

**PUUN JA BETONIN YHDISTÄMINEN
ASUINKERROSTALORAKENTAMISESSA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Syksy, 2017

Arttu Valkama

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Visamäki

Tekijä	Arttu Valkama	Vuosi 2017
Työn nimi	Puun ja betonin yhdistäminen asuinkerrostalorakentamisessa	
Työn ohjaajat	Petri Lento, Juha Soilu, Ville Pulkkinen	

TIIVISTELMÄ

Puuta ja betonia yhdistetään asuinkerrostalorakentamisessa yhä enemmän. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia, mikä on järkevin tapa yhdistää puuta ja betonia asuinkerrostalorakentamisessa, jotta saadaan hyödynnettyä molempien materiaalien parhaat puolet mahdollisimman kustannustehokkaasti.

Suomessa rakentamismääräykset ohjaavat rakentamista hyvin paljon. Tässä opinnäytetyössä määräyksiä mietittiin pääasiassa ääni- ja paloteknisten asioiden kannalta ja pohdittiin, miten ne vaikuttavat materiaalivalintoihin. Puulle ja betonille on olemassa omat rakennejärjestelmänsä, mutta niiden yhdistelmä rakenteelle ei ole mitään yleisesti käytössä olevaa järjestelmää. Työssä tutustuttiin olemassa oleviin puun ja betonin rakennejärjestelmiin sekä pohdittiin puun ja betonin hyviä ja huonoja puolia rakennusmateriaalina.

Opinnäytetyötä varten haastateltiin seitsemää henkilöä, jotka työskentelevät rakennusteollisuudessa. Henkilöiltä kysyttiin heidän kokemuksiaan puun ja betonin yhdistämisestä sekä yhdistämisen hyödyistä, haitoista ja mahdollisista ongelmista. Haastatteluiden perusteella tehtiin hybridirakentamisen SWOT-analyysi.

Tällä hetkellä yleisin ja kustannustehokkain tapa puun ja betonin yhdistämiseen asuinkerrostalorakentamisessa on tehdä kantavat rakenteet betonista ja ulkoseinät puuelementeistä.

Opinnäytetyön toimeksiantajina toimivat Koskisen Oy ja Betonimestarit Oy.

Avainsanat puu, betoni, hybridi, asuinrakennukset

Sivut 29 sivua, joista liitteitä 0 sivua

Degree Programme in Construction and Civil Engineering
Visamäki

Author	Arttu Valkama	Year 2017
Subject	Combining wood and concrete in apartment building construction	
Supervisors	Petri Lento, Juha Soilu, Ville Pulkkinen	

ABSTRACT

Wood and concrete are combined in apartment building construction to an increasing extent. The purpose of this thesis commissioned by Koskisen Oy and Betonimestarit Oy was to find out which is the most sensible way to combine wood and concrete in apartment building construction to utilize the best of both materials in the most cost efficient way possible.

In Finland, construction is guided by building regulations to a great extent. In this thesis, the building regulations were mainly considered in terms of acoustics and fire and how they affect material choices. Wood and concrete have their own structural systems, but their combination structure does not have any commonly used system. The existing wood and concrete structural systems were discussed and the advantages and disadvantages of wood and concrete as a building material were considered in the thesis.

Seven people working in the construction industry were interviewed. They were asked about their experiences of combining wood and concrete, the benefits, disadvantages and potential problems. Based on the interviews, a SWOT analysis of the hybrid construction was made.

The results of the thesis show that at present, the most common and most cost-effective way to combine wood and concrete in apartment buildings is to make load-bearing structures from concrete and exterior walls from wooden elements.

Keywords Wood, concrete, hybrid, residential building

Pages 29 pages including appendices 0 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJAT	2
2.1	Koskisen Oy	2
2.2	Betonimestarit Oy	2
3	RAKENTAMISEN MÄÄRÄYKSET	2
3.1	Rakennusten paloturvallisuus	3
3.2	Rakennusten ääneneristys	4
3.3	Määräykset hybridirakentamisessa	6
3.4	Muuttuvat palomääräykset.....	6
4	PUUN JA BETONIN OMINAISUUDET RAKENNUSMATERIAALINA.....	6
4.1	Puu.....	6
4.2	Betoni	7
4.3	Puun ja betonin yhdistäminen	8
5	KÄYTÖSSÄ OLEVAT RAKENNEJÄRJESTELMÄT	10
5.1	Puu.....	10
5.1.1	Kantavat seinät -järjestelmä.....	10
5.1.2	Pilari-palkkijärjestelmä	10
5.1.3	Tilaelementit.....	11
5.2	Betoni	11
5.2.1	Pilarit-palkit-laatat-järjestelmä	11
5.2.2	Kantavat seinät-laatat -järjestelmä	12
5.3	1–3-kerroksiset hybridirakenteiset asuinkerrostalot.....	12
5.4	3–8-kerroksiset hybridirakenteiset asuinkerrostalot.....	14
5.5	Muut hybridijärjestelmät	15
5.5.1	SEPA.puubetonilaatta.....	15
5.5.2	CLT-betonilaatta	15
5.5.3	Life Cycle Tower.....	16
5.5.4	KIS-konsepti	18
6	HYBRIDIRAKENTAMISEN SWOT	19
6.1	Vahvuudet	20
6.2	Heikkoudet	20
6.3	Mahdollisuudet	21
6.4	Uhat.....	21
6.5	Hybridirakentamisen SWOT	21
7	HYBRIDIRAKENTAMISEN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	23
8	KUSTANNUKSET.....	24
9	YHTEENVETO	25
	LÄHTEET.....	27

