

Annamaria Puumala

**SANDWICH-ELEMENTTIEN
UUDELLEENHYÖDYNTÄMINEN**
Jälleenkäytön mahdollistavat tekijät
uudisrakentamisessa

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tapio Kaasalainen
Huhtikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Annamaria Puumala: Sandwich-elementtien uudelleenhyödyntäminen: Jälleenkäytön mahdollistavat tekijät uudisrakentamisessa (The reusability of sandwich-panels: Factors that enable reusability in new construction)

Tampereen yliopisto
Arkkitehtuurin TkK-tutkinto-ohjelma
Kandidaatintyö
Huhtikuu 2022

Ilmastonmuutoksen myötä kierrättämisen tärkeys korostuu yhteiskunnassa enenevässä määrin. Kiertotalouden osuutta halutaan kasvattaa rakennusteollisuudessa, koska sen avulla voidaan säästää materiaaleja ja hillitä ilmastonlämpenemistä. Kiertotalouden suuntaan ohjaavat erilaiset lait ja määräykset, jotka kannustavat mahdollisimman tehokkaaseen kierrättämiseen ja jätteen uudelleenkäyttöön. Betoni on yksi yleisimpiä rakennusteollisuuden materiaaleja ja sen hiilijalanjälki on suuri. Suurin osa siitä muodostuu betonin valmistusvaiheessa, minkä takia uudelleenkäyttämällä betonielementtejä voidaan pienentää betonin valmistuksessa syntyviä päästöjä.

1960- ja 1970-luvuilla Suomessa rakennettiin valtava määrä betonielementtikerrostaloja vastaamaan kysyntään, kun muuttoliike maaseudulta kaupunkeihin kiihtyi. Tuotanto haluttiin luoda mahdollisimman tehokkaaksi ja taloudelliseksi, jolloin kehitettiin suomalainen BES eli Betonielementtistandardi. Se yhtenäisti eri valmistajien tuotantoa ja mahdollisti eri valmistajien tuotteiden yhteensopivuuden. Julkisivuissa käytettiin sandwich-elementtejä, joissa seinän rakenteet ja muut rakenneosat, kuten ikkunat, ovat valmiina. Suomessa nykyään käytettävät elementit perustuvat BES-järjestelmään ja julkisivuja toteutetaan edelleen sandwich-rakenteisina.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan sandwich-elementtien uudelleenkäyttöön vaikuttavia tekijöitä sekä niiden tuomia haasteita ja mahdollisuuksia kirjallisuuskatsauksen muodossa. Suomessa julkisivut ovat jatkuvasti alttiina sään rasitusolosuhteille, mikä aiheuttaa niissä turmeltumista. Vaurioiden esiintyminen sandwich-elementeissä ei välttämättä estä niiden uudelleenkäyttöä, koska korjausvaihtoehtoja on monenlaisia eritasoisille ja erilaisille vaurioille. Vaurioiden lisäksi keskeinen haaste sandwich-elementtien uudelleenkäytössä on niiden purkaminen vanhasta rakennuksesta. Tähän liittyen tutkimusta on vielä melko vähän, mutta paras lopputulos saavutetaan toistaiseksi piikkausrobotin avulla.

Sandwich-elementin rakenteelliset ominaisuudet, kuten kantavuus, rajoittavat sen mahdollisuuksia uudelleenkäytössä. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että rakenteellisesti tarkasteltuna vanhoja elementtejä voidaan käyttää vastaavissa käyttötarkoituksissa kuin missä niitä on ennen käytetty. Useimmissa tapauksissa sandwich-elementin lämmöneristävyyttä on kuitenkin parannettava vastaamaan nykypäivän määräyksiä. Elementit ovat kuitenkin melko vapaasti muokattavissa korjausvaihtoehtojen yhteydessä, sekä betonin kantavuuden ansiosta niitä voidaan pilkkoa vapaasti erilaisiin muotoihin. Suurin rajoite arkkitehtisuunnitteluun liittyen on vanhojen elementtien mahdollistama 2500 mm huonekorkeus.

Avainsanat: sandwich-elementti, kiertotalous, uudelleenkäyttö, betoni, ehjänä purkaminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1.JOHDANTO	1
2.SANDWICH-ELEMENTTI	4
2.1 Sandwich-rakenne.....	5
2.2 Yleisimmät vauriot	7
2.2.1 Betonin karbonatisoituminen.....	8
2.2.2 Raudoitteiden korroosio	9
2.2.3 Rapautuminen.....	10
2.2.4 Kosteusrasitus	12
3.PURKAMINEN	13
3.1 Purkamiseen liittyvät määräykset.....	13
3.2 Purkutavan valinta.....	14
4.UUDELLEENKÄYTTÖ	17
4.1 Huomioitava ennen uudelleenkäyttöä	17
4.2 Vaurioiden korjaaminen.....	17
4.3 Uudelleenkäytön suunnittelu	19
5.YHTEENVETO	21
LÄHTEET.....	23
KUVALÄHTEET	25

1. JOHDANTO

Kun rakennuksia puretaan ja korjataan, rakenneosien kierrätyksen merkitys korostuu. Suomen rakennuskannasta 70 % on rakennettu vuoden 1960 jälkeen. Rakennuksia puretaan melko nuorina: 2000-luvulla purettujen asuinrakennusten keski-ikä on ollut 58 vuotta ja muiden rakennusten 43 vuotta. (Lahdensivu et al. 2015, 8.) EU:n jätepuitedirektiivi (2008/98/EY) asetti 11 artiklassa tavoitteeksi rakennus- ja purkujätteelle 70 % kierrätys- ja uudelleenkäyttötavoitteen painossa mitattuna 2020 mennessä. EU:n 2018/85 direktiivissä jätepuitedirektiivin muokkauksesta (2008/98/EY) todetaan, että kyseistä tavoitetta on kiristettävä, jotta se ilmentäisi paremmin unionin halua siirtyä kiertotalouteen. Rakennus- ja purkujätteestä noin 70 % on arvioitu olevan betonia (Perälä & Nippala 1998, Huuhka 2010, 8 mukaan). Betonilla on suuri hiilijalanjälki, joka muodostuu pääosin sen valmistusvaiheessa. Se on verrattain nuori materiaali, jonka osuus purkujätteessä tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Tämän takia betonin kierrättäminen on tulevaisuudessa olennaista, jotta siitä aiheutuvia päästöjä voidaan hillitä. Uudelleenkäyttämällä betonisia elementtejä ilmaston lämpenemispotentiaalia voitaisiin vähentää 98 % verrattuna uusiorunkoainebetonin hiilijalanjälkeen (Asam 2006, 3).

1960- ja 1970-luvuilla muuttoliike maaseudulta kaupunkeihin nopeutui, mikä aiheutti kiivaan rakentamistahdin. Kaupunkien laitaseuduille rakennettiin kerrostalovaltaisia aluerakentamiskokonaisuuksia vastaamaan kysyntään. Nopean tahdin takia rakentamisessa painotettiin määrällisten tavoitteiden täyttymistä, minkä takia pyrittiin pitkälle vietyyn sarjatuotantoon. (Neuvonen 2006, 142.) Tehokkaan sarjatuotannon mahdollistamiseksi kehitettiin suomalainen BES eli Betonielementtistandardi. BES kehitettiin korvaamaan elementtirakentamisessa suurlevyjärjestelmä, jotta asuntojen tuottaminen samoilla resursseilla olisi nopeampaa, tehokkaampaa ja taloudellisempaa. BES merkitsi myös mitoituksen yhdenmukaistamista ja liitosten standardisointia. Tämä mahdollisti yhteensopivuusongelmien minimoimisen ja tuotteiden tilaamisen usealta eri valmistajalta. (Huuhka 2010, 70.) Rakenneosien yhtenäistäminen mahdollisti myös niiden valmistamisen varastoon, jolloin suunnittelu ja rakentaminen voitiin tehdä niitä hyödyntäen (Tulla 1995, 18). BES:n seurauksena elementtirakentaminen yleistyi elementtien korkean esivalmistusasteen vuoksi. (Neuvonen 2006, 142.) 1970-luvulla rakennettiin kymmeniä tuhansia ele-

menttikerrostaloja, jotka tarjoavat suuren materiaalipankin ajatellen elementtien uudelleenkäyttöä. BES:n päämääränä oli myös siirtojoustavuuden tutkiminen, mikä kuitenkin jäi taloudellisuuden takia. (Huuhka 2010, 60, 70.)

Betoni on raskas ja rakentamisessa laajalti käytetty materiaali, jonka valmistukseen kuuluu paljon energiaa. Tyypillisen kolmelamellisen, kolmikerroksisen BES-elementtikerrostalon elementtien valmistamiseen kuluu energiaa 2 485 830 MJ, mikä vastaa 72 sähkölämmitteisen omakotitalon lämmittämistä vuoden ajan ja hiilidioksidipäästöt ovat 246 075 kg, mikä vastaa 1 400 000 kilometrin ajamista henkilöautolla. Näin ollen uudelleenkäytön hyödyt liittyvät etenkin energian säästämiseen ja päästöjen vähentämiseen. Muita olennaisia hyötyjä kierrättämisessä ovat jätteen synnyn ehkäiseminen ja raaka-aineen säästäminen. Kun elementti hyödynnetään kokonaisuutena, betonin arvo ei laske ja siihen käytetyt resurssit kuten käytetty energia, raaka-aine ja työ, eivät mene hukkaan. (Huuhka 2010, 58–59.)

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan tekijöitä, jotka vaikuttavat sandwich-elementtien uudelleenkäyttöön uudisrakentamisessa. Tähän liittyen työssä tarkastellaan, millaisia haasteita tähän aiheeseen liittyy ja mitkä tekijät tukevat sandwich-elementtien uudelleenkäyttöä. Tutkitaan, ovatko rakenteet purettavissa niin, että elementtejä voidaan käyttää uudestaan sellaisenaan tai huollettuina. Vanhoissa betonirakenteissa vauriot ovat yleisiä, minkä takia on olennaista tutkia niiden merkitystä elementtien uudelleenkäyttöä ajatellen. Ne voivat vaikuttaa elementtien uudelleenkäytön mahdollisuuksiin, jolloin on oleellista tarkastella yleisimpiä vauriotyyppejä sandwich-rakenteessa ja keinoja niiden korjaamiseksi.

