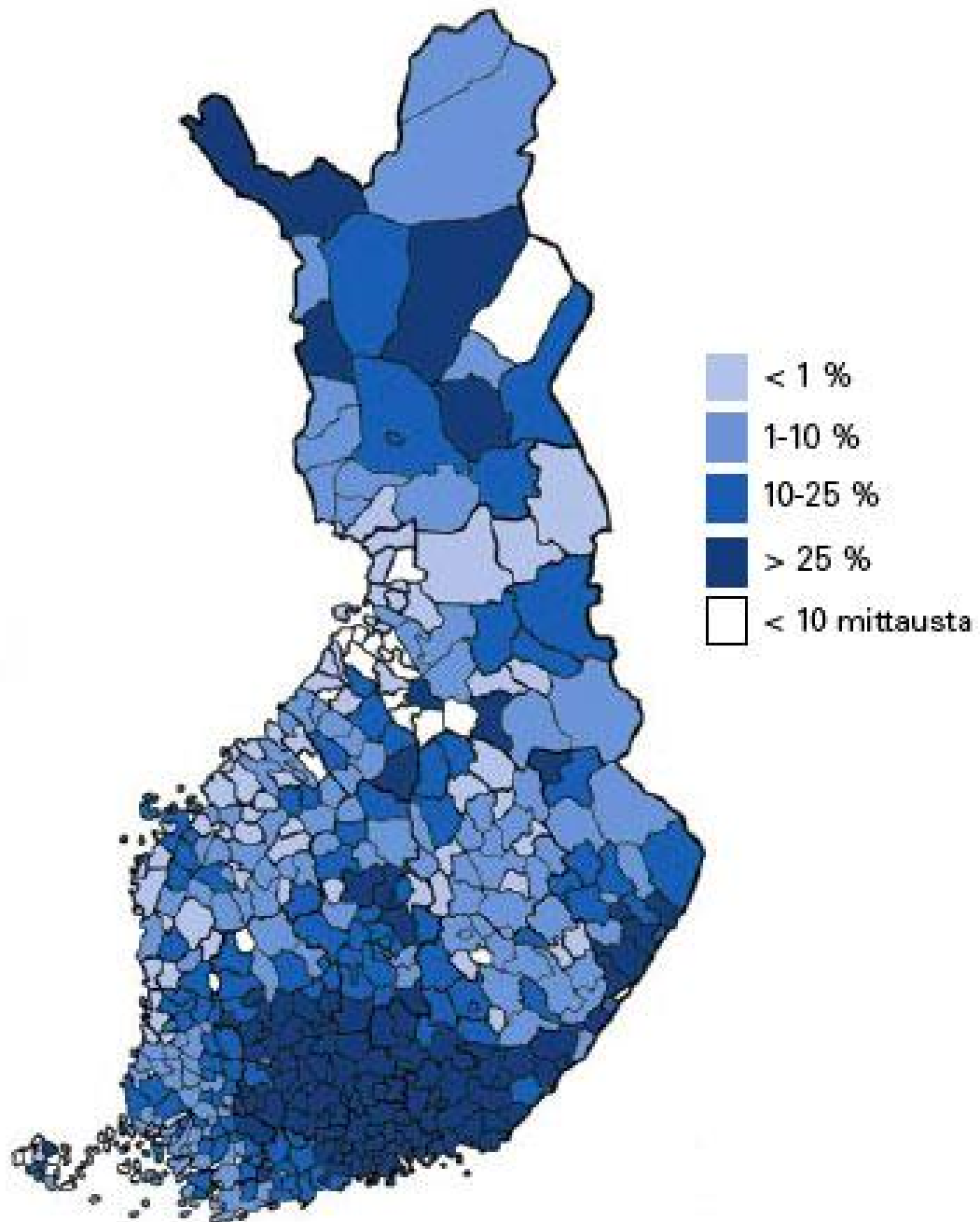
Raskasmetalleja on käytetty myös puun kyllästämiseen (Huttunen ym. 2011).

5.5 Säteily

Radon on radiumin hajoamisen tuloksena syntyvä jalokaasu. Se on hajuton, väritön ja mauton, eli ihmisaistein tunnistamattomissa. Radiumin hajoamista tapahtuu koko ajan kaikessa kiviaineksessa ja maankuoressa. Kaikki ihmiset joutuvat väistämättä kohtaamaan radonkaasua. Radonkaasu ei ole vaarallista pieninä annoksina, mutta suomalaisten kotien ja työpaikkojen sisäilmoissa sen pitoisuudesta on säädetty raja-arvot, jotka eivät saa ylittyä. Radonpitoisuuden mittaukset suoritetaan mittauspurkillä ja sen laboratoriotestillä. Radonpitoisen ilman jatkuva

hengittäminen lisää keuhkosityöpäriskiä. (Siikanen 2014; Säteilyturvakeskus 2020.)

Rakennusten sisälle radonkaasu pääsee maan kautta rakenteiden lävitse ja epä-jatkuvuuskohdista, rakennusmateriaaleista, ja joissain tapauksissa porakaivoveden myötä. Maaperän luovuttaman radonkaasun määrä vaihtelee alueellisesti (KUVA 17). Harju- ja sora-alueet ovat yleisesti radonpitoisempia kuin muut alueet. Suomessa radonpitoisuudet ovat korkeampia kuin useissa muissa maissa. Hyvin suunnitelluilla ja toteutetuilla rakenne- ja tuuletusratkaisuilla sisäilman radonpitoisuutta voidaan laskea merkittävästikin, muttei kokonaan poistaa. (Säteilyturvakeskus 2020.)



KUVA 17. Uusissa asunnoissa suoritettut mittaukset, joissa radonpitoisuus >200 Bq/m³ (Säteilyturvakeskus 2019).

Radonpitoisuutta mitataan radiumin hajoamisten lukumääränä kuutiossa ilmaa; Bq/m³. Yksikkönä on becquerel. Suomessa uudisrakennuksen sisäilman radonpitoisuus saa olla enintään 200 Bq/m³, ja vanhoissa rakennuksissa sekä vakituksissa työskentelytiloissa enintään 300 Bq/m³. (Säteilyturvakeskus 2020.) Suomalaisesta RT- kortistosta löytyy sisäilmastoluokkia, joissa radonpitoisuuden tavoitearvot ovat laissa säädettyä pienempiä.

Suomalaisessa betonissa raaka-aineena käytettävässä kiviaineksessa on luonnostaan radonpitoisuutta, joka nostattaa rakennuksen radonsäteilyä esim. verrattuna puurakenteiseen taloon. Puurakenteissa talossa, jossa on vain betonista rakennettu lattia, rakenteet tuottavat sisätiloihin noin 20 Bq/m³ radonia. Kaikkien kantavien rakenteiden (lattia, katto ja seinät) ollessa betonisia, rakenteiden aiheuttama radonpitoisuus on noin 70 Bq/m³. Betonista aiheutuvasta radonpitoisuudesta huolimatta kansallisiin tavoitearvoihin päästään myös kokobetonisella rakennuksella. (Säteilyturvakeskus 2020.)