1 JOHDANTO

Kiinnostus ekologisuuteen on kasvussa Suomessa, mikä ohjaa uusien rakennusratkaisujen kehittymiseen. Puu mielletään ekologiseksi materiaaliksi, ja puuta käytetäänkin yhä enemmän kerrostalorakentamisessa. Tutkimukset ovat osoittaneet puulla olevan myönteisiä fysiologia ja psykologisia vaikutuksia tilojen käyttäjille (Laukkanen 2017). Puun ja betonin yhdistelmä rakenne eli ns. hybridirakenne on yksi vaihtoehto lisätä puun käyttöä kerrostalorakentamisessa. Kahden eri materiaalin yhdistäminen antaa enemmän valinnanvaraa, jolloin päästään parempaan lopputulokseen.

Suomessa rakentamisen määräykset ovat tiukat, ja ne ohjaavat rakentamista hyvin paljon. Nykyiset palomääräykset rajaavat puun käyttöä asuin-kerrostalorakentamisessa. Palomääräyksiä ollaan kuitenkin päivittämässä, ja uusien määräysten pitäisi tulla voimaan vuonna 2018. Tällä toivotaan puun käytön lisääntyvän kerrostalorakentamisessa, millä olisi myönteinen vaikutus myös Suomen mekaaniseen metsäteollisuuteen.

Hybridirakentamiselle ei ole olemassa mitään yleisesti käytössä olevaa rakennejärjestelmää niin kuin betonille tai puulle. Hybridirakentamisen ajatuksena on käyttää oikeaa materiaalia oikeassa paikassa, jolloin materiaalille ominaisia piirteitä pystytään parhaiten hyödyntämään. Tällöin pystytään vähentämään rakentamiseen käytettyjen materiaalien määrää ja pienentämään rakentamisen kustannuksia.

Tämän opinnäytteen tavoitteena on selvittää, miten rakentamisen määräykset vaikuttavat materiaalivalintaan ja miten betonia ja puuta yhdistetään Suomessa ja maailmalla. Lisäksi mietitään, mikä onärkevin tapa yhdistää puuta ja betonia ottaen huomioon materiaalin ominaisuudet ja kustannukset. Hybridirakentamisen hyvien ja huonojen puolien selvittämistä varten haastateltiin seitsemää rakennusalalla työskentelevää henkilöä. Näiden haastatteluiden perusteella koottiin hybridirakentamisen SWOT-analyysi.

2 OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJAT

2.1 Koskisen Oy

Koskisen Oy on yli satavuotias suomalainen puunjalostuksen perheyrittäjä. Yritys on aloittanut sahateollisuudessa vuonna 1909. Vuosien saatossa yrityksen toiminta on laajentunut vaneri-, lastulevy- ja taloteollisuuteen. Vuonna 2016 Koskisen Oy:n liikevaihto oli 246 miljoonaa euroa, ja se työllisti lähes 1100 työntekijää. Yrityksellä on viisi tuotantolaitosta, joista suurin sijaitsee Järvelässä.

Taloteollisuuteen kuuluvat tuotantolaitokset sijaitsevat Vierumäellä ja Järvelässä. Järvelässä valmistetaan kattoristikkoita ja Vierumäellä puuelementtejä. Taloteollisuuden osuus liikevaihdoista on 5 % (14 M€), ja se työllistää 79 henkilöä. Koskisen taloteollisuus tarjoaa puuelementtiratkaisuja Herrala-pientaloista suuriin kerrostalohankkeisiin. Yli 60 % taloteollisuuden liikevaihdosta tulee ammattirakentamisesta. (Koskisen Oy n.d.)