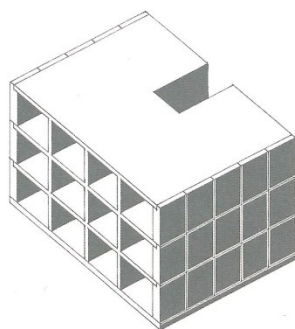
Tutkimuksessa kiinnitetään huomiota betonisten sandwich-elementtien tarkasteluun. Elementtirakentaminen on hyvin laaja-alaista ja rakennuksia on mahdollista toteuttaa täysin erilaisia elementtejä hyödyntäen. Laaja-alaisuuden takia tässä työssä keskitytään vain sandwich-elementtien uudelleenkäytön mahdollisuuksiin. Näin tutkimus on mahdollista toteuttaa niihin liittyviin yksityiskohtiin syventyen. Tutkimus on toteutettu kirjallisuuskatsauksena.

Johdannon jälkeen perehdytään sandwich-elementtien käyttöön Suomessa ja niiden kehitykseen. Seuraavaksi tarkastellaan elementtien rakennetta, siihen liittyviä yksityiskoh-
tia sekä rakenteissa esiintyviä vaurioita. Kolmannessa luvussa käsitellään purkamiseen liittyvää lainsäädäntöä sekä purkutapaa. Suomessa on toteutettu muutamia kokeiluja kokonaisuutena purkamiseen liittyen, mitkä huomioidaan purkutavan tarkastelussa. Neljännessä luvussa tutkitaan elementtien uudelleenkäytön suunnitteluun liittyviä tekijöitä, jotka

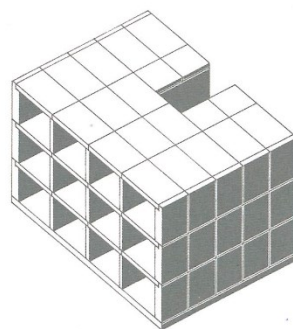
tuovat uudelleenkäytön suunnitteluun mahdollisuuksia ja haasteita. Lopuksi yhteenvedossa tehdään johtopäätökset tutkimuksessa kerätyn tiedon perusteella ja pohditaan, millainen tutkimus olisi tarpeen tulevaisuudessa sandwich-elementtien uudelleenkäyttöön liittyen.

2. SANDWICH-ELEMENTTI

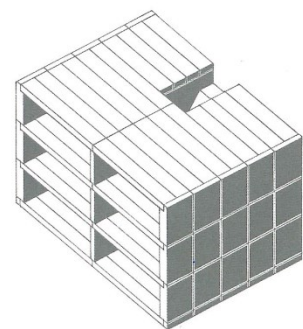
Yleisin runkotyyppi kerrostalorakentamisessa 1960–1970-luvuilla oli kirjahyllyrunko, jonka julkisivut toteutettiin kokonaan tai osittain elementtirakenteisina, yleensä betoni-sandwich-rakenteella (kuva 1; Neuvonen 2006, 150). Sandwich-rakennetta on käytetty julkisivuissa ikkunallisissa ruutuelementeissä, umpinaisissa päätyseinän elementeissä ja nauhaelementeissä (Lahdensivu et al. 2015, 14). 1960-luvun alkupuolella sandwich-elementtejä ei käytetty kantavissa päätyseinissä puutteellisen nosturikapasiteetin vuoksi, mutta kapasiteetti kasvoi vuosikymmenen jälkipuoliskolla ja mahdollisti elementtien käytön myös kantavissa päätyseinissä (Neuvonen 2006, 150–158).



Kirjahyllyrunko (osaelementti) oli yleisin runkotyyppi vuosina 1960–1975.



Kirjahyllyrunko (täysielementti, suurlevyjärjestelmä) oli käytössä noin vuosina 1960–1975.



Kirjahyllyrunko (täysielementti, BES) oli käytössä vuodesta 1971 alkaen.

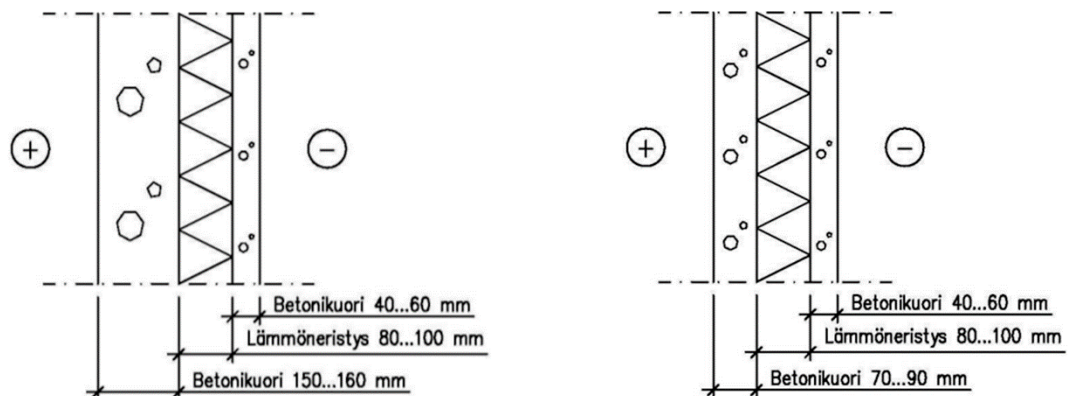
Kuva 1. Erilaisia kirjahyllyrunkotyyppejä (muokattu lähteestä Neuvonen 2006, 150).

BES-järjestelmässä käytettiin moduulimitoitusta, mikä vaikutti myös sandwich-elementtien mittamaailmaan. Suunnittelumoduulina runkorakenteissa käytettiin 12M (1200 mm) ja liittyvissä rakennusosissa, kuten ovissa ja ikkunoissa, 3M (300 mm). Kantavien ulko- ja väliseinien sisäkuoret olivat paksuudeltaan 180 mm ja korkeudeltaan 2500 mm. Suomessa nykyään käytettävä elementtitekniikka perustuu BES-järjestelmään, mutta mitoitusmaailma on vapaampi yksilöllisten ratkaisujen mahdollistamiseksi. (Huuha 2010, 71.) Nykyinen vähimmäiskerroskorkeus on 3000 mm ja vähimmäishuonekorkeus asuin-, majoitus- ja työtiloissa on 2500 mm ja pientaloissa 2400 mm (Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus-, ja työtiloista 1008/2017, 4 §, 11 §). Voidaan todeta, että vanhoja elementtejä voidaan käyttää uudelleen eri tiloja koskevien mittamaailman säästösten perusteella.

Lähtökohdat ja perusideat Suomen elementtirakentamiseen tulivat alun perin Ruotsista ja Tanskasta (Tulla 1995, 12). Suomessa tapahtuneen elementtirakentamisen kehityksestä huolimatta betonijulkisivun rakenteen perustyyppit ovat pysyneet samana. Tyypillisesti rakennusten päätyseinissä käytetään kantavia sandwich-elementtejä ja pitkillä sivuilla itsensä kantavia ruutuelementtejä. (Haukijärvi et al. 2009, 41.)

2.1 Sandwich-rakenne

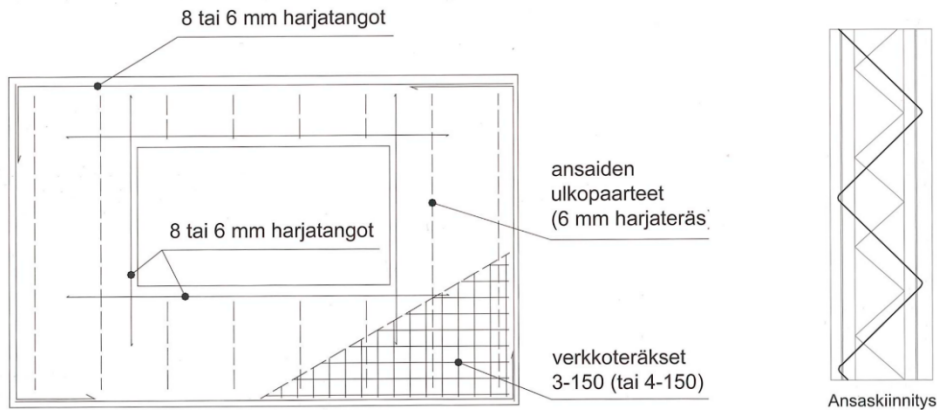
Betoninen sandwich-elementti on tehtaalla valmiiksi tehty julkisivuelementti. Elementti koostuu betonisesta sisä- ja ulkokuoresta sekä niiden välissä olevasta lämmöneristeestä, joka on yleensä mineraalivillaa (kuva 2, Tulla 1995, 21). Kantavan elementin sisäkuoren paksuus on ollut 150 mm tai 160 mm ja ei-kantavan paksuus 70–100 mm (Pentti et al. 1998, 19). Nykyisin vastaavat paksuudet ovat 150 mm ja 80 mm (RT 82-10766, 13). Lämmöneristeen paksuus on vaihdellut rakentamisajankohdasta riippuen 70 ja 140 mm:n välillä. Paksuuteen ovat vaikuttaneet sen hetkiset U-arvovaatimukset. Eristetilassa ei ole tyypillisesti ollut tuuletusta, paitsi klinkkeripintaisissa elementeissä on käytetty tuuletusuritutusta. (Haukijärvi et al. 2009, 41.)



Kuva 2. Tyypillinen kantava ja kevyt sandwich-elementti 1960- ja 1970-luvuilla (muokattu lähteestä Koski-Lammi 2013, 7).