5.6 Muut aineet

Ammoniakkia voi olla imeytyneenä betonirakenteisiin esimerkiksi maatalousrakennuksissa, joissa käsitellään lannoitetta, tai kasvatetaan eläimiä. Osassa lannoitteista on käytetty raaka-aineena ammoniakkia, ja eläinten virtsa sisältää ammoniakkia. Näiden aineiden imeytymisestä betoniin ei ole tutkimustietoa. Ammoniakin liian suuret pitoisuudet sisäilmassa aiheuttavat ihmiselle limakalvojen ärsytysoireita, hengenahdistusta ja astmaa. Sisäilmaan ammoniakin liikapitoisuus tuo pahan hajun. "...Sisäilman kohonneena ammoniakkipitoisuutena pidetään 40 µg/m³ (mikrogrammaa/kuutiometri)." (Hengitysliitto 2020). Kohonnut sisäilman ammoniakkipitoisuus voidaan ratkaista tuuletuksen lisäyksellä. Mikäli se ei toimi, joudutaan rakenteita purkamaan tai kapseloimaan. (Hengitysliitto 2020.)

Betoniin voi imeytyä päällysteinä käytettävien rakennusmateriaalien (esim. muovimattojen) liimojen ja kosteuden yhteisvaikutuksesta kemiallisia yhdisteitä. Helpon kemiallisten yhdisteiden imeytyminen betoniin estetään rakennusvaiheessa, antamalla betonirakenteen kuivua riittävästi ennen sen pinnoittamista. Kemiallisten yhdisteiden päästessä hengitysilmaan liian korkeina pitoisuuksina, ne voivat aiheuttaa mm. pahoinvointia, päänsärkyä, iho-oireita ja silmien kirvelyä. Asumisterveysasetuksen (STM 2015) mukaan kemiallisten yhdisteiden pitoisuus huoneilmassa ei saisi ylittää 400 µg/m³. Joillakin yksittäisille kemiallisille aineille on säädetty omat pitoisuusrajansa huoneilmassa.

Suolaista vettä voi imeytyä betoniin esim. merivesien lähellä ja tien suolauksen seurauksena autoteiden lähellä, jos betoni ei ole suunniteltu XS- tai XD-luokkaan

eli meriveden ja muun kuin meriveden kloridien aiheuttamaa korroosiota vastaan. Betonin valmistusvaiheessa käytetty suola lisää pakkasrasitusta sekä raudoituksen ruostumista, joten sen käytön välttäminen on suositeltavaa. Suolaa imeneen betonin uusiokäytöstä ei ole tehty tutkimuksia.

6 Toksisuuden kartoitus betonissa

Poralieriönäyte on paras tapa ottaa analysoitava koepala betonista (KUVA 18). Poralieriönäytteitä tulisi ottaa usealta kohdalta tutkittavaa rakennetta, ja mahdollisimman hyvin näytteenottokohdetta edustavasti. Toksisia aineita sisältävää betonia ei pysty aina tunnistamaan silmämääräisesti. Näytepalat pakastetaan mahdollisimman pian näytteenottamisen jälkeen, ja säilytetään siellä laboratoriotutkimuksiin asti. (RT – haitta-ainetutkimus 2016.)



KUVA 18. Poralieriönäyte betonista (Testing engineers 2020)

Muista betonin haitta-aineiden kartoittamisesta kerrotaan seuraavissa kappaleissa.

6.1 Asbesti

Asbestikartoituksen tarpeen määrittää kohteena olevan rakennuksen rakennusvuosi. Suomessa ennen vuotta 1994 valmistuneet rakennukset tulee kartoittaa asbestin varalta, jos kohteessa ollaan aloittamassa purkutöitä. Kohdetta ei saa automaattisesti suorittaa asbestipurkuna välttääkseen asbestikartoituksen, vaan se on aina tehtävä. Asbestikartoituksen tekijältä vaaditaan pätevyyttä asbestikartoituksen turvalliseen suorittamiseen – esimerkiksi VTT:n myöntämä AHA-pätevyys (asbesti- ja haitta-aineasiantuntija) – sekä kuulumista asbestipurkutyöhön pätevien henkilöiden rekisteriin. AHA-pätevyuden hakijalta ei vaadita mitään tiettyä tutkintoa tai koulutusta, vaan riittävää osaamista ja perehtymistä asbestiin sekä asbestikartoituksen toimenpiteisiin. (Finlex 2015; RT – Haitta-ainetutkimus 2016.)

Asbestikartoituksen teettäminen kuuluu kohteen rakennuttajan vastuulle. Tutkitavista pinnoista joudutaan irrottamaan kohtuullisen isojakoin paloja, jotta tuotteesta saadaan koko rakennetta edustava näyte (KUVA 18,19). Näytteenottamisen jälkeen näyte pakataan salpapussiin, ja viedään tutkittavaksi laboratorioon. Näyte tutkitaan laboratoriossa valo- tai elektronimikroskoopilla, jolla nähdään sisältääkö rakennenäyte asbestia. Näytteiden tutkimisen jälkeen kohteesta tehdään asbestikartoitusraportti, jossa eritellään löydetyt eri asbestilaadut sekä niiden pitoisuudet kussakin materiaaleissa. Mikäli näyte tai näytteet sisältävät asbestia, on purkutyö tehtävä asbestipurkuna, niiden rakenteiden osalta, jotka asbestia sisältävät. Jos laboratoriokokein ei saada varmuutta, että näyte ei sisällä asbestia, on työ tehtävä asbestipurkuna. (RT – Haitta-ainetutkimus.)



KUVA 18. Asbestinäytteitä erilaisista rakenteista. (Asbestikartoitus 2020).



KUVA 19. Betonilattian ja muovimatton välissä asbestipitoisia massakerroksia. (RT – Asbestikartoitus 2016).

Asbestikartoittajan tulee suojautua asianmukaisesti henkilökohtaisin suojavaarustein näytteitä ottaessaan. Tilojen ilmanvaihto on mahdollisuuksien mukaan kytkettävä pois toiminnasta näytteenoton ajaksi, ettei mahdolliset rakenteiden asbestikuidut pääse leviämään laajalle rakennukseen. Näytteenoton jälkeen rikutut pinnat tulee peittää niin, ettei mahdolliset kuidut pääse leviämään hengitysilmaan (KUVA 20). Suojauksen voi tehdä lähes kaikilla materiaaleilla, joilla saadaan tiivistettyä näytteenottoreikä piiloon. Näytteenottoreikien suoja ei saa poistaa ennen kuin rakenne on todettu vaarattomaksi, tai asbestin purkutyö alkaa. (RT – Asbestikartoitus 2016.)