2.2 Betonimestarit Oy

Betonimestarit Oy:n toiminta on aloitettu vuonna 1988. Yritys on Suomen kolmanneksi suurin betonielementtien valmistaja. Vuonna 2016 Betonimestarit Oy fuusioitui virolaisen betonielementtien valmistavan AS TMB:n kanssa. AS TMB:n ja Betonimestarit Oy:n yhteenlaskettu liikevaihto on noin 100 miljoonaa euroa, josta Betonimestarit Oy:n osuus on noin 42 miljoonaa euroa (Taloussanomat n.d.). Yrityksellä on kuusi tuotantolaitosta Suomessa, jotka valmistavat seinä- ja laattaelementtejä sekä erilaisia pila-reita ja palkkeja. Yrityksen kohteet vaihtelevat tehdaskokoisista rakennuksista pieniin toimituksiin, kuten yksittäisiin hallirakennuksiin.

3 RAKENTAMISEN MÄÄRÄYKSET

Suomessa maankäyttöä ja rakentamista ohjaa vuonna 2000 voimaan tullut maankäyttö- ja rakennuslaki. Tässä laissa määritellään olennaisimmat tekniset vaatimukset, jotka koskevat rakenteiden lujuutta ja vakautta, paloturvallisuutta, ääniolosuhteita, terveellisyyttä, käyttöturvallisuutta, esteettömyyttä, meluntorjuntaa ja energiatehokkuutta. Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kootaan tarkemmat ohjeet ja säännökset, jotka koskevat rakentamista. Rakentamismääräyskokoelman lisäksi Suomessa on käytössä yhteiseurooppalaiset mitoitusohjeet eli eurokoodit. Eurokoodit ovat käytössä rakenteiden mitoituksessa ja suunnittelussa. (Ympäristöministeriö 2016.) Tässä opinnäytetyössä rakentamismääräyksiä mietitään pääasiassa ääni- ja paloteknisten asioiden kannalta.

3.1 Rakennusten paloturvallisuus

Rakennuksen rakenteiden paloturvallisuusmääräykset ja -ohjeet on esitetty rakentamismääräyskokoelman kohdassa E1, joka on uudistettu vuonna 2011. Suomessa rakennukset jaetaan kolmeen paloluokkaan P1, P2 ja P3. Kaksikerroksiset asuinrakennukset kuuluvat luokkaan P3, mikäli niiden korkeus ei ylitä yhdeksää metriä. 5–8-kerroksinen asuinrakennus kuuluu paloluokkaan P2, mikäli se ei ylitä 26 metrin korkeutta. Kantavat ja osastoivat rakennusosat jaetaan luokkiin sen mukaan, miten ne kestävät paloa. (Rakennusten paloturvallisuus n.d.)

Rakennusosiin kohdistuvat vaatimukset kuvataan seuraavin kirjaimin: R (kantavuus), E (tiivuus), EI (tiivuus ja eristävyys), REI (kantavuus, tiivuus ja eristävyys). Merkintöjen R, RE, REI, E, EI jälkeen ilmoitetaan palonkestävyysaika minuuteissa yhdellä seuraavista luvuista: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 tai 240. Kirjaimista ja luvusta muodostuva merkintä kuvaa rakennusosan paloluokkaa. Suojaverhusten luokat kuvataan merkinnöillä K₁10, K₂10, K₂30, K₂60. (Rakennusten paloturvallisuus n.d.)

Rakennustarvikkeet jaetaan luokkiin sen perusteella, miten ne vaikuttavat palon syttymiseen ja sen leviämiseen sekä savun tuottoon ja palavaan pisarointiin. Rakennustarvikkeiden luokat lattiapäällysteitä lukuun ottamatta kuvataan merkinnöillä A1, A2, B, C, D, E, F. Savun tuotto ja palava pisarointi kuvataan lisämerkeillä s ja d. Savun tuoton luokitus on s1, s2, s3, ja palavan pisaroinnin d0, d1, d2. (Rakennusten paloturvallisuus n.d.)

Rakennus tulee yleensä jakaa palo-osastoihin palon ja savun leviämisen rajoittamiseksi. Palo-osasto on rakennuksen osa, josta palon leviäminen on estetty määrätyn ajan. Asuinkerrostalossa jokainen huoneisto on itsenäinen palo-osasto, ja tästä syystä huoneistojen väliset seinät on tehtävä palonkestävyydeltään luokkaan EI 60. Välipohjat on mitoitettava palonkestävyydeltään REI60-luokkaisiksi. Palon kehittymisen hidastamiseksi rakennuksen pinnoille vaaditaan useimmissa tapauksissa K230-suojaverhous A2-s1, d0 -tarvikkeista. Yläpohjan kantavat rakenteet on mitoitettava palonkestävyydeltään R60-luokkaisiksi. Parvekkeet on suunniteltava niin, että palo ei pääse leviämään niiden kautta. Parvekkeiden palonkestävyydeksi riittää puolet kantavien rakenteiden palonkestävyydestä eli R30. (Rakennusten paloturvallisuus n.d.)