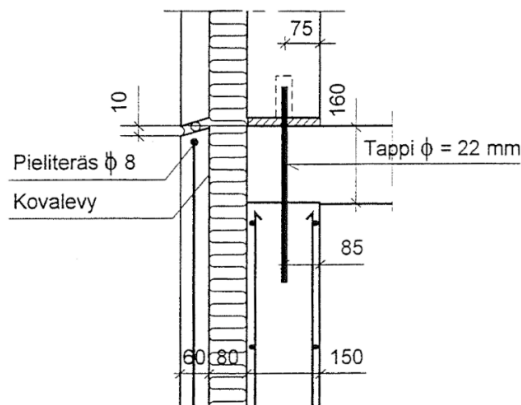
Sandwich-elementin kuorien raudoituksena toimii tyypillisesti verkkorautoitus ja reunoilla sekä ikkunan pielissä pieliteräkset, jotka ovat yleensä harjatankoja. Rautoitus on yleensä ruostuvaa teräslaatua. Lisäksi ulkokuoreen on kiinnitetty elementin kuoret yhteen kiinnittävät ansaat ja sideteräkset, sekä nostolenkin haara kevyissä elementeissä. (Kuva 3; Haukijärvi et al. 2009, 42.) Ansaan avulla ulkokuoren paino siirretään kantavalle sisäkuorelle, minimoidaan pakkovoimat, estetään kuorien käyristyminen ja varmistetaan kuorien yhteistoiminta (RT 82-10766 2002, 4). Pakkovoimat ovat rasituksia, joita aiheutuu rakenteissa tapahtuvasta liikkeestä (Walden 2020, 12). Niitä syntyy esimerkiksi läm-

pölaajenemisessa tapahtuvista muodonmuutoksista (Betoniteollisuus Ry). Pääosin side-ansaat on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Elementtirakentamisen ensimmäisinä vuosina käytettiin myös betonoituja, bitumoituja tai muulla tavoin suojattuja betoni- tai muototeräksiä, esimerkiksi kuparisiteitä. (Haukijärvi et al. 2009, 42.)



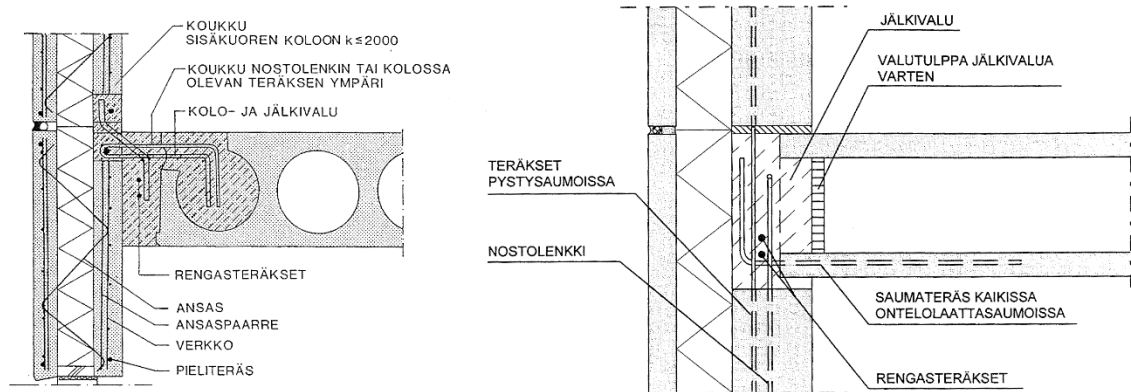
Kuva 3. Tyypillinen sandwich-elementin ulkokuoren raudoitus ja ulkokuoret yhteen sitova ansaskiinnitys (muokattu lähteestä Haukijärvi et al. 2009, 42).

1960-luvulla sandwich-elementtien pystysuuntainen kiinnitys toisiinsa toteutettiin sovitamalla alemman elementin sisäkuoren yläreunassa olevat tapit ylemmän elementin sisäkuoren reikiin (kuva 4). Näin ollen tappi lävistää myös sisäkuoren varaan valetun välipohjalaatan. Elementtivalipohjassa liitoskohdan paikalla on juotoskolo ja teräslenkki, joiden lävitse tappi menee. Vaihtoehtoisesti päällekkäiset elementit voitiin yhdistää toisiinsa tekemällä hitsausliitos elementtien alapään ja välipohjan tartuntalappujen ja -rautojen välille. Tällöin alemman elementin nostolenkki jätettiin paikallavaletun välipohjalaatan valuun tai hitsattu välipohjan juotoskolojen tartuntateräksiin. (Pentti et al. 1998, 33.) Ulkokuorien välisiin rakoihin asennettiin ja asennetaan edelleen elastinen saumanauha tai -massa lämpöliikkeiden mahdollistamiseksi (Lahdensivu et al. 2015, 14).



Kuva 4. Esimerkki kantavan julkisivuelementin tappikiinnityksestä (Pentti et al. 1998, 33).

BES-tutkimuksen valmistuttua 1970-luvulla sandwich-elementtien kiinnitystekniikka yhtenäistyi. Kantavana ajatuksena on, että ei-kantavat elementit ankkuroidaan kantavaan runkoon kiinni, mutta sijaiten kokonaan rakennuksen ulkopuolella. Itsensä kantavat elementit tukeutuvat perustuksiin ja sivustabilisointi hoidetaan ankkuroimalla ne välipohjiin. (Kuva 5.) Kerroksittain kantavat sandwich-elementit ripustetaan poikittaisiin kantaviin seiniin, joihin ne kiinnitetään puukkoliitoksien. (Pentti et al. 1998, 31.)



Kuva 5. BES-järjestelmän mukainen ei-kantavan ja kantavan elementin kiinnitystapa välipohjaan (muokattu lähteestä Pentti et al. 1998, 32, 34).

Elementin pintakäsittelyyn on ollut monia vaihtoehtoja 1960-luvulta lähtien. Jos elementin ulkopinnan betonilevy valettiin vaakamuotissa päällimmäiseksi, tyypillisimpiä käsittelytapoja olivat pysty-, kuvio-, tai vaakaharjaus. Jos se sen sijaan valettiin muottia vasten, pinta oli yleensä sileävalu-, pesubetoni-, puhdasvalupinta tai kuvioitu pinta. (Tulla 1995, 16.) Elementin pintaan voitiin tuolloin ja voidaan edelleen kiinnittää erilaisia julkisivumateriaaleja, jotka voivat kiinnittyä betonivaluun, esimerkiksi erilaisia laattoja. Elementteihin voidaan myös etukäteen asentaa ikkunoita, ovia tai muita kiinnikkeitä. Tuuletusputket ja -kotelot asennetaan valmiin elementtiseinän saumoihin. (RT 82-10766 2002, 4.)

2.2 Yleisimmät vauriot

Elementin kunto tulee selvittää ennen sen uudelleenkäyttöä. Kuntotutkimuksen ja rakenneselvityksen tarkoituksena on selvittää rakenteen toimivuus ja kunto arvioiden vaurioiden laatua, astetta, laajuutta, syitä ja etenemistä. Sen sisältö määritellään tiedon tarpeen mukaan. On tyypillistä, ettei vaurioita huomata silmämääräisesti, minkä takia perusteellisemmat selvitykset ovat tarpeen. Tutkimuksia tehdessä on otettava riittävän laaja otanta, jotta tulos voi edustaa sitä parhaiten. Eri rakennetyyppejä ja eri rasisolosuhteille altistuneet osat sekä jokainen ongelma tulee tarkastella erikseen. (Pentti 1995, 55–56.)

Sandwich-elementtejä käytetään vain julkisivuissa, minkä takia ne ovat alttiita sään rasituksille ja turmeltumiselle. Tämä heikentää iän myötä elementtien ominaisuuksia, mitkä tulee ottaa huomioon uudelleenkäyttöä suunniteltaessa.

Betonin halkeilu on yleisimpiä siinä esiintyviä näkyviä vaurioita ja sitä voivat aiheuttaa useat eri syyt, joita tullaan käsittelemään seuraavissa luvuissa. Halkeilua aiheutuu asentamisen ja kuljetuksen aikana ja kun betonin vetojännitys ylittää sen vetolujuuden. Halkeamien haitat ovat verrannollisia niiden leveyteen, joka yleensä mitataan halkeaman pinnalta. Olisi hyvä selvittää, miten halkeama jatkuu rakenteessa, mutta sitä on hankala selvittää rikkomatta rakennetta. Sen avulla voitaisiin selvittää, millaiset vaikutukset halkeamalla on, onko se esimerkiksi aiheuttanut paikallista korroosiota elementin raudoitukseen. Halkeiluun voidaan vaikuttaa raudoituksen lisäämisellä, mikä parantaa elementin vetolujuutta ja pienentää halkeamaväliä. (Lahdensivu et al. 2015, 34.)

2.2.1 Betonin karbonatisoituminen

Betonin karbonatisoituminen tarkoittaa betonin neutralisoitumista, joka on seurausta reaktiosta, joka tapahtuu betonin alkalisten eli emäksisten yhdisteiden ja ilman hiilidioksidin välillä. Kun betoni karbonisoituu, se menettää teräksiä suojaavan ominaisuutensa. (Pentti & Lindberg 1995, 39.) Karbonatisoituminen alkaa betonin pinnasta ja etenee syvemmälle betoniin, minkä takia pinnan hyvä tiiviys on olennaista elementin hyvänä säilymiselle. Prosessi on melko hidas, koska karbonatisoituvaa ainesta on paljon ja ilman hiilidioksidipitoisuus on alhainen. (Bakker 1988, Parrot 1987, Tuutti 1982, Lahdensivu et al. 2015, 21–22 mukaan.) Karbonatisoitumista voidaan estää vaikuttamalla betonin tiiviyteen huokoisuuden ja kosteuspitoisuuden avulla, joihin vaikuttaa betonin vesisementtisuhte. Kun vesisementtisuhte pienenee, betonin huokoisuus vähenee, tiiviys ja yleensä puristuslujuus kasvaa. (Pentti et al. 1998, 60). Karbonatisoitumisen etenemistä voidaan tutkia pH-indikaattoriliuoksella esimerkiksi halkaistun poranäytteen pinnalta (Lahdensivu et al. 2015, 21).