KUVA 20. Näytteenottoreiän peittäminen (Asbesti.fi 2020).

6.2 PCB-yhdisteet

Ennen purkutöihin ryhtymistä kohteeseen tehdään haitta-ainetutkimus, jossa otetaan näytteitä rakenteista, jotka voivat sisältää haitta-aineita. Haitta-ainetutkimuksen jäljiltä suoritettujen laboratoriotestien jälkeen kohteesta tehdään haitta-ainetutkimusraportti, jossa eritellään löydetyt haitta-aineet. Raportissa otetaan kantaa, tarvitaanko jatkotutkimuksia, jos purkujätettä halutaan uusiokäyttää.

Maalipinnasta haitta-ainenäytettä kerätään noin 10g. Näyte kerätään maalihöylää käyttäen, ja pyritään välttämään ottamasta näytteen mukaan taustamateriaalia.

Liiallinen taustamateriaalin määrä näytteessä väärentää tuloksia. (RT – HAITTA-ainetutkimus 2016.)

Saumausmassoista otetaan näytepala mattoveitsellä ja/tai puukolla. Näytteet otetaan jokaisesta tutkimuksen kohteena olevasta rakennuksesta. Yhden rakennuksen osalta näytteet kerätään vähintään kolmelta eri julkisivulta, ja jokaista saumausmassatyyppiä edustaen. Näytteeseen otetaan mukaan kaikki mahdolliset saumausmassakerrokset (KUVA 21). Saumausmassasta leikatun näytteen pituus tulee olla noin 10cm pituinen. Työkaluna käytettävän puukon tai mattoveitsen terä puhdistetaan liuottimella jokaisen näytepalan ottamisen jälkeen, ettei seuraava näytepala kontaminoidu. (RT – HAITTA-ainetutkimus 2016.)



KUVA 21. Vanhaa PCB-pitoista saumausmassaa ei ole poistettu oikeaoppisesti kokonaan ennen uuden saumausmassan asentamista (RT – HAITTA-ainetutkimus 2016).

Jokainen näytepala suljetaan omaan erilliseen pakkaukseensa, ja viedään laboratoriotutkimukseen. PCB-yhdisteiden määrä ilmoitetaan tutkimustuloksena kiinteistä materiaaleista muodossa mg/kg. (RT – HAITTA-ainetutkimus 2016.)

6.3 Öljyhiilivety ja PAH-yhdisteet

Kuten edellisen kappaleen PCB-yhdisteitä, myös öljyhiilivetyä ja PAH-yhdisteitä kartoittaessa, kohteeseen tehdään haitta-ainetutkimus. Haitta-ainetutkimuksessa otetaan näytteitä mahdollisista öljyhiilivetyä ja PAH-yhdisteitä sisältävistä rakenteista. Näytteen tulee mahdollisimman hyvin edustaa kyseistä rakennetta. PAH-yhdisteiden olemassa oloa ei pysty tarkasti määrittämään aistienvaraisesti. (RT – Haitta-ainetutkimus 2016.)

Isolla osalla kiinteistä materiaaleista esim. rakennuspahvit ja bitumikatteet, PAH-yhdisteiden laboratoriotutkimukseen riittää 10cm x 10cm kokoine pala materiaalinäytettä. Maalia höylätään rakennepinnoilta näytteeksi noin 10 grammaa. Näytteet pakataan erikseen suljettuihin pakkauksiin, ja lähetetään laboratoriotutkimukseen. Kiinteistä aineista PAH-yhdisteiden määrä ilmoitetaan muodossa mg/kg näytettä. (RT – Haitta-ainetutkimus 2016.)



KUVA 22. Näytettä varten avattu bitumikate (RT – Haitta-ainetutkimus 2016).

PAH-yhdisteet voivat päästä myös rakennuksen sisäilmaan saastuneen pinnan kautta. PAH-pitoisuuksia mitataan ilmamäärästä. Tutkittavaan tilaan laitetaan pumppu, joka imee tilassa olevaa ilmaa, ja PAH-yhdisteet kerääntyvät näyteputkeen. Putken sisältö tutkitaan laboratoriossa. Laboratoriossa näyte uutetaan liuottimella, ja siitä tutkitaan 16 PAH-yhdistettä. Ilmassa PAH-yhdisteiden pitoisuudet ilmoitetaan muodossa $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (RT – Haitta-ainetutkimus 2016.)

6.4 Raskasmetallit

Lyijyä mahdollisesti sisältävistä rakenteista esim. maalit ja saumausmassa, otetaan näytteet samaan tapaan kuin edellä mainituista haitta-aineista. Lyijyn pitoisuudet tutkitaan laboratoriossa. Lyijyn pitoisuudet materiaaleissa ilmoitetaan muodossa mg/kg näytettä. (RT – Haitta-ainetutkimus 2016.)

7 Haasteet purkaessa

Betonia mekaanisesti käsitellessä esim. poratessa, piikatessa ja murskatessa sen rikkoutumisesta syntyy kvartsipölyä, joka on peräisin runkoaineena käytettävistä kaikenkokoisista kiviaineksista. Kvartsipölyn pienimmät hiukkaset ovat ihmiselle vaarallisimpia, sillä ne kulkeutuvat hengityksen mukana keuhkoihin asti. Kvartsipöly todettiin karsinogeeniseksi kansainvälisen tutkimusryhmän IARC:n toimesta vuonna 1997. Keuhkosityövän lisäksi kvartsipöly voi aiheuttaa muitakin keuhko- ja hengityssairauksia. Kvartsipölylle altistuminen tapahtuu pitkällä aikavälillä, ja tautien ilmeneminen tapahtuu vasta jopa 10 vuoden päästä pitkäaikaisen altistumisen jälkeen. (Linnainmaa, Oikarinen, Oksa & Sauni 2008.)

Kvartsipöly aiheuttaa sairauksia pääosin pitkäaikaisten altistumisten kautta. Kvartsipölylle altistumisen voi estää helpolla tavalla; pitämällä hengityssuojainta kasvoilla pölyävien työvaiheiden aikana. Mikäli kvartsipölylle altistuu jatkuvasti pitkiä aikoja, kannattaa työskennellessä käyttää moottoroitua hengityssuojainta varustettuna P3-luokan suodattimella. (Linnainmaa ym. 2008.)

7.1 Asbesti

Vaarallisuutensa vuoksi asbestille on asetettu suomalaisessa lainsäädännössä muita haitta-aineita tiukemmat vaatimukset purkumenetelmien suhteen. Asbesti on ainoa haitta-aine, jonka purkamisesta tulee tehdä ilmoitus työsuojeluviranomaiselle. (Työsuojelu 2020.)