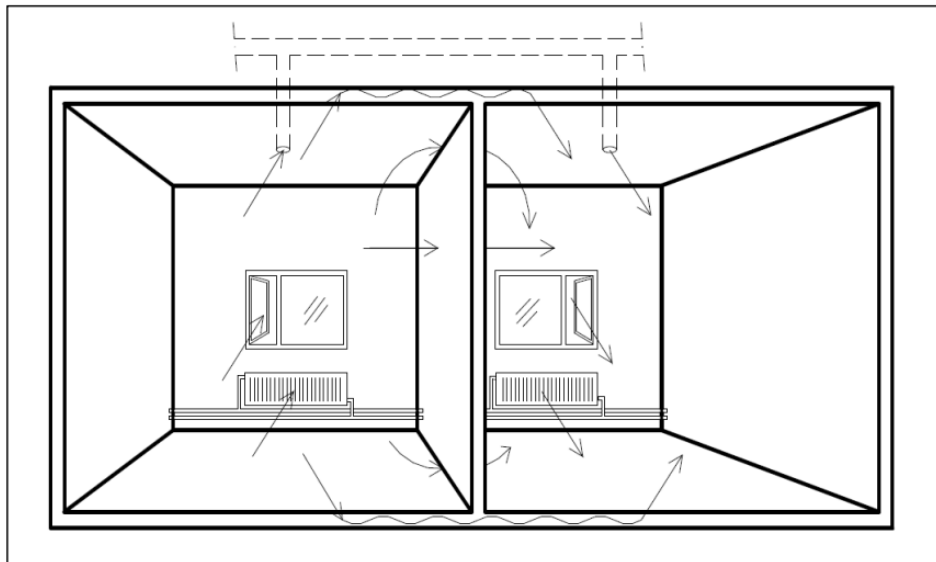
Vuonna 2011 voimaan tulleet määräykset mahdollistavat puurunkoisen tai puulla verhoillun rakennuksen rakentamisen P2-luokassa kahdeksaan kerrokseen asti. P2-luokan asuinkerrostalo voidaan toteuttaa puurunkoisena sillä edellytyksellä, että 3–4-kerroksinen asuinrakennus varustetaan vähintään SFS-5980-standardin 2-luokan vaatimustasoisella mukaisella automaattisella sammutusjärjestelmällä ja 5–8-kerroksinen asuinrakennus vähintään SFS-EN 12845 -standardin OH-luokan vaatimustason mukaisella automaattisella sammutusjärjestelmällä. 5–8-kerroksisissa asuinrakennus-

nuksissa sammutusjärjestelmä tulee myös varustaa varmennetulla vesilähteellä. Palomääräysten mukaan P2-luokan yli kaksikerroksisen puu-ulkoverhoillun puutalon palon leviämistä ulkoseinärakenteissa tulee rajoittaa palokatkoilla ja paloräystäällä. Palokatkot asennetaan ulkoverhouksen tuuletusrakoon, joka estää palon leviämisen tuuletusraossa. Paloräystään tarkoituksena on estää palonleviäminen yläpohjarakenteisiin. Ensimmäisen kerroksen ulkoverhouksen tulee täyttää B-s2, d0 -luokkavaatimus. Toisen ja siitä ylöspäin olevien kerrosten ulkoverhouksen tulee täyttää D-s2, d2 -luokkavaatimus. Mikäli ensimmäisessä kerroksessa käytetään puu-ulkoverhousta, se täytyy käsitellä palonsuoja-aineella. (Tolppanen 2013, 136–139.)

Betoni on täysin palamaton materiaali, ja se luokitellaan parhaaseen A1-luokkaan. Joitakin hoikkia rakenteita lukuun ottamatta betoni kestää aina vähintään tunnin standardipalon. Palonkesto saadaan neljän tunnin luokkaan betonipeitettä kasvattamalla, ja tällöin betonirakenne kestää koko palon sortumatta. Betoni estää palon leviämisen ja toimii luotettavana osastoivana rakenteena. (Betoni n.d.)