Karbonatisoitumisnopeuteen vaikuttaa betonin kosteuspitoisuus. Kun betonin huokokset täyttyvät vedellä, hiilidioksidin on hankalampaa tunkeutua samaan aikaan syvemmälle betoniin. Näin ollen säälle jatkuvasti altistuvat julkisivupinnat karbonisoituvat keskimääräisesti hitaammin kuin säältä suojatut elementit. Nopeuden hajonta voi olla suurta yhdenkin elementin sisällä. Karbonatisoitumisnopeuteen voidaan vaikuttaa julkisivun yläpöydillä ja julkisivumateriaalivalinnoilla. Esimerkiksi keraamisilla laatoilla päällystetty

elementti karbonatisoituu merkittävästi hitaammin, kun taas pesubetonipintainen elementti hieman nopeammin. (Bakker 1988, Lahdensivu 2012, Sulankivi 1993, Lahdensivu et al. 2015, 23 mukaan.)

2.2.2 Raudoitteiden korroosio

Betonin sisällä olevat raudoitteet saattavat kärsiä korroosiosta, toisin sanoen syöpymisestä. Korroosio käynnistyy betonissa, kun teräksiä korroosiolta suojaava passivointi on tuhoutunut kloridien tai betonin karbonatisoitumisen takia (Bakker 1988; GjØrv, Lahdensivu et al. 2015, 24 mukaan). Korroosion aikana raudoituksen pinnasta liukenee materiaalia, mikä johtaa niiden poikkileikkauksen pienenemiseen. Tästä seuraa rakenteen kantavuuden heikkeneminen. (Pentti et al. 1998, 57.) Tällöin korroosiotuotteet pääsevät kerääntymään terästen pinnalle, mikä ilmenee ruostumisena. Korroosiotuotteiden tilavuus on suurempi kuin teräksen tilavuus, mikä aiheuttaa betonin sisällä paineen ja betoni alkaa halkeilla. (Tuutti 1982, Lahdensivu et al. 2015, 24 mukaan.) Kloridipitoisessa ja/tai karbonatisoituneessa betonissa olevien terästen korroosionopeuteen vaikuttavat betonin kosteuspitoisuus, kohoavat lämpötilat ja betonin kloridipitoisuus (Lahdensivu et al. 2015, 24). Teräksen korroosio alkaa karbonatisoitumisen käynnistämänä, kun betonin suhteellinen kosteus on yli 65 % (Tuutti 1982, Lahdensivu et al. 2015, 24 mukaan). Korroosioauriot näkyvät ensimmäisenä elementtien pinnoilla, joissa raudoitteiden peitepaksuus on pienimmillään ja joissa betonipinta altistuu kosteusrasitukselle (Lahdensivu et al. 2015, 24).

Muutoin raudoitteiden pintaan muodostuu passiivikalvo betonin korkean alkalisuuden eli emäksisyyden ansiosta, mikä suojaa niitä korroosiolta. Passiivikalvo on itseään korjaava betoninen kerros raudoitteen pinnassa, joka suojaa raudoitetta korroosiota aiheuttavilta aineilta kuten klorideilta. (Lahdensivu et al. 2015, 20.) Betonin suojauskykyä korroosiota vastaan voidaan parantaa varmistamalla riittävä betonin tiiviys sekä huolehtimalla, että raudoitteita suojaava betonikerros on riittävän paksu. Raudoitteita voidaan suojata korroosiolta myös erilaisten julkisivupinnoitteiden avulla tai käyttämällä ruostuvan teräksen sijaan ruostumattomia tai sinkittyjä raudoitteita. (Pentti et al. 1998, 57–59.)

Korroosiosuojaukseen vaikuttavat myös kloridit alkalisessa betonissa, jotka ovat tyypillisesti erilaisia suojoja. Passiivikalvo voi tuhoutua, jos pienikin määrä klorideja pääsee teräksen pinnalle. (Lahdensivu et al. 2015, 23.) Haitallinen kloridipitoisuus raudoitusten kannalta vaihtelee sementin painosta ja olosuhteista (Taylor et al. 1999; Alonso et al. 2000, Lahdensivu et al. 2015, 23 mukaan). Klorideja on hyödynnetty lähinnä 1960-luvulla kylminä vuodenaikoina betonin kovettumisen nopeuttamiseksi (Lahdensivu et al. 2015,

23). Klorideja voi päästä myös kovettuneeseen betoniin, mikäli se altistuu kloridirasitukselle, esimerkiksi jos siihen kohdistuu liukkaudentorjunta-aineiden roiskeita (Bakker 1988; GjØrv 2009, Lahdensivu et al. 2015, 23 mukaan).

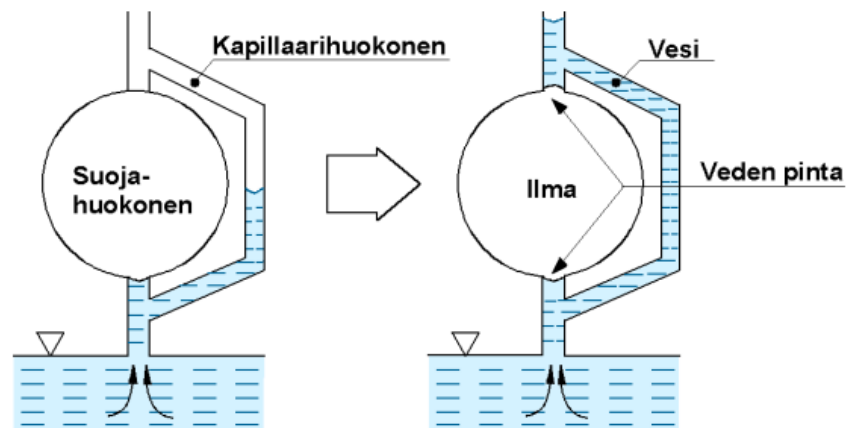
Monesti teräsraudoitusten kloridikorroosio on pistemäistä ja voimakasta (Treadaway 1988, Lahdensivu et al. 2015, 24 mukaan). Kloridit imevät vettä itseensä ilmasta, minkä takia kosteuspitoisuus voi olla melko alhainen korroosion tapahtumiseksi (Lahdensivu et al. 2015, 24). Kloridikorroosio voi edetä pitkälle betonissa, ennen kuin se huomataan. Tämä johtuu siitä, että betonin huokosveteen ovat liukoisempia kloridikorroosion seurauksena aiheutuneet korroosiotuotteet kuin karbonatisoitumisesta johtuneesta korroosioista aiheutuneet tuotteet. (Page 1988, Lahdensivu et al. 2015, 24 mukaan.) Jos kloridipitoinen betoni karbonatisoituu, kloridikorroosio kiihtyy huomattavasti (Lahdensivu et al. 2015, 24).

Betonin halkeamat aiheuttavat raudoitteille korroosioriskin, koska korroosion kannalta haitalliset aineet läpäisevät betonin helpommin. Halkeamien kautta korroosioon liittyvät haitalliset aineet, kuten hiilidioksidi, voivat tunkeutua suoraan raudoitteen pinnalle (Bakker 1988, Lahdensivu et al. 2015, 24 mukaan). Halkeamien haitallisuuteen vaikuttavat leveys, syvyys ja rakenteen rasisolot (Lahdensivu et al. 2015, 24). Haitaton enimmäisleveys halkeamalle karbonatisoitumisesta johtuvassa korroosiossa on 0,30 mm ja kloridikorroosiossa 0,10 mm (Tuutti 1982, Lahdensivu et al. 2015, 24 mukaan).

2.2.3 Rapautuminen

Rapautuminen tarkoittaa säärasituksen aiheuttamaa vaurioitumista. Betonissa rapautuminen ilmenee säröinä ja edetessään johtaa sen lujuuden ja koossapysyvyyden menettämiseen. Suomessa julkisivut altistuvat jatkuvasti erilaisille säärasituksille kuten viistosateelle, jolloin vettä pääsee betonin huokosverkostoon. Yleisin rapautumisilmiö on pakkasrapautuminen. Muita rapautumisilmiöitä voimakkaasta kosteusrasituksesta johtuen ovat ettringiittireaktio ja alkalikivireaktio. (Lahdensivu et al. 2015, 26.)

Pakkasrapautuminen aiheutuu betonin huokosverkostoon päässeeseen veden jäätyminen reaktiona. Veden jäätyessä se laajenee ja aiheuttaa painetta betonin sisällä, mikä ilmenee betonin pinnan halkeiluna. (Lahdensivu et al. 2015, 27.) Ilmiötä voidaan estää betonin lisähuokoistamisella, jolloin valmistusvaiheessa betoniin lisätään suojahuokosia, jotka pysyvät olosuhteista huolimatta ilmatäytteisinä ja joihin jäätyminen aiheuttama paine voi purkautua estäen betonin pintaan syntyvän vaurion (Kuosa & Vesikari 2000, Lahdensivu et al. 2015, 27 mukaan).



Kuva 6. Pakkasrapautumista estävien suojahuokosten periaate (BY 32 1992, Lahdensivu et al. 2015, 28 mukaan).

Betonin lisähuokoistamista alettiin käyttämään vasta 1970-luvun puolivälin jälkeen (Neuvonen 2006, 168). Sitä ennen betonirakenteet kestivät pakkasta heikosti ja pakkasenkestävyyteen vaikutti olennaisesti vesisementtisuhte. Suhteen ollessa alhainen betonilla on suurempi lujuus ja tiiviys, jolloin veden imeytymisnopeus pienenee ja veden osuus rakenteessa vähenee. (Lahdensivu et al. 2015, 28.)