Asbestipurku tulee aina suorittaa niin, ettei asbestikuidut pääse leviämään ympäristöön eikä rakennuksen sisällä muihin tiloihin. Asbestipurku voidaan toteuttaa usealla erilaisella työtavalla, joista jokainen on suunniteltu niin, että asbestikuitujen leviäminen estetään (KUVA 23). Osastointimenetelmä on päätyötapa, mutta muita tapoja voidaan käyttää, jos ne soveltuvat paremmin purettavan materiaalin ominaisuuksille esim. koko, sijainti ja pölyävyys (krokidoliitilla käytettävä aina osastointimenetelmää). Asbestipurkutyötä suorittaessa purkutiloihin saa mennä

ainoastaan purkutyölle välttämättömät henkilöt. Ulkopuolisia ei saa päästää asbestipurkutyötiloihin, ja tilat pitää varustaa varoituskyltein. (Finlex 2015.)

Asbestipurkutyö voidaan suorittaa:

- 1) osastointimenetelmällä siten, että purkutyö tehdään altistumisalueella, joka on ilmastollisesti erotettu muusta työympäristöstä,
- 2) purkupussimenetelmällä siten, että pienikokoinen asbestia sisältävä rakenne tai tekninen järjestelmä eristetään ja alipaineistetaan muusta ilmatilasta erikoisvalmisteisella purkupussilla, jonka sisälle rakenne tai tekninen järjestelmä puretaan ja jolla purkujäte siirretään pois purkukohteesta,
- 3) kokonaisuutena irrottamalla siten, että asbestia sisältävä rakenne- tai laiteosa irrotetaan rakenteesta kokonaisuutena ja irrotettu osa kuljetetaan pois peitettynä pölyn leviämisen estävällä materiaalilla,
- 4) upotusmenetelmällä siten, että asbestia sisältävä irrotettu rakenne- ja laiteosa upotetaan pölyämisen estämiseksi altaaseen, jossa asbesti poistetaan,
- 5) märkäpurkuna siten, että asbestia sisältävä rakenne kastellaan perusteellisesti pölyämisen estämiseksi ennen purkua taikka siten, että asbestia sisältävä julkisivupinnoite poistetaan märkähiekkapuhalluksena,
- 6) muulla kuin 1-5 kohdassa tarkoitettulla teknisen kehityksen mahdollistamalla menetelmällä, jolla saavutetaan vastaava turvallisuustaso.

Krokidoliittia purettaessa on käytettävä aina 2 momentin 1 kohdassa tarkoitettua osastointimenetelmää.

KUVA 23. Asbestipurkutyön menetelmät (Finlex, 2015).



KUVA 24. Osastointimenetelmä (RT – Asbestipurkutyön suunnittelu 2016).

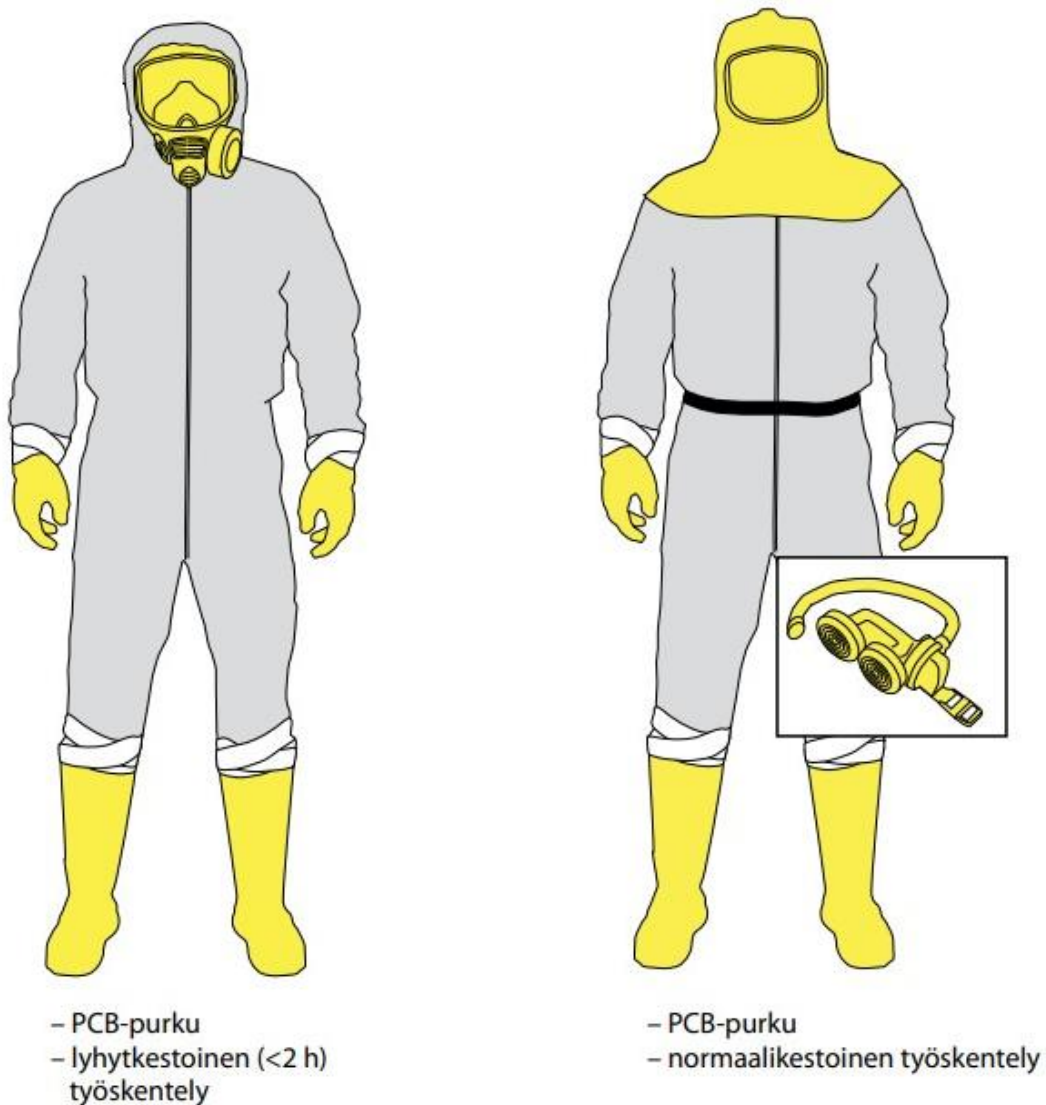
Asbestipurkua suorittavien työntekijöiden henkilökohtaisille suojaimille on tarkat vaatimukset. Mitään osaa kehosta ei saa jättää paljaaksi. Hengitys- ja silmäsuojaimet tulee olla CE-merkittyjä. Hengityssuojain pitää olla kunkin purkutyömenetelmän vaatimukset täyttävä. Työntekijöiden tulee käyttää kertakäyttöisiä pöytä läpäisemättömiä haalareita sekä kumisaappaita. Haalareissa ei saa olla taskuja tai muita pölyä kerääviä taitteita, ja saappaat pitää olla sileäpintaiset. Hanskat tulee olla kertakäyttöisiä. Kertakäyttöiset suojaimet hävitetään asbestijätteenä. (RT – Asbestipurkutyön suunnittelu 2016.)