3.2 Rakennusten ääneneristys

Rakennuksen ääneneristys- ja meluntorjuntavaatimukset on esitetty rakentamismääräyskokoelman kohdassa C1, josta viimeisin versio on astunut voimaan 1998. Suomessa asuinrakennusten äänieristysvaatimukset ovat tiukkoja. Esimerkiksi huoneistojen välinen ääneneristys tulee olla sellainen, että voimakaskaan puhe ei kuulu lävitse. Määräyksissä on vaatimukset ilma- ja askeläänieristävyydelle. Asuinhuoneistojen välillä pienin sallittu ilmanäänieristysluku R'_{w} on 55dB ja suurin sallittu askeläänitasoluku $L'_{n, w}$ 53dB. Välipohjien askelääniluvun tulee olla enintään 53 dB. Ilmatiiviys on äänieristämisen kannalta myös hyvin tärkeää. Rakenteiden ja niiden liitosten tulee olla ilmatiiviitä, sillä sisäiset ilmavuodot heikentävät rakenteiden äänieristävyttä (Kuva 1). (Betoni n.d.)



Kuva 1. Äänen siirtymäreittejä rakennuksessa (Akustiikan perusteita n.d).

Puurakennuksissa riittävä ääneneristävyys saavutetaan käyttämällä monikerrosrakenteita. Puurakenteisessa asuinkerrostalossa tulee kiinnittää huomiota erityisesti matalien taajuuksien eristämiseen, joita ovat esimerkiksi askeläänet. Tämä korostuu erityisesti välipohjissa. Suurin osa äänistä on kuitenkin korkeataajuuksisia, kuten esimerkiksi puhe, joita puukerrostalon monikerrosrakenteet eristävät hyvin.

Huoneistojen väliset seinät tehdään kaksoisrunkoisina, jolloin runkojen väliin jää ilmatila, mikä estää äänen siirtymistä rungosta toiseen. Kaksirunkoisessa rakenteessa on tärkeää, että rungot ovat irti toisistaan. Välipohjat tehdään myös monikerrosrakenteena. Perinteisesti käytetään kelluvaa pintalaattaa, ja alakattolevytys asennetaan akustisten jousirankojen vaaraan. Välipohjien matalientaajuuksien eristämistä voidaan parantaa lisäämällä välipohjien massaa. Massan lisäys voidaan tehdä kelluvaan pintalaattaan. Rakennuksen ulkovaipalle ei rakentamismääräyskokoelmassa ole erityisiä vaatimuksia, vaan tarvittaessa ne annetaan kaavamääräyksissä. Ulkoseinän ilmatiiveydellä ja muiden rakennusosien liittymien tiiveydellä on merkittävä vaikutus ääneneristävyyden kannalta. (Tolppanen 2013, 157–169.)

Massiivisilla betonirakenteilla ääneneristysvaatimukset ovat helppo täyttää. Rakennusteollisuus RT:n äänitekninen asiantuntijaryhmä on tehnyt asuinkerrostalolle rakennesuositukset, joilla ääneneristävyyksivaatimukset täyttyvät. Huoneistojen väliseksi seinäpaksuudeksi suositellaan 200 mm. Ala- ja välipohjalaatoiksi sopivat ontelolaatat, jotka ovat 370 mm paksuja; vaihtoehtoisesti ala- ja välipohjalaattana voi olla vähintään 280 mm paksu paikallaanvalettu laatta. Ulkoseinärakenne voi olla sandwich-elementti tai 150 mm paksu sisäkuorielementti. Laminaatin ja parketin alla tulee käyttää

markkinoiden parhaita alusmateriaaleja. Tällainen on esimerkiksi Karelian Tplex-alusmateriaali, jossa kahden polyeteenikalvon välissä on polystyreenirakeita. (Elementtisuunnittelu n.d.)

3.3 Määräykset hybridirakentamisessa

Hybridirakenteinen kerrostalo, jossa kantavana rakenteena toimii betoni, on paloluokaltaan P1. P1-paloluokkaan kuuluvan rakennuksen kantavien rakenteiden oletetaan pääsääntöisesti kestävän palossa sortumatta, eikä rakennuksen kokoa tai henkilömäärää ole rajoitettu. Ulkoseinässä tulee P1-luokan rakennuksessa käyttää pääosin vähintään B-s1, d0-luokan rakennustarvikkeita. Jos käytetään puuverhousta, sen täytyy olla palosuojattu. Yli kaksikerroksisen kantamattoman ulkoseinän runko voidaan tehdä D-s2, d2 -luokan tarvikkeista, ja tällöin lämmöneristeenä tulee käyttää vähintään A2-s1, d0 -luokan tarvikkeita. Runko voidaan tehdä käsittelemättömästä sahatavarasta, jos lämmöneristeenä käytetään kivivillaa. Ulkoverhouksen tuuletusrako tulee varustaa kerroksittain palokatkoilla palon leviämisen rajoittamiseksi. P1-luokan rakennukseen ei vaadita automaattista sammutuslaitteistoa. Hybridirakentamisessa tulee erityistä huomiota kiinnittää puun ja betonin liitoskohtiin, jotta ääneneristysmääräykset täyttyvät (Rakennusten paloturvallisuus n.d.)