Betonin laadun lisäksi pakkasrapautumiseen vaikuttavat sijainti ja muiden julkisivurakenteiden toimivuus. Pakkasrapautuminen on yleistä erityisesti julkisivuilla, jotka ovat jatkuvasti alttiina viistosateelle, mikä on yleistä etenkin rannikoiden läheisyydessä. Viistosade on runsainta avoimilla alueilla ja sen tuoma rasitus kohdistuu etenkin rakennuksen yläosiin ja nurkkiin. Sandwich-elementin vaurioituessa sen eristetilaan voi päästä vettä, mikä lisää sen pakkasrasitusta. Rakenteen pakkasrasituksen kestävyyteen voidaan vaikuttaa toimivilla yksityiskohdilla, jotka ohjaavat sadeveden pois rakenteesta, esimerkiksi räystäskouruilla; toimivilla rakenteilla, jotka mahdollistavat rakenteen kuivumisen ja pintakäsittelyillä, jotka vaikuttavat veden imeytymiseen ja haihtumiseen. (Lahdensivu et al. 2015, 28.)

Betonin pakkasenkestävyyttä voi heikentää ettringiittireaktio, joka on seurausta liiallisesta lämpökäsittelystä betonin kovettumisen aikana tai pitkäaikaisesta ja korkeasta kosteusrasituksesta. Se on kovettuneessa sementtikivessä tapahtuva kemiallinen reaktio. Siinä syntyvien tuotteiden tilavuus kasvaa paljon ja syntyvä ettringiittimineraali liittyy suojahuokosten seinämille, jolloin suojahuokosten tilavuus pienenee. Tämä heikentää betonin pakkasenkestävyyttä ja johtaa pakkasrapautumiseen tai reaktio itsessään voi aiheuttaa halkeilua betoniin syntyvän paineen takia. (Lahdensivu et al. 2015, 28–29.)

Alkalikiviainesreaktio on betonia rapauttava paisumisreaktio, joka tapahtuu betonin kiviaineksessa sementtikiven alkalisuuden johdosta. Se tapahtuu, jos sementti sisältää paljon alkali-ioneita, kiviaineksessa on huonosti alkalisuutta kestäviä mineraaleja ja betonin kosteuspitoisuus on tarpeeksi korkea. Reaktio voi tapahtua lähinnä suojaamattomissa ulkorakenteissa, joissa sen aiheuttamat vauriot muistuttavat pakkasrapautumista. Suomessa reaktio on melko harvinainen, koska täällä käytetään lähinnä tiiviitä, hyvin kemiallisesti kestäviä syväkivilajeja. Reaktiota voidaan ehkäistä poistamalla yksi sen vaatimista ominaisuuksista, koska se tarvitsee tapahtuakseen kaikki mainitut edellytykset. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi käyttämällä alkalipitoisuudeltaan alhaista sementtiä tai välttämällä reaktiivisen kiviaineksen käyttöä. (Pentti et al. 1998, 71.)

2.2.4 Kosteusrasitus

Suomessa julkisivujen kosteusrasitus on yleistä ja vaikuttaa suuresti elementtien kestävyteen. Ulkoapäin kohdistuvien kosteusrasitusten lisäksi elementit voivat kohdata rasitusta myös sisäpuolelta, etenkin märkätilojen kohdalla. Kosteuden aiheuttamaan rasitukseen voidaan vaikuttaa sisäpuolella toimivalla vedeneristyksellä ja ulkopuolella julkisivujen saumoilla, riittäväällä tuuletuksella, pellityksillä, räystäillä, vedenpoistolla, parvekelasituksilla ja pintakäsittelyillä. Puutteet näissä seikoissa ovat monesti syynä elementin vaurioitumiseen. (Lahdensivu et al. 2015, 32.)

Julkisivujen saumoilla on keskeinen merkitys elementtien kosteusrasitukseen. Jos saumat ovat vaurioituneet, vesi pääsee niiden kautta syvemmälle rakenteisiin. Elastinen kittisauma on yksi yleisimpiä betonielementtien saumatyyppejä ja sen kestävyteen vaikuttavat rasitusolosuhteet, sauman liikeet, massan laatu, massan paksuus ja poikkileikkauksen muoto ja saumattavien pintojen laatu. (Pentti et al. 1998, 75.) Saumoihin asennetaan tuuletusputket, jotka mahdollistavat taustatilan tuulettumisen (RT 82-10766 2002, 4).

3. PURKAMINEN

3.1 Purkamiseen liittyvät määräykset

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/99) 127§ mukaan: ”rakennusta tai sen osaa ei saa ilman lupaa purkaa asemakaava-alueella tai alueella, jolla on voimassa 53§:ssä tarkoitettu rakennuskielto asemakaavan laatimiseksi. Lupa on myös tarpeen, jos yleiskaavassa niin määrätään. Lupaa ei tarvita, jos voimassa oleva rakennuslupa, tämän lain mukainen katusuunnitelma, maantielain mukainen hyväksytty tiesuunnitelma tai ratalain mukainen hyväksytty ratasuunnitelma edellyttävät rakennuksen purkamista.” Jos purkamiseen ei tarvita lupaa, siitä on tehtävä kirjallinen purkamisilmoitus rakennusvalvontaviranomaiselle 30 päivää ennen purkamistyötä (Maankäyttö- ja rakennuslain 132/99, 127§).

MRL:n asetuksen 139§ mukaan edellytyksenä purkamislupalle on, ettei purkaminen merkitse ympäristöön sisältyvien arvojen hävittämistä tai haittaa kaavoituksen toteuttamista. Lain 154§ asetuksen mukaan purkaminen tulee järjestää niin, että rakennusosien hyväksi käyttämiseksi luodaan edellytykset ja rakennusjätteen käsittelystä huolehditaan.

Jätelain (646/2011) mukaan kaikessa toiminnassa on noudatettava mahdollisuuksien mukaan etusijajärjestystä. Se tarkoittaa, että ensisijaisesti jätteen määrää ja haitallisuutta tulee vähentää. Jos tämä ei ole mahdollista, niin jätteen haltijan tulee valmistella jäte uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrättää se itse. Jos nämäkään keinot eivät ole mahdollisia, jäte on hyödynnettävä muilla tavoin, kuten hyödyntämällä se energiana. Jos edellä mainitut keinot eivät ole mahdollisia jätteelle, se on loppukäsiteltävä. (8§) Sandwich-elementtien käyttöä ja etusijajärjestyksen noudattamista tukee jätelain 11§, jonka mukaan viranomaisten ja julkisoikeudellisen laitoksen ja yhteisön tulee mahdollisuuksien mukaan toiminnassaan käyttää kierrätettäviä raaka-aineita ja tuotteita. Voidaan todeta, että sandwich-elementtien uudelleenkäyttö noudattaisi asetuksen ensimmäistä tavoitetta jätteen jatkokäsittelylle ja tukisi näin ollen kiertotaloutta.

Jätelain (646/2011) mukaan ammattimaista keräystä harjoittavan toimijan vastuulla on, että uudelleenkäytettävä jäte vastaanotetaan ja kerätään siten, että mahdollisuus uudelleenkäyttöön säilyy. Toimijan tulee myös taata tasapuolinen mahdollisuus saada jäte osoitetusta vastaanotto paikasta uudelleenkäytettävän jätteen valmistelusta vastaaville toimijoille. Jätteen luovuttamisesta uudelleenkäytönvalmisteluun on tehtävä kirjallinen sopimus. Jätteen luovuttaja voi periä kustannustehokkaasta keräilystä ja varastoinnista

aiheutuneet kustannukset ja uudelleenkäytön valmistelusta vastaavan yrityksen tulee antaa jätteen käsittelyyn liittyvät tiedot luovuttajalle. (Jätelaki 646/2011, 11 a §.)

Uudelleenkäytettäviä erilliskerättyjä elementtejä ei saa säilyttää kaatopaikalla, ellei sillä saavuteta paras lopputulos etusijajärjestyksen kannalta (Jätelaki 646/2011, 15 a §). Elementtien säilytykseen on siis suunniteltava oma tilansa. Purkamisen seurauksena syntyvälle materiaalin hyötykäytölle ei ole vielä vakiintunut omia toimintatapoja, minkä takia suunnitteluun on varattava aikaa ja resursseja. Toimivin tapa olisi, että tuotteet voitaisiin toimittaa suoraan seuraavaan paikkaan. (RIL 216-2001, 246)

Ympäristönsuojelulain (527/2014) tarkoitus on ottaa ympäristö huomioon ja edistää sen hyvinvointia toiminnassa, josta saattaa aiheutua tai aiheutuu ympäristön pilaantumista ja toiminnassa, josta syntyy jätettä tai sitä käsitellään (1§, 2§). Sandwich-elementtien uudelleenkäytön mahdollisuuksien tutkimista tukee lain 7§, jonka mukaan toiminnanharjoittajan tulee minimoida ympäristöön päätyvät päästöt.

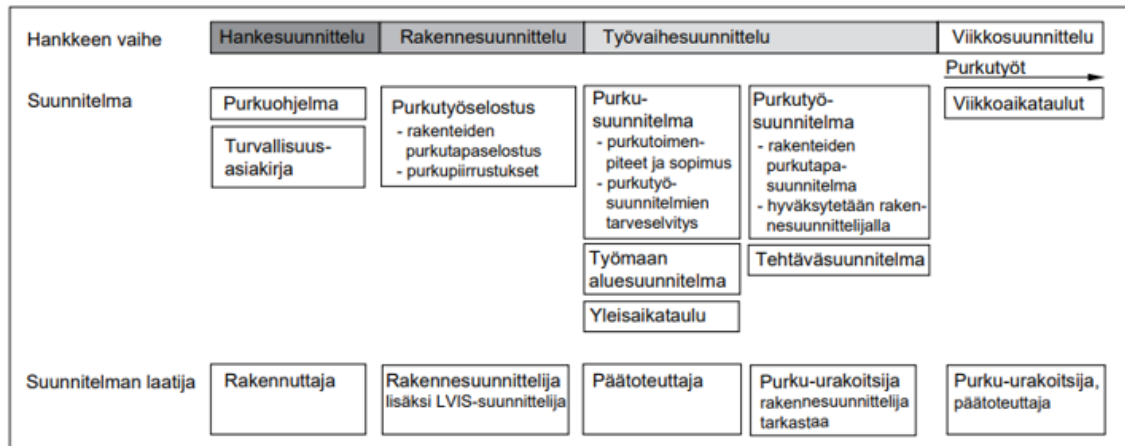
Purkamista suunniteltaessa tulee selvittää, mitkä työt vaativat ympäristölupaa. Purkutyöstä aiheutuu tilapäistä tärinää ja meluhaittaa ympäristöön, jolloin toiminnasta Ympäristönsuojelulain (527/2014) 118§ mukaan tulee tehdä sähköinen ilmoitus kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle. Ilmoitus on tehtävä vähintään 30 vuorokautta ennen työn aloittamista ja työn voi aloittaa vasta kun ilmoituksesta on kulunut 30 vuorokautta.