Asbestipurkutyön valmistuttua tilat siivotaan, ja tilojen hengitysilmosta pitää mitata asbestipitoisuus ennen osastointien purkamista. Sallittu pitoisuus ilmassa on 0,01 kuitua/cm³. Pinnat tarkastetaan, ettei niihin ole laskeutunut asbestipitoista pölyä. (RT – Asbestipurkutyön suunnittelu 2016.)

Asbestin ilmeneminen purettavissa rakenteissa muuttaa purkutyön luonnetta oleellisesti, ja nostaa kustannuksia sekä hidastaa työn etenemistä normaalin purkamiseen verrattuna.

7.2 PCB-yhdisteet

PCB-yhdisteitä sisältäviä saumausmassoja purkaessa täytyy työkohte eristää tarkasti ympäristöstä. Purkamista lähellä olevat rakennuksen aukot teipataan ilmatiiviiksi, maaperä ja oleskelualueet suojataan peitteillä, ja kulkureitit suojataan putoavilta purkujätteiltä ja pölyltä. Purkutyöalueesta ilmoitetaan varoituskilvin ja ulkopuolisten pääsy estetään alueelle. Käytettävät työkalut varustetaan kohdepoistolla, ja tarvittaessa alueelle järjestetään alipaineistus. Työntekijöillä tulee olla samanlainen henkilökohtainen suojaus kuin asbestitöissä (KUVA 25). Kertakäyttöiset suojaimet hävitetään PCB-jätteenä. (Ratu – PCB- ja lyijypurku 2011.)



KUVA 25. PCB-purkamisen henkilökohtainen suojarustus (Ratu – PCB- ja lyijypurku 2011).

Saumausmassat pitää poistaa tarkasti kaikkien saumauserrosten osalta. Saumausmassan haitta-aineet imeytyvät betoniin, joten saumojen reunat pitää hioa kulmahiomakoneella, että kaikesta haitta-aineesta päästään eroon. Irrotetut saumausmassat tulee sulkea asianmukaiseen jätesakkiin heti irrotuksen jälkeen. Jätesäkit säilötään täyttymisen jälkeen suljettavaan jäteastiaan, joka merkitään selkeästi: ”Sisältää terveydelle vaarallista ainetta, PCB:tä ja lyijyä.” -teipein” (RT 82-0382, 2011). Purkutöiden päätyttyä kaikki purkutöissä käytetyt välineet ja telineet puhdistetaan mikrosuodattimella varustetulla pölynimurilla. (Ratu – PCB- ja lyijypurku 2011.)

Sisätiloissa sijaitsevia PCB-pitoisia materiaaleja purettaessa purkukohde osastoidaan omaksi tilakseen. Osaston ilmaa puhdistetaan HEPA-suodattimilla varustetuilla ilmanpuhdistimilla. Tiloissa olevat ilmanvaihtolaitteet ja aukot peitetään teipein ja muovein. Työalue merkitään selkeästi ja sinne pääsy estetään. Jätteet lajitellaan ilmatiiviisiin säkkeihin, jotka viedään suljettavalle jätelavalle. (Ratu – PCB- ja lyijypurku 2011.)

7.3 Öljyhiilivety ja PAH-yhdisteet

Kivihiilipikeä sisältäviä materiaaleja purattaessa sisätiloissa samat ohjeistukset kuin PCB-purussa. Ulkotiloissa maaperä suojataan peittein. Osastointia ei tarvita ulkotiloissa. Ajan saatossa PAH-yhdisteet suodattuvat muovin läpi, joten jätesäkkejä ei saa jättää edes osastoituu purkutilaan työvuoroa pitemmäksi ajaksi. Jätesäkit merkitään selvästi tekstein: ”Kivihiilipikijätettä – terveydelle vaarallista”. Jätesäkit lajitellaan suljettavaan jäteastiaan, johon osastoinnin tapaan järjestetään alipaineistus, ja jätteet kastellaan pölyämisen estämiseksi. (Ratu – Kivihiilipikipurku 2011.)

Työntekijöiden henkilökohtaisena suojauksena on sama kuin PCB-yhdisteitä purettaessa. Kertakäyttöiset suojaimet hävitetään kivihiilipiki-jätteenä. (Ratu – Kivihiilipikipurku 2011.)

Purkutyön jälkeen työvälineet imuroidaan, tilojen pinnat imuroidaan kahdesti, ja tilat pestään vedellä. Pinnoille ei saa jäädä silmännähtävää pölyä. Tarvittaessa tilan puhtaus todistetaan näytteillä ennen osastoinnin purkamista. (Ratu – Kivihii-
lipikipurku 2011.)

7.4 Raskasmetallit

Lyijyä sisältävien saumausmassojen purkaminen tapahtuu samoilla ohjeistuksilla kuin PCB-yhdisteitä sisältävien saumausmassojen purkaminen. Sisätilojen purkutyöt samalla tavoin kuin PCB-yhdisteitä sisältävissä materiaaleissa. (Ratu – PCB- ja lyijypurku 2011.)

8 Ongelmajätteen määrittely ja käsittely

8.1 Asbesti

Materiaali luokitellaan asbestipitoiseksi, jos siinä on asbestia 1% kokonaispainosta, tai se on pölyävää (Siikanen 2014). Asbestijäte suljetaan ilmatiiviisiin pakkauksiin, joilla suljetaan pois mahdollinen asbestipölyn leviäminen ympäristöön. Pakkausten ulkopinnat puhdistetaan ennen niiden tuomista osastoidun tilan ulkopuolelle. Asbestijätettä sisältävät pakkaukset merkitään asianmukaisesti ja selkeästi (KUVA 26). Pakkauksen tulee olla niin kestävä, ettei se rikoontu missään käsittelyn vaiheessa esim. lasikuitusäkki. Pakkaukset sijoitetaan lukittavaan jäteastiaan. Asbestijäte kuljetaan erillään muusta jätteestä. Asbestijättekuljetuksesta on ilmoitettava etukäteen kunnalle sekä vastaanottavalle kaatopaikalle. (Ratu – Asbestipurku 2009.)



KUVA 26. Asbestijätteen merkitseminen (Turvakauppa.com 2020).

8.2 PCB-yhdisteet

PCB-yhdisteitä sisältävä jäte luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi, jos materiaali sisältää yli 50mg PCB:tä / kg materiaalia, eli PCB-pitoisuus on yli 0,005%. Jätteet säilytetään omilla jättesäkeissään, suljettavalle jätelavalle sijoitettuna. Purkutyön päätyttyä jätteet toimitetaan ongelmajätelaitokseen. PCB-pitoisen jätteen kuljetaminen hoidetaan vaarallisten aineiden kuljetussääntöjen mukaisesti. Kuljetuksesta laaditaan siirtoasiakirja. (Ratu – PCB- ja lyijypurku 2011.)