3.4 Muuttuvat palomääräykset

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E1, Rakennusten paloturvallisuus, on uudistumassa, ja uusi asetus astuu voimaan vuoden 2018 alussa. Uudella asetuksella pyritään asetuksen tulkintojen vähentämiseen, mikä sujuvoittaa rakentamishanketta ja parantaa yritysten toimintaedellytyksiä sekä alentaa rakentamisen kustannuksia. Asetuksessa uutena paloluokkana on P0, joka kuvaisi sitä, että rakennus on suunniteltu jonkun olennaisen teknisen vaatimuksen osalta tai oletettuun palonkehitykseen perustuen. P2-paloluokan muutokset lisäävät rakennusmateriaalien välistä kilpailua, ja tällä voi olla myönteinen vaikutus Suomen mekaaniseen metsäteollisuuteen mahdollisesti lisääntyvän puunkäytön myötä. P2-paloluokan rakennusten sisä- ja ulkopinnan suojaverhousvaatimusten keventämisen toivotaan laskevan rakentamisen kustannuksia. Yli 2-kerroksisten P2-paloluokan rakennusten korkeuden kasvattaminen 26 metristä 28 metriin helpottaa 8-kerroksisten rakennusten toteutusta. (Jantunen 2016.)

4 PUUN JA BETONIN OMINAISUUDET RAKENNUSMATERIAALINA

4.1 Puu

Puu on ekologinen materiaali, ja siitä tehdyn rakennuksen hiilijalanjälki on pienempi kuin vastaavan betonirakennuksen. Puu on hygroskooppinen

materiaali: se imee itseensä kosteutta ja pyrkii tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa. Puu alkaa kuitenkin vaurioitua, jos sen kosteus pysyy pitkiä aikoja yli 20 %:n. Rakentamisen kannalta ongelmallisena voidaan pitää sitä, että puun tilavuus muuttuu kosteusvaihtelun seurauksena. (Puuinfo n.d.)

Rakennusmateriaalina puu on suorituskykyinen. Se on kevyt materiaali suhteessa sen lujuteen. Puulla on myös erinomaiset lämmöneristysominaisuudet. Keveytensä ansiosta puusta on mahdollista tehdä suuriakin seinäelementtejä, mikä vähentää elementtien kokonaismäärää ja niiden asennusaikaa. Puun keveyden vuoksi puuelementtien asentamiseen ei tarvita suuritehoista nosturia vaan pienempikin riittää, jolloin asennusaikana säästetään kustannuksissa. Puuelementit ovat teollisesti hyvin pitkälle valmistettuja: niissä on mm. ulkoverhous valmiina sekä ikkunat ja ovet asennettuina. Teollisessa valmistamisessa päästään parempaan mittatarkkuuteen, ja työmaalle jää vähemmän tehtäviä työvaiheita. (mt.)

Puu on palava materiaali, mutta myös paloturvallinen materiaali. Palotilanteessa puun kuormankestävyys ja sen sortuminen ovat ennakoitavissa. Yli kaksikerroksinen puurunkoinen kerrostalo tulee varustaa automaattisella sammutusjärjestelmällä, mikä toisaalta lisää paloturvallisuutta. Puu eristää huonosti ääntä, joten jotta ääneneritysmääräykset täyttyisivät, joudutaan tekemään monikerrosrakenteita. (Puuinfo n.d.)

Seuraavaksi listataan puun hyvät ja huonot puolet.

Puun hyvät puolet

- ekologinen
- luja suhteessa painoon
- kevyt
- hyvät lämmöneristysominaisuudet
- teollisesti pitkälle valmistetut elementit.

Puun huonot puolet

- palava
- huonosti ääntä eristävä
- ei kestä pitkäaikaista kosteusrasitusta (kosteuskäyttäytyminen).

4.2 **Betoni**

Betoni on eniten käytetty rakennusmateriaali maailmassa. Tämän mahdollistaa yksinkertainen valmistusteknologia ja hyvä saatavuus. Betonilla on pitkä historia kerrostalorakentamisessa, joten työtavat ovat tunnetut. Kivipohjaisena materiaalina betoni on luja, kestävä ja vähän huoltoa vaativa. Betonilla on erittäin hyvä puristuslujuus, mutta sen vetolujuus on vain 10

% puristuslujuudesta. Betonisella rakenteella päästään pitkiin jänneväleihin. Betoni on erittäin pitkäikäinen materiaali, ja siitä tehdyt rakenteet voidaan suunnitella jopa 200 vuoden käyttöäälle. (Betoni n.d.)