3.2 Purkutavan valinta

Tässä tutkimuksessa on oleellista tarkastella, minkä purkutavan avulla sandwich-elementtejä voidaan irrottaa rakennuksesta kokonaisina. Purku toteutettaisiin lajittelevalla purkutekniikalla, jolloin purkaminen on järjestelmällistä ja purettavat rakenteet uusiokäytetään mahdollisimman pitkälle (RIL 216-2001, 247). Maankäyttö- ja rakennuslaki edellyttää tämän tekniikan käyttöä, sillä sen avulla voidaan noudattaa etusijajärjestystä jätteen lajittelussa. Lajitteleva tekniikka tulee myös edullisemmaksi kuin sekajätteen toimittaminen kaatopaikalle, mikä kannustaa toimijoita jätteen lajitteluun. (Kauranen 2001, 16.) Suurin vaurioitumisriski on elementtien purkamisen, käsittelyn ja kuljettamisen aikana (Lahdensivu et al. 2015, 3), minkä takia purkutavan valinta vaikuttaa olennaisesti uudelleenkäytön mahdollistamiseen.

Purkamista varten tulee laatia purkutyöselitys ja purkus suunnitelma (kuva 7), joissa täytyy huomioida jätteen hyödyntämisen prioriteetti; tässä tapauksessa sandwich-elementin uudelleenkäyttö. Suunnittelun tavoitteena on toteuttaa työ viranomais määräyksiä noudattaen mahdollisimman tehokkaasti tavoitteen saavuttamiseksi. Suunnittelussa tulee

tarkastella koko purkuketjua olemassa olevasta rakennuksesta uusiokäyttökohteeseen. (RIL 216-2001, 246.) Uusiokäyttökohde määrittelee, millaisissa paloissa elementtejä tullaan käyttämään, mikä saattaa vaikuttaa elementtien purkutapaan ja elementtien pilkkomiseen.



Kuva 7. Purkusuunnitelman laadintaohjeet (Ratu S-1221, 4).

Lajittelevassa purkamisessa purkaminen tapahtuu käänteisessä järjestyksessä rakentamiseen verrattuna. Tähän purkutapaan ei ole yhtä tiettyä menetelmää vaan se on yhdistelmä useita eri tapoja. (RIL 216-2001, 252.) Koska elementit halutaan irrottaa kokonaisina, se edellyttää valettujen saumojen auki piikkaamista tai timanttisahausta. Muut yleisimmät purkutavat liittyvät rakenteiden rikkomiseen, jolloin elementtien purkaminen kokonaisina ei ole mahdollista (Asam 2006, 2; Kauranen 2001, 18–21).

Lajittelevan purkamisen vaiheet järjestyksessä Huuhkan (2010, 35) ja RIL 216-2001 (2001, 252) mukaan:

- Rakennusosien inventointi ja merkitseminen
- Ongelmajättekartoitus
- Ongelmajätteiden poisto
- Irtojätteen siivoaminen
- Rakennuksen runkoon kuulumattomien osien poisto
- Rungon purku rakennusosittain ja -materiaaleittain
- Betonin ja terästen erottelu tarvittaessa

Kaurasen (2001, 31–33, 38) Myllypurossa toteutetussa tutkimuksessa vuonna 2000 järjestettiin koe sandwich-elementtien purkamisesta kokonaisina. Nostolenkit oli tutkittu en-

nen purkua ja todettu olevan hyvässä kunnossa, mikä varmistettiin koenostolla. Turvali- sen työn varmistamiseksi projektissa tehtiin elementtien tuentasuunnitelma. Työ aloitet- tiin timanttisahaamalla ontelolaattojen päätysaumat auki. Työn aikana todettiin, että sa- haus kannattaa tehdä hieman ontelolaattojen puolelta. Kantavien elementtien pys- tysaumat avattiin piikkaamalla ja kevyiden elementtien saumojen oletettiin murtuvan nostovaiheessa. Projektin aikana todettiin, että elementin saumat täytyy piikata koko- naan auki ennen sen nostoa, jotta elementin purku kokonaisuutena onnistuu. Tutkimuk- sessa todettiin kokonaisuutena purkamisen ja elementtien uudelleenhyödyntämisen uudis- rakentamisessa olevan taloudellisesti ja teknisesti epämielikästä.

Suomessa on järjestetty toinenkin kokeilu betonielementtien irrottamiseksi. Huuhka (2010, 76–78) esittelee tutkimuksessaan Raahen Kummatissa vuonna 2009 toteutetun kokeilun, jossa sandwich-elementit purettiin muusta rakennuksesta onnistuneesti. Tässä tapauksessa elementtien valetut saumat piikattiin auki piikkausrobotilla hyödyntäen. Nos- tolenkit todettiin hyväkuntoisiksi, mikä mahdollisti elementtien nostamisen alas nosturei- den avulla. Purku osoittautui taloudelliseksi ja yksinkertaiseksi. Purettuja elementtejä käytettiin uudelleen navetan rakentamiseen.

Edellä esiteltyjen kokeilujen lopputulokset eroavat huomattavasti toisistaan. Tutkimusten välillä on aikaa yhdeksän vuotta, minkä aikana teknologia on kehittynyt. Voidaan todeta, että elementtien saumojen piikkaaminen auki on kannattavampaa, kun purkamisessa hyödynnetään piikkausrobotilla. Kummatissa toteutetussa projektissa kokonaiskustan- nukset olivat alhaisemmat kuin rikkovan purkamisen menetelmällä (Huuhka 2010, 73). Myllypuron kokeilussa sen sijaan todettiin ehjänä purkamisen olevan taloudellisesti epä- mielekästä (Kauranen 2001, 38). Saksassa on todettu ehjänä purkamisen olevan kym- menkertaisesti kalliimpaa kuin rikkova purkaminen, mutta työtapojen kehittämisen myötä hinta on enää vain kaksinkertainen rikkovaan purkamisen hintaan verrattuna (Kil 2008, Huuhka 2010, 7 mukaan). Sandwich-elementtien uudelleenkäytöstä tehty tutkimus on vielä melko nuorta ja sitä on rajatusti, mutta sitä tehdään jatkuvasti. Olemassa olevan tutkimuksen perusteella voidaan päätellä, että käytännöt kehittyvät ja työ helpottuu kun tutkimus aiheesta lisääntyy.

4. UDELLEENKÄYTTÖ

4.1 Huomioitava ennen uudelleenkäyttöä

Julkisivuissa saattaa esiintyä ympäristölle ja terveydelle haitallisia aineita, jotka tulee ottaa huomioon ennen elementtien uudelleenkäyttöä. Julkisivuelementtien saumoihin on aikoinaan lisätty PCB- ja lyijy-yhdisteitä parantamaan saumausmassan työstettävyyttä ja pitkäaikaiskestävyyttä. (Lahdensivu et al. 2015, 36.) PCB-yhdisteet eli polyklooratut bifenyylit ovat kemikaaleja, joita on käytetty lämmönsiirtonesteinä (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2022). Niiden käyttö on lopetettu mahdollisesti vuonna 1979 ja lyijy-yhdisteiden vuonna 1989. PCB-yhdisteet saattavat levitä saumoja ympäröiviin elementteihin, mikä tulee ottaa huomioon pölyävien työvaiheiden aikana, esimerkiksi hionnan. Muuten ne eivät ole vaarallisia ympäristön tai terveyden kannalta. (Lahdensivu et al. 2015, 36.) Elementeistä tulee kuitenkin poistaa saumamassat, koska ne saattavat sisältää PCB:tä. (RIL 216-2001, 256.)

Toinen julkisivuissa yleisesti käytetty aine on asbesti. Sitä on käytetty lähinnä pinnoitteissa parantamaan maalin kestävyyttä ja lujuutta 1980-luvulle asti. Se on ympäristölle ja terveydelle haitallinen lähinnä pölyävissä työvaiheissa, jolloin sitä vapautuu pinnoilta ilmaan. Toimenpiteisiin ei ole tarvetta ryhtyä, mikäli pintaa ei käsitellä. (Lahdensivu et al. 2015, 37.) Pintoja tullaan todennäköisesti kuitenkin käsittelemään elementin tulevaisuudessa, minkä takia kyseisen ongelmajätteen poistaminen on tarpeellista.

Ennen uudelleenkäyttöä elementit on puhdistettava, minkä yhteydessä voidaan poistaa mahdolliset epäpuhtaudet ja haitalliset aineet. Puhdistus etenee pinnalta syvemmälle. Ensin irrotetaan pintamateriaalit ja lopuksi uudelleenkäytettävät rakenteet puhdistetaan mekaanisesti. Sopiva menetelmä valitaan rakenneosan ja sen materiaalin perusteella. Menetelmänä voidaan käyttää hiekkapuhallusta, pintakerroksen hiontaa tai teräsharjalla harjausta. Puhdistuksen aikana on kiinnitettävä huomiota suojaukseen, etteivät aineet ole haitaksi työntekijöille eivätkä ympäristölle. (Lahdensivu et al. 2015, 64.)