8.3 Öljyhiilivety ja PAH-yhdisteet

PAH-yhdisteitä sisältävien materiaalien PAH-pitoisuuden ollessa yli 40mg/kg jäte toimitetaan ongelmajätelaitokselle. Jätteet kuljetetaan suljettavassa jätetekontissa. Jätteen vastaanottavalle ongelmajätelaitokselle ilmoitetaan kuljetuksesta etukäteen. (Finlex 2013.)

Öljyhiilivedyn raja-arvo purkujätteessä on 1000mg/kg (Koskela 2017).

8.4 Raskasmetallit

Purkujätteen lyijypitoisuuden ollessa yli 10mg/kg, se tulee käsitellä vaarallisena jätteenä. (Finlex 2013). Lyijypitoisen jätteen käsittelyyn pätee samat ohjeistukset kuin PCB-jätteelle (Ratu – PCB- ja lyijypurku 2011).

Elohopeapitoinen jäte käsitellään vaarallisena jätteenä, jos materiaali sisältää yli 0,2mg elohopeaa / kg. Kromipitoisen jätteen raja-arvo on 10mg/kg. (Finlex 2013.)

9 Uusiokäyttö

”Betonisen purkujätteen uudelleenkäytön ja kaatopaikkakelpoisuuden arvioinnin kannalta betoninäytteestä tulee analysoida mineraaliöljyjakeiden C10–C40 pitoisuus, PCB(7)-yhdistepitoisuudet, PAH(16)-yhdistepitoisuudet, arseenin, kadmiumin, kromin, kuparin, lyijyn sekä seleenin pitoisuudet. Liukoisuudet tulee selvittää liukoiselle orgaaniselle hiilelle (DOC), antimonille, arseenille, bariumille, kadmiumille, kromille, kuparille, elohopealle, lyijylle, molybdeenille, nikkelille, vanadiinille, sinkille ja seleenille sekä fluorideille, sulfaateille ja klorideille. Näytteelle tulee määrittää fenoli-indeksi, liuenneiden aineiden kokonaispitoisuus, pH ja happon neutralointikapasiteetti.” (RT – Haitta-ainetutkimus 2016.)

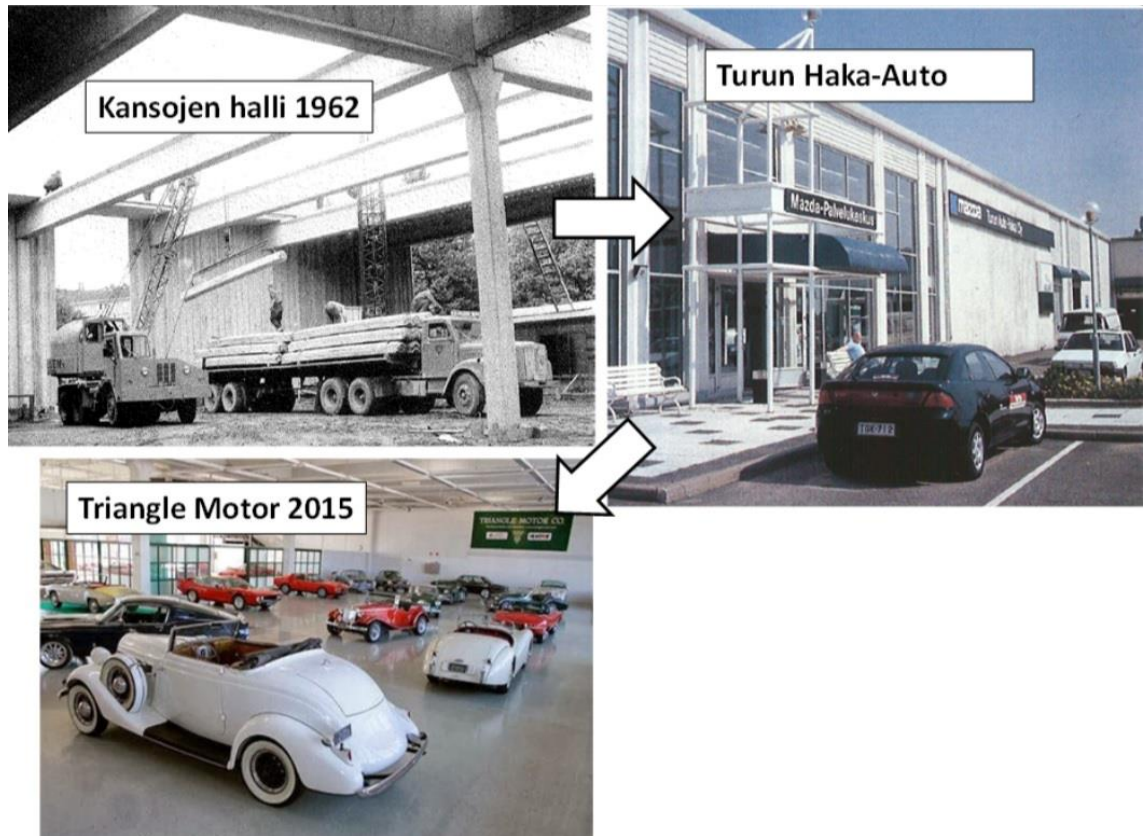
Jos purettavalla betonipinnalla on myrkyllisinä pidettyjä ja säädeltyjä haitta-aineita, ne pitäisi poistaa betonipinnasta mekaanisesti ennen kuin rakenne murskataan. Mekaanisen poiston jälkeen tulisi suorittaa näytteenotto, ja tutkia näyte laboratoriossa varmistaen, että purettava betonirakenne on haitta-aineista vapaa. Tämän jälkeen rakenne voitaisiin murskata uusiokäyttöä varten. (Finlex 2017.)

Murskausvaiheessa tulisi välttää kaiken ylimääräisen aineksen, esim. puun, roskien ja muovin, pääsemistä murskattavan betonin joukkoon. Murskeen sekaan joutuvat ylimääräiset aineet haittaavat betonin uudelleenkäyttöä esim. heikentävät tartuntaa betonissa. (Ihanamäki ym. 2004.)

”Murskattu betoni voidaan käyttää joko murskeena tienrakentamisessa tai uuden betonin valmistuksessa. Mikäli betonin valmistuksessa käytetään murskattua betonia enintään noin 20 % kiviaineksen kokonaismäärästä, säilyvät betonin ominaisuudet lähes samoina normaalikiviaineksilla tehtyyn betoniin verrattuna.” (Betoniteollisuus ry 2020.) Betonin kierrätysaste on noin 80%, mikä on erittäin korkea osuus lukuisiin muihin materiaaleihin verrattuna.