Palamattomana materiaalina betoni ei vaadi mitään erityisratkaisuja palomääräysten täyttämiseksi. Betoni on painava materiaali, joten sillä on hyvät ääneneristysominaisuudet. Painosta voi olla myös haittaa, sillä se rajoittaa esimerkiksi seinäelementtien kokoa. Betonista ei kannata valmistaa yhtä suuria seinäelementtejä kuin puusta. Betoni kestää erittäin hyvin kosteutta, mutta sen tulee antaa kuivua riittävästi ennen pinnoitusta. Betoni ei sisällä orgaanista materiaalia, joten se ei voi toimia mikrobien kasvualustana. (Betoni n.d.)

Seuraavaksi listataan betonin hyvät ja huonot puolet.

Betonin hyvät puolet

- hyvin ääntä eristävä
- palamaton
- luja ja jäykkä
- pitkät tukipisteiden välit
- hyvä kosteudenkesto.

Betonin huonot puolet

- painava
- kuivumisaika on pitkä | Betonin kuivuttava riittävästi ennen pinnoitusta

4.3 Puun ja betonin yhdistäminen

Puu on ekologinen materiaali, ja Suomessa metsät kasvavat enemmän kuin niitä käytetään. Betoni on luonnon raaka-aineista valmistettu, sillä kaikkien sen raaka-aineet saadaan maaperästä. Puu on luja materiaali sen painoon nähden. Myös betoni on luja materiaali, mutta 4–5 kertaa puuta painavampi. Betoni kestää erittäin hyvin kosteutta, kun taas puu alkaa vaurioitua, jos se on pitkiä aikoja yli 20 %:n kosteudessa. Puu kuivataan teollisesti ennen käyttöä, joten se ei vaadi kuivattamista, mutta betonin täytyy rakentamisen aikana antaa kuivua riittävästi ennen pinnoittamista. Rakentamisen aikana kumpikin materiaali vaatii kuivattamista, jos ne saavat kosteutta.

Hyvän kosteudenkeston ja lujuutensa vuoksi betoni on paras vaihtoehto maata vasten tulevissa rakenteissa kuten anturoissa, sokkeleissa ja alapohjassa. Välipohjarakenteissa betonin käyttö on myös perusteltua, koska sillä päästään pidempiin jänneväleihin kuin puulla. Tämä helpottaa asunonsuunnittelua, kun kantavia rakenteita tarvitaan vähemmän. Asuinkerrosta-

lossa välipohjan täytyy täyttää palo- ja äänimääräykset, jotka täyttyvät yksinkertaisella betonirakenteella. Puisen välipohjarakenteen tulee olla palo- ja äänimääräysten täyttämiseksi monikerrosrakenteena, mikä ei ole yhtä kustannustehokas kuin betonista tehty välipohja. Välipohjien tekeminen betonista edellyttää myös muiden kantavien rakenteiden toteuttamista betonista, sillä puurakenne ei kestäisi siitä tulevia kuormia.

Kantavina rakenteina toimivat yleensä huoneistojenväliset seinät, jotka toimivat myös palo-osastoivina rakenteina. Huoneistosuunnittelusta riippuen, mikäli kaikkien huoneistojenvälisten seinien ei tarvitse toimia kantavana rakenteena, voi ei-kantavat huoneistojenväliset seinät toteuttaa puurakenteisena. Ei-kantavat ulkoseinät ovat järkevä tehdä puuelementeistä. Puuelementit pystytään esivalmistamaan kuivissa tehdasoloissa hyvin pitkälle, jolloin niissä on valmiina esimerkiksi ulko- ja sisäverhous sekä ikkunat ja ovet. Pitkälle esivalmistetut elementit vähentävät työmaalla tehtäviä töitä ja täten nopeuttavat työmaan etenemistä. Yläpohja on järkevä tehdä palo-osastoinnin vuoksi betonista. Katto voi olla tasakatto tai betonisen yläpohjan päälle tehty puurakenteinen katto. Puurakenteinen katto voi olla toteutettu puuelementeistä tai puuristikoista.

Alla olevaan taulukkoon on listattu yhteenvetona betonin ja puun ominaisuuksia rakennusmateriaalina (Taulukko 1).