4.2 Vaurioiden korjaaminen

Julkisivuissa käytetyt elementit ovat jatkuvasti alttiina erilaisille rasituksille, mutta siitä huolimatta vaurioituminen on melko vähäistä. Ennen 1980-lukua valmistettujen julkisivuelementtien heikkouksia säilyvyyteen liittyen ovat huono pakkasenkestävyys ja rau-

doitteiden sijoittuminen liian lähelle ulkopintaa. Niiden yleisimmät vauriot liittyvät korroosioon ja betonin rapautumiseen. Uudelleenkäyttöä suunniteltaessa on olennaista selvittää tapauskohtaisesti elementin mahdollisuudet uudisrakentamisessa. Säälle alttiina olleet elementit eivät pysty toteuttamaan rakennukselta vaadittavaa 50 vuoden käyttöikää sellaisenaan vaan vaativat todennäköisesti korjaustoimenpiteitä. Sen sijaan kantavat rakenteet ovat yleensä hyvässä kunnossa, ja niitä on mahdollista käyttää uudelleen sellaisenaan. Betonin karbonatisoituminen on voinut saavuttaa kantavien rakenteiden raudoitteet, mutta niiden ollessa suojassa säärasituksilta korroosio ei pääse etenemään. (Lahdensivu et al. 2015, 36, 73.)

Kun rakennuksessa käytetyt sandwich-elementit inventoidaan ennen purkutyötä, niiden uudelleenkäyttökohteita voidaan suunnitella jo purkutyön aikana (Huuha 2010, 78). Rakennepiirustusten avulla voidaan arvioida ehjänä purkamisen onnistumista käytettyjen liitosten suhteen, mutta ne voivat koepurkamisen aikana paljastua myös toisenlaisiksi (Lahdensivu 2009; Suonketo 2009; Huuha 2010, 78 mukaan). Ennen purkamista valitaan suurempi määrä inventoituja elementtejä kuin mitä uudelleenkäyttöä varten tarvitaan, ja purkamisen jälkeen valituista elementeistä valitaan vähiten vaurioituneimmat. Purkamisen jälkeen elementit voidaan jakaa eri kuntoluokkiin, jotka määrittävät niiden uudelleenkäytön mahdollisuuksia. Niille voidaan suorittaa kelpoisuuskokeita, joiden avulla kartoitetaan niiden puristuslujuus, kantokyky, terästen asema, korroosion mahdolliset vaikutukset ja betonin mahdollinen karbonatisoituminen. Kaikkien elementtien tarvetta testaukselle voidaan arvioida uudelleenkäyttökohteen mukaan. (Huuha 2010, 78.)

Elementtejä on mahdollista korjata eri tavoin, mikäli vauriot eivät ole edenneet liian pitkälle. Niiden korjausmahdollisuuksia voidaan pohtia, kun vauriot on kartoitettu kuntotutkimuksella. Korjaus olisi hyvä tehdä suojaetuissa olosuhteissa elementtien irrottamisen jälkeen, koska irrottamisen ja kuljetuksen aikana elementti voi vaurioitua lisää ja näin se ei altistuisi kosteusrasituksille. Korjaamisen kannalta olisi hyvä, että elementit voitaisiin varastoida ennen niiden siirtoa työmaalta toiselle.

Rakenneselvityksen ja kuntotutkimuksen pohjalta saatujen tietojen perusteella voidaan tehdä päätös korjausmenetelmän valinnasta. Valinta pohjautuu vanhan rakenteen ominaisuuksiin ja kuntoon, tilaajan vaatimuksiin, yhteiskunnan säännöksiin ja korjausmenetelmien mahdollisuuksiin. Tilaajan vaatimusten pohjalta tehdään tekniset suunnitelmat. (Pentti 1995, 60–61.)

Jos vauriot eivät ole edenneet pitkälle sandwich-elementtiin ja sen alkuperäiset arkkitehtoniset aiheet halutaan säilyttää, korjaustavaksi voidaan valita kevyt pintakorjaus. Tässä julkisivuun tehdään laastipaikkauksia näkyvien teräskorroosio- ja rapautumavaurioiden

vuoksi. Menetelmässä ei kartoiteta ei-näkyvien turmeltumisien ilmentymisiä rakenteessa. (Pentti 1995, 64–65.) Tämä on kevyt ja edullisin korjaustapa (Neuvonen 2006, 169). Laastipaikkausta voidaan tehdä myös perusteellisesti laadunvarmistussuunnitelmaa noudattaen, jolloin korjaus ulottuu myös kohtiin, joissa korroosio- ja rapautumavauriot eivät ole näkyvissä (Pentti 1995, 65). Elementtien uudelleenkäyttöä pohdittaessa elementin ominaisuuksien laajempi selvitys on tarpeen. Sen ominaisuuksia kuten U-arvoa on monesti oleellista parantaa, minkä takia kevyt pintakorjaus ei ole todennäköisin vaihtoehto sen korjaustavalle.

Toinen vaihtoehto on verhoilla vanha ulkokuori uudella rakenteella. Tämä on mahdollista toteuttaa melko pitkälle vaurioituneisiin rakenteisiin. Uuden lisärakenteen avulla voidaan parantaa vanhan elementin lämmöneristävyyttä, mikä on monissa tapauksissa tarpeen, lisäämällä eristettä vanhan ulkokuoren pintaan. (Neuvonen 2006, 169.) Jos uusi rakenne tehdään kosteusteknisesti oikein, vanhan rakenteen kosteusrasitusta voidaan vähentää, jolloin turmeltumislmiöt hidastuvat. Uuden verhoilun avulla voidaan vaikuttaa myös huomattavasti elementin ulkonäköön, mutta uusi rakenne kasvattaa elementin paksuutta. (Pentti 1995, 66.) Paksuuden kasvaessa ikkunat sijoittuvat syvemmälle elementtiin, mutta ne on mahdollista vaihtaa korjauksen yhteydessä. Näin voidaan parantaa elementin U-arvoa lisää.

Kolmas vaihtoehto on vanhan ulkokuoren purkaminen ja korvaaminen uudella rakenteella. Näin voidaan poistaa elementin vanhat mahdollisesti kasaan painuneet eristeet ja vaihtaa ne uusiin lisäten niiden paksuutta ja parantaa elementin lämmöneristävyyttä. Tämä tapa on kallein, mutta antaa mahdollisuuden monenlaisiin rakenneratkaisuihin. (Neuvonen 2006, 169.) Tämä tapa kuluttaa myös eniten uudismateriaaleja, joita tässä tapauksessa halutaan hyödyntää mahdollisimman vähän.

4.3 Uudelleenkäytön suunnittelu

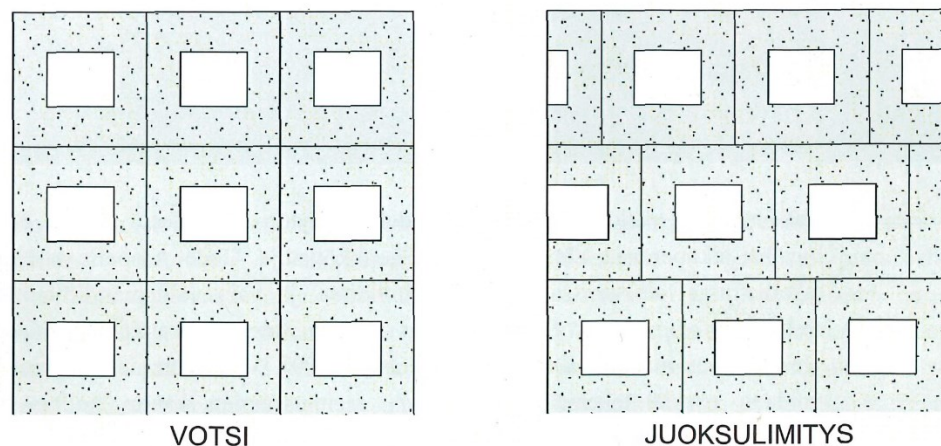
Elementin uudelleenkäyttöön vaikuttaa suuresti rakennuksen ikä, käyttötarkoitus ja materiaalien kokema rasitus. Esimerkiksi sisäympäristöön suunniteltuja elementtejä ei voida käyttää ulkoseinässä, koska uudessa käyttötarkoituksessa elementti ei voi altistua aiempaa kovemmalle rasitukselle.

Kantavia elementtejä voidaan käyttää uudelleen kantavina rakenteina, mikäli ne ovat rakenteen kapasiteetin mukaiset. Käytännössä tämä tarkoittaa, että uuden kohteen tulee olla jänneväleiltään ja päämitoiltaan pienempi tai vastaava kuin vanha kohde. Ennen uudelleenkäyttöä tulee kuitenkin tarkistaa vanhan rakenteen kantavuuden säilyminen. Tätä voidaan tutkia erilaisin laboratoriokelein. (Huuhka 2010, 29–31.)

Uudiskohteen tyyppi määrittelee, miten elementtiä tulee korjata nykypäivän määräyksiä vastaavaksi. Useimmissa tapauksissa lämmöneristettä tulee lisätä, jotta seinän U-arvo täyttyy, esimerkiksi jos vanhoja sandwich-elementtejä halutaan käyttää lämpimien tilojen julkisivuissa. Kylmissä rakenteissa tarvitaan monesti sen sijaan uusi pintaverhoilu tai -käsittely vaurioitumisen pysäyttämiseksi (Huuhka 2010, 35). Muita haasteita uudelleenkäytölle voivat olla myös elementin mitat, esimerkiksi vanhat elementit on mitoitettu nykyistä matalamman kerroskorkeuden mukaan.

Betonirakenteet on mitoitettu siten, että niiden kantavuus on riittävä ilman raudoitusta. Näin ollen ulkoseiniä voidaan leikata timanttisahalla, vaikka raudoituksessa olisi katkeamia. Leikkaaminen kannattaa tehdä elementin ollessa lapellaan, koska sen kustannukset ovat noin puolet seinäsahauksen hinnasta. (Huuhka 2010, 79.) Elementtejä voidaan siis leikata melko vapaasti erilaisiin muotoihin, mikä parantaa niiden uudelleenkäytön mahdollisuuksia. Huuhkan (2010, 79) mukaan niihin voidaan leikata myös uusia aukkoja tai muurata umpeen olemassa olevia, mutta käytännöllisempi tapa kuin uusien aukkojen luonti on leikata elementti pystysuuntaisiksi paloiksi aukkojen kohdalta. Näin aukot ovat pystysuuntaisia ja sijoittuvat uudessa rakennuksessa uusina rakenteina elementtien väliin.