Betonirakenteita voidaan uusiokäyttää myös poistamalla purettavasta rakennuksesta elementit (seinät, pilarit ym.) kokonaisina ja ehjinä, ja siirtämällä ne uuteen kohteeseen vastavalmistettujen elementtien tapaan (KUVA 27). Kokonaisia elementtejä uusiokäyttämällä säästetään betonin valmistuksen päästöissä sekä

raaka-aineissa. Paikoiltaan irrotetut betonielementit ovat heti valmiita koottavaksi uuteen kohteeseen, kunhan vain ne ovat ehjäksi todettuja. Murskaamalla suoritettuun raaka-aineiden uusiokäyttöön verrattuna kokonaisten elementtien uusiokäyttö on huomattavasti nopeampi prosessi. (Betoniteollisuus ry 2020.)



KUVA 27. Elementtien uusiokäyttöä (Betoniteollisuus ry 2020).

10 Pohdinta

Suomessa on koko maan kattavat lait, säännökset ja ohjeistukset, mikä helpottaa kansallisen työohjeen laatimista, koska lait eivät poikkea alueittain esimerkiksi maakunnittain. Toki Suomessa on alueellisia eroja siinä, miten tietyt työt ja työvaiheet on totuttu tekemään, mutta joka paikassa kautta maan täytyy silti suorittaa työ vallitsevien lakien, ohjeiden ja säännösten mukaisesti. Tästä syystä tämän työohjeen noudattaminen koko Suomessa on mahdollista.

Suomen lähihistoriassa on käytetty paljon rakennusmateriaaleja, jotka sisältävät aineita, jotka nykyisin tiedostetaan ja luokitellaan haitta-aineiksi. Haitta-aineista pelkästään asbestia löytyy tänä päivänä arviolta yli kahdesta miljoonasta suomalaisesta kodista. Haitta-aineet täytyy ottaa huomioon rakennusta ja rakenteita purkaessa ja varsinkin uusiokäyttäessä. Haitta-aineita sisältäviä rakennuksia on suuri määrä, ja koko ajan osa rakennuksista saavuttaa iän, jolloin niitä joko remontoidaan tai puretaan. Tästä syystä haitta-aineiden turvallinen purkaminen ja käsittely pitää olla hyvin ohjeistettua ja laajassa tiedossa. Jo pienikin altistus haitta-aineille, joko työntekijän tai rakennuksen käyttäjän roolissa, voi aiheuttaa vakavia terveyshaittoja. Terveyshaitat voivat ilmentyä heti tai vasta vuosikymmenien päästä. Uusikäytön näkökulmasta haitta-aineiden poisto on erittäin tärkeää, etteivät haitta-aineet kulje kierrätetyn betonin kautta uusiin rakennuksiin.

LÄHTEET

Aluehallintovirasto. 2019. PAH-yhdisteitä sisältävät rakennusmateriaalit huomioidava purkukohteissa. Luettu 4.2.2020. <https://www.avi.fi/web/avi/-/pah-yhdisteita-sisaltavat-rakennusmateriaalit-huomioitava-purkukohteissa>

Asbesti.fi. 2020. Asbestikartoitus. Luettu 6.2.2020. <https://www.asbesti.fi/asbestikartoitus-ja-hinta/>

Asbestikartoitus. 2020. Asbesti – Käyttötarkoitukset ja poistaminen. Luettu 6.2.2020. <https://asbestikartoitus.info/asbesti/>

Bestlab. 2020. Asbesti. Luettu 6.2.2020. <https://www.bestlab.fi/asbesti/>

Betoniteollisuus Ry. 2019. Betoni rakennusmateriaalina. Luettu 24.11.2019. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/>

Betoniteollisuus ry. 2019. Elementtirakentamisen historia. Luettu 30.12.2019. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentamisen/elementtirakentamisen-historia>

Betoniteollisuus ry. 2020. Sininen väribetoni. Luettu 17.1.2020. <https://betoni.com/arkkitehtisuunnittelu/arkkitehtisuunnittelu/betonipinnat/varilliset-betonipinnat/>

Consolis. 2019. Muotobetoni Inventor Wins the Ornamo Award. Luettu 1.2.2020. <https://www.consolis.com/muotobetoni-inventor-wins-ornamo-prize/>

Designing Buildings Ltd. 2019. Auditorio de Tenerife. Luettu 30.12.2019. https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Auditorio_de_Tenerife

Detair. 2020. Tietoa asbestista. Luettu 3.2.2020. <http://www.detair.fi/tietoa-asbestista/>

Finnish Architecture. 2020. Helsinki University Porthania Building. Luettu 30.12.2019. <https://navi.finnisharchitecture.fi/helsinki-university-porthania-building/>

Finnsementti Oy. 2019. Arvo Nykänen, talven taitaja ja suhteituksen isä. Luettu 22.12.2019. <https://finnsementti.fi/yritys/historia/arvo-nykanen-talven-taitaja-ja-suhteituksen-isa/>

Finnsementti Oy. 2020. Tietoa betonista pienrakentajalle ja rautakauppiaille. Luettu 1.2.2020. <https://finnsementti.fi/palvelut/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaille/>

Google Patents. 2020. Aulis Saarinen Prefabricated building elements. Luettu 2.2.2020. <https://patents.google.com/patent/US3468081>

Helka – Helsingin kaupunginosayhdistykset ry. 2008. Jälleenrakentaminen, romantiikka ja rationalismi. Luettu 2.2.2020. <https://helka.net/rakennukset-kertovat-nettiversio/2286-6-jlleenrakentaminen-romantiikka-ja-rationalismi>

Hengitysliitto. 2020. Ammoniakki. Luettu 5.2.2020. <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/kaasumaiset-epapuhtau-det/ammoniakki>

Huttunen J., Komulainen J. & Sääntti J. 2011. Haitalliset aineet rakennuksissa ja niiden hallinta. Luettu 2.1.2020. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110305.pdf>

Hytönen, Y., Seppänen, M. 2009. Tehdään elementeistä – Suomalaisen betonielementtirakentamisen historia. Helsinki: SBK-säätiö.

Ihanamäki, J., Rajala, R., Uusitalo, J. & Vallin, O. 2004. Betonityöt BY 205. 6.painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

IndustryAbout, Worldwide Industrial Information. 2019. World – Cement Industry Map. Luettu 22.12.2019. <https://www.industryabout.com/world-cement-industry-map>

Insinööritoimisto K. Parila Oy. 2018. Asbestin historia Suomessa – tiesitkö näitä asioita? Luettu 3.2.2020 <https://kariparila.fi/contact/raksatuntija/suomenasbesti.html>

Insinööritoimisto K. Parila Oy. 2019. Mitä asbesti on? Luettu 4.2.2020. <https://kariparila.fi/asbestikartoitus/asbesti.html>

Koskela S. 2017. Öljyhiilivetyjen ja PAH-yhdisteiden huomioiminen teollisuuskiinteistön käyttötarkoituksen muutoksessa. Luettu 7.2.2020. <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/rateko/rta-seminaarit/rta-2/oljyhiilivetyjen-ja-pah-yhdisteiden-huomioiminen-teollisuuskiinteiston-kayttotarkoituksen-muutoksessa.pdf>

Linnainmaa M., Oikarinen H., Oksa P. & Sauni M. 2008. Kvartsipöly – Edelleen ajankohtainen ongelma työelämässä. Luettu 7.2.2020. https://www.ebm-guidelines.com/dtk/shk/avaa?p_artikkeli=ttl00525

Lujabetoni. 2016. Lujabetonin betonipumppausauto. Luettu 1.2.2020. https://www.lujabetoni.fi/tuotteet/valmisbetonit/tyomaapalvelut/lb-auto-pumi_02b_p/

Putus, T. 2010. Home ja terveys – Kosteusvauriohomeiden ja hiivojen terveyshaitat. Pori: Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy.

Rakennuslehti. 2017. Rakennustyömaat ovat 50 vuodessa muuttuneet sotatantereista siisteiksi ja monikansallisiksi työpaikoiksi. Luettu 4.2.2020. <https://www.rakennuslehti.fi/2017/01/rakennustyomaat-ovat-50-vuodessa-muuttuneet-sotatantereista-siisteiksi-ja-monikansallisiksi-tyopaikoiksi/>

Rakennusliike Koivu Oy. 2017. Rivitalon perustukset. Luettu 1.2.2020. <https://rakennusliikekoivu.com/referenssit/rivitalon-perustukset-vantaa/>

Rakennusteollisuus. 2010. Ratu TT 8.23 – Tuoreen betonin turvallinen käyttö.

Rakennustieto Oy. 2009. Ratu 82-0347 – Asbestia sisältävien rakenteiden purku. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2011 Ratu 82-0381 – Kivihiihkipikettä sisältävien rakenteiden purku. Osastointimenetelmä. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2011. Ratu 82-0382 – PCB:tä tai lyijyä sisältävien saumausmassojen purku. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2012. Ratu 0397 – Lautamuottityö. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2012. Ratu 0399 – Kasetti- ja kupumuottityö. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2012. Ratu 0403 – Betonointi. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2016. RT 18-11244 Haitta-ainetutkimus – Tilaajan ohje. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2016. RT 18-11245 Haitta-ainetutkimus – rakennustuotteet ja rakenteet. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2016. RT 18-11247 – Asbestikartoitus, tutkimusmenetelmä. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. 2016. RT 18-11248 – Asbestikartoitukseen perustuva purkutyon suunnittelu ja toimenpiteet kiinteistössä. Helsinki: Rakennustieto Oy.

ResearchGate GmbH. 2020. BES System. Luettu 2.2.2020. https://www.researchgate.net/figure/BES-system-Main-differences-to-the-large-panel-system-Figure-2-are-the-long-spanning_fig26_308968368

Rissanen T. 2012. Työterveyshuollon toiminta ja kehitys työterveyshoitajan näkökulmasta Suomessa 1980-, 1990- ja 2000-luvuilla. Luettu 4.2.2020. https://epublications.uef.fi/pub/urn_nbn_fi_uef-20120164/urn_nbn_fi_uef-20120164.pdf

Rudus Oy. 2020. Teräskuitubetonit. Luettu 1.2.2020. <https://www.rudus.fi/tuotteet/betoni/kuitubetonit/5799/teraskuitubetonit>

Semtu. 2019. Betonin lisäaineet. Luettu 30.12.2019. <https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/betonin-lisaaaineet>

Siikanen U. 2014. Rakennusfysiikka – Perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Suomen betonitieto Oy. 1998. Julkisivu 2000 – Betonijulkisivujen materiaali- ja valmistustekniikka. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.

Säteilyturvakeskus. 2019. Onko kodissasi radonia? Luettu 5.2.2020. <https://www.stuk.fi/web/selkosivut/onko-kodissasi-radonia>

Säteilyturvakeskus. 2020. Radon. Luettu 6.2.2020. <https://www.stuk.fi/aiheet/radon>

Taloon.com. 2020. Betonimyly Esko. Luettu 13.2.2020. <https://www.taloon.com/betonimyly-esko-30-100-170-230v-170-l>

Terveiden ja hyvinvoinnin laitos – THL. 2019. Dioksiinit ja PCB-yhdisteet. Luettu 5.2.2020. <https://thl.fi/fi/web/ymparistoverveys/ymparistomyrkyt/dioksiinit-ja-pcb-yhdisteet>

Terveyskirjasto Duodecim. 2014. Vieläkö raskasmetalleista on ongelmia? Luettu 5.2.2020. https://www.terveyskirjasto.fi/kotisivut/tk.koti?p_artikkeli=asy00220

Testing engineers. 2020. Establishing Concrete Strengths with Core Tests at 85%. Luettu 10.2.2020. http://www.testing-engineers.com/faq_conc.html

Turvakauppa.com 2020. Opasteet ja kilvet – Asbesti. Luettu 7.2.2020. <https://www.turvakauppa.com/asbestijuttu-plyn-hengittminen-vaarallista-tk-051-125>

Työsuojelu. 2020. Asbesti. Luettu 6.2.2020. <https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/rakennusala/asbesti>

Työterveyslaitos. 2018. Asbestikartoitus ja näytteenotto vaativat asiantunte-
musta. Luettu 5.1.2020. https://www.ttl.fi/asbestikartoitus_mediassa/

Työterveyslaitos. 2020. Ammattitaudit. Luettu 2.2.2020. <https://www.ttl.fi/tyontekija/ammattitaudit/>

Työterveyslaitos. 2020. PCB ilmassa, rakennusmateriaaleissa ja pinnoilla. Luettu 4.2.2020 <https://www.ttl.fi/service-document/pcb-ilmassa-rakennusmateriaaleissa-ja-pinnoilla/>

Valtioneuvoston asetus asbestityön turvallisuudesta 25.6.2015.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maanrakentamisessa 7.12.2017

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 2.5.2013.

Wikipedia. 2019. Paakkilan kaivos. Luettu 6.2.2020. https://fi.wikipedia.org/wiki/Paakkilan_kaivos

Wikipedia. 2019. Pantheon (Rooma). Luettu 24.11.2019. [https://fi.wikipedia.org/wiki/Pantheon_\(Rooma\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Pantheon_(Rooma))

Wikipedia. 2020. Teollisuuskeskus – Hotelli Palace. Luettu 2.2.2020.
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Teollisuuskeskus>

Wordpress. 2014. Rintawilla – Tarina kivitaloprojektista Espooseen. Luettu 1.2.2020. <https://brickwing.wordpress.com/2014/08/20/elamyslattiavalu-vai-lattiavaluelamys/>

Ympäristöministeriö. 2016. Muistio PCB-laitteistoista. Luettu 4.2.2020

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 20.12.2017.