Uudelleenasennettaessa sandwich-elementtien liitokset tulee suunnitella uudestaan sekä elementin ulkokuorta kannattavien ansasten kunto tulee tarkistaa. Elementtien liittämisessä voidaan käyttää erilaisia betoniin pultattavia teräsosia. Asennettaessa elementtien ei tarvitse olla votsissa, jolloin elementtien saumat muodostavat yhtenäisen ruudukon, vaan ne voidaan asentaa esimerkiksi limittäin. Elementtien liitoskohtaan voi syntyä helposti halkeama, minkä takia votsilimitys tai ikkunoiden sijoitus elementtien väleihin on potentiaalinen vaihtoehto. (Huuhka 2010, 79–82.)



Kuva 8. Votsi ja juoksulimitys (Huuhka 2010, 80).

5. YHTEENVETO

BES-järjestelmän mukaiset elementit ovat uudelleenkäytettävissä, mutta siihen liittyy muutamia haasteita. Järjestelmä on mahdollistanut rakennusosien yhdenmukaisuuden toistensa kanssa, minkä johdosta eri valmistajien tuotteita voidaan käyttää keskenään. Näin ollen uudelleenkäytettävät sandwich-elementit sopivat rakenteellisesti yhteen, vaikka ne olisivat eri valmistajien tuottamia. BES-järjestelmän periaatteet ovat pysyneet melko samanlaisina 70-luvun alusta nykypäivään asti, minkä ansiosta rakennuksessa voidaan hyödyntää eri aikakausien elementtejä. Huonekorkeudet ovat kuitenkin muuttuneet kyseisen aikavälin aikana, mikä voi tuoda haasteita rakennusten suunnitteluun.

Julkisivuissa käytetyt sandwich-elementit ovat jatkuvasti alttiina sään rasituksille, minkä takia vanhoja elementtejä on yleensä huollettava. Betonirakenteiden vaurioita on tutkittu paljon ja erilaisille vaurioille löytyy yleensä oma korjaustapansa. Näin ollen vanhojen elementtien vauriot eivät välttämättä ole este niiden uudelleenkäytölle, elleivät vauriot ole edenneet liian syväälle rakenteisiin. Näiden lisäksi, uudelleenkäytön kohteesta riippuen, elementtien lämmöneristävyttä on todennäköisesti parannettava. Tämä voidaan toteuttaa uudella rakenteella vanhan elementin pintaan tai vanhan ulkokuoren ollessa liian vaurioitunut elementin uudelleenkäytön kannalta, ulkokuori voidaan purkaa ja lämmöneristettä voidaan lisätä vanhan sisäkuoren ja uuden ulkokuoren väliin. Erilaisten korjaustapojen avulla voidaan vaikuttaa siis huomattavasti sandwich-elementin ulkonäköön, mikä luo vapauksia arkkitehtisuunnittelussa.

Koska rakennusteollisuudessa elementtien uudelleenkäyttö on vielä uutta, niiden purkamiselle ei ole kehittynyt toimivia käytäntöjä. Joka tapauksessa elementit tulee purkaa saumoistaan toisistaan irti, toistaiseksi toimivin tapa tähän on niiden auki piikkaaminen piikkausrobotilla. Myöskään rakennuksen purkamisesta syntyvälle uudelleenkäytettävälle materiaalille ei ole vakiintunut omia toimintatapoja, joten sen suunnittelulle on projektissa hyvä varata aikaa. Toimivin tapa olisi kuljettaa elementit suoraa työmaalta toiselle, muutoin niille olisi hyvä suunnitella varastointi ennen kohteesta toiseen siirtämistä.

Kun suunnitellaan rakennus vanhoja elementtejä hyödyntäen, niiden käyttöön liittyy erilaisia rajoitteita. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että vanhoja elementtejä voidaan käyttää uudisrakentamisessa vastaavanlaisissa osissa kuin niitä on aiemmin käytetty, esimerkiksi sandwich-rakenteita voi käyttää vain ulkoseinissä ja kantavat rakenteet voivat toi-

mia jatkossakin kantavina rakenteina. Sandwich-elementtien muoto on kuitenkin muokattavissa betonin kantavuuden ansiosta, mikä tuo vapauksia uuden rakennuksen arkkitehtisuunnitteluun.

Lainsäädäntö kannustaa enenevässä määrin jätteen kierrätykseen ja kiertotalouteen. Tämä puoltaa rakennuselementtien uudelleenkäytön tutkimusta ja sen toimivuuden kehittämistä. Tutkimuksen ja kehityksen myötä toimintatavat vakiintuvat ja toiminnasta tulee taloudellisempaa. Betonisten elementtien kierrätys on myös oleellista ilmastonmuutoksen kannalta, koska uudelleenkäyttämällä esimerkiksi sandwich-elementtejä ilmastonlämpenemispotentiaalia voidaan pienentää huomattavasti.

Tulevaisuudessa olisi hyvä tutkia elementtien uudelleenkäytettävyyden huomiointia jo niiden suunnitteluvaiheessa, esimerkiksi liitosten purettavuus. Tietoa löytyi melko vähän sandwich-elementtien muokattavuudesta, voitaisiinko elementtejä esimerkiksi korottaa ennen uudelleenkäyttöä. Tämä mahdollistaisi vapaamman mittamaailman vanhoja elementtejä käytettäessä.

LÄHTEET

- Asam, C., 2006. *Recycling prefabricated building components for future generations*. Berliini. IEMB info 1/2006. s. 2. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/294568696_Recycling_prefabricated_building_components_for_future_generations [Noudettu 13.4.2022].
- Betoniteollisuus Ry. *Saumat*. Saatavissa: <https://betoni.com/arkkitehtisuunnittelu/arkkitehtisuunnittelu/lattiat/saumat/> [Noudettu 12.4.2022].
- Haukijärvi, M., Hekkanen, M., Lahdensivu, J. & Mattila, J., 2009. *Juko: julkisivujen korjausopas 2009*. Helsinki: Julkisivuyhdistys. s. 41–42.
- Huuhka, S., 2010. *Kierrätys arkkitehtuurissa: betonielementtien ja muiden rakennusosien uudelleenkäyttö uudisrakentamisessa ja lähiöiden energiatehokkaassa korjaus- ja täydennysrakentamisessa*. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. s. 7–82.
- Jätelaki 12.6.2011/646. Finlex. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646#L2P8> [Noudettu 10.3.2022].
- Lahdensivu, J., Huuhka, S., Annala, P., Pikkuvirta, J., Köliö, A. & Pakkala, T., 2015. *Betonielementtien uudelleenkäyttömahdollisuudet*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. s. 3–78.
- Lindberg, R., Pentti, M. & Tulla, K., 1995. *Korjausrakentaminen. 5, Rakennusten julkisivu- ja ulkoseinärakenteiden korjaus*. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto. s. 12–66.
- Maankäyttö ja rakennuslaki 5.2.1999/132. Finlex. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L18P127> [Noudettu 10.3.2022].
- Neuvonen, P. 2006. *Kerrostalot 1880–2000: arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen*. Helsinki: Rakennustieto. s. 142–169.
- Pentti, M., Mattila, J. & Wahlman J., 1998. *Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus. Osa 1, Rakenteet, vauriot ja kunnan tutkiminen*. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. s. 19–75.
- RIL 216-2001. 2001. *Rakenteiden elinkaaritekniikka*. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto. s. 246–256.
- RT 82-10766. 2002. *Betoniset julkisivurakenteet*. RT-ohjekortti. Tampere: Rakennustieto. s. 4–13.
- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2022. *Dioksiinit ja PCB-yhdisteet*. Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ymparistomyrkyt/dioksiinit-ja-pcb-yhdisteet> [Noudettu 8.4.2022]
- Walden, V. 2020. *Paalulaatan pakkovoimien ja niiden vaikutusten arviointi*. Diplomityö. Helsinki: Aalto-yliopisto. s. 12.

Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus-, ja työtiloista 1008/2017. Finlex. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171008> [Noudettu 17.4.2022].

KUVALÄHTEET

Kuva 1: Neuvonen, P., 2006. *Kuva kirjahyllyrunkotyypeistä*. [Piiirros] Helsinki: Rakennustieto. s. 150. Muokannut Puumala, A.

Kuva 2: Koski-Lammi, T., 2013. *Leikkaus kantavasta ja kevyestä sandwich-elementistä*. [leikkauspiirros] Opinnäytetyö ylempi AMK. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu. Rakentamisen koulutusohjelma. s. 7. Muokannut Puumala, A.

Kuva 3: Haukijärvi, M., Hekkanen, M., Lahdensivu, J. & Mattila, J., 2009. *Kuva sandwich-elementin raudoituksesta ja kuoret yhteensitovasta ansaskiinnityksestä*. [Piiirros] Helsinki: Julkisivuyhdistys. s. 42.

Kuva 4: Pentti, M., Mattila, J. & Wahlman J., 1998. *Piiirros julkisivuelementin tappikiinnityksestä*. [Leikkauspiirros] Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. s. 33.

Kuva 5: Pentti, M., Mattila, J. & Wahlman J., 1998. *Ei-kantavan ja kantavan sandwich-elementin kiinnitystapa välipohjaan*. [Leikkauspiirros] Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. s. 32, 34. Muokannut Puumala, A.

Kuva 6: Lahdensivu, J., Huuhka, S., Annila, P., Pikkuvirta, J., Köliö, A. & Pakkala, T., 2015. *Suojahuokosten periaate*. [Piiirros] Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. s. 28.

Kuva 7: Ratu S-1221, 2009. *Purkusuunnitelma ja purkutöiden tehtäväsuunnittelu*. [Kaa-vio] RATU-menetelmäkortti. Espoo: Rakennustieto. s. 4.

Kuva 8: Huuhka, S. 2010. Kuva Votsista ja juoksulimityksestä julkisivussa. [Piiirros] Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. s. 80.