Taulukko 1. Puun ja betonin ominaisuudet rakennusmateriaalina

	 Betoni	 Puu
Paino	2500 kg/m ³	300 - 550 kg/m ³
Lujuus	Luja ja jäykkä	Luja suhteessa painoon
Lämmöneristys	Huono	Hyvä
Palon kesto	Palamaton	Palava
Ääneneristys	Hyvä	Huono, hyvä monikerrosrakenteena
Kosteudenkesto	Hyvä	Ei kestä pitkiä aikoja yli 20 %:n kosteudessa
Kosteus	Annettava kuivua ennen pinnoitusta	Toimitetaan kuivana työmaalle
Työstettävyys	Tuoreena hyvä, kuivana huono	Hyvä
Kuljetus ja asennus	Paino tuo kuljetukseen lisäkustannuksia. Asennuksessa tarvitaan järeämpää nosturia.	Saadaan kuljetettua enemmän kerralla. Asennus onnistuu kevyemmälläkin nosturilla.
Elementit	Paino rajoittaa elementtien kokoa	Pitkälle esivalmistettu. Voidaan tehdä suuria elementtejä
Välipohjan jänneväli enint.	20 m (Ontelolaatta)	8 m (Ripalaatta)
Ulkoseinän pituus	9 m	12 m

5 KÄYTÖSSÄ OLEVAT RAKENNEJÄRJESTELMÄT

5.1 Puu

5.1.1 Kantavat seinät -järjestelmä

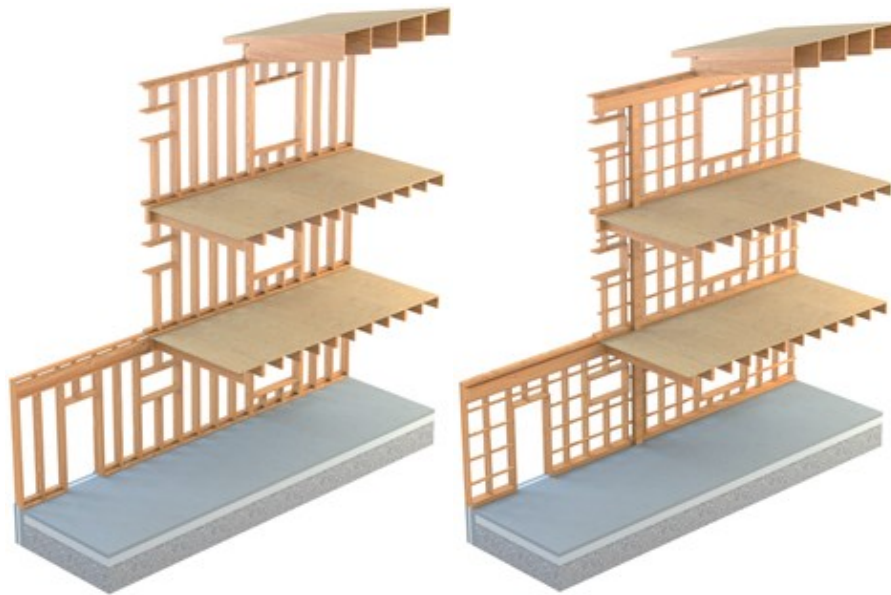
Yleisimmin käytetty järjestelmä puukerrostalorakentamisessa on kerrosittainen kantaviin seiniin perustuva järjestelmä. Kantavina rakenteina toimivat seinät, joille johdetaan vaakarakenteiden kuormat. Kantavat seinät voivat olla rankarakenteisia (Kuva 2) tai massiivipuisia suurelementtejä. Yleisin tapa on käyttää rankarakenteisia suurelementtejä. Kantavia rakenteita ovat yleisesti ulkoseinät ja huoneistojen väliset seinät. Huoneistojen väliset seinät joudutaan joka tapauksessa tekemään paksuiksi palo- ja ääneneristyksen vuoksi. Ääneneristyksen vuoksi huoneistojen väliset seinät tehdään kaksirunkoisina.

Kantavat ja ei-kantavat ulkoseinät ovat rakenneperiaatteeltaan samanlaisia. Kantavia huoneiston sisäisiä seiniä pyritään välttämään, koska ne ovat paloteknisesti haastavia ja vaikeuttavat huoneiston muunneltavuutta. Rankarunkoisessa rakennuksessa käytetään yleisesti levyjäykistystä. Jäykistävinä rakenteina toimivat osa seinistä sekä vaakarakenteet. Välipohjarakenne voi olla esimerkiksi rankarakenteinen palkkivälipohja, kotelo- tai ripalaatta. Puisilla välipohjarakenteilla päästään noin seitsemän metrin jännevälimittoihin. Jännevälimittoja on mahdollista kasvattaa esimerkiksi puun ja betonin liittorakenteella. Elementtirakentamisessa tulee kiinnittää erityistä huomiota elementtien saumojen tiiveyteen. (Tolppanen 2013, 39.)

5.1.2 Pilari-palkkijärjestelmä

Pilari-palkkijärjestelmässä liima- tai kertopuiset pilarit ja palkit muodostavat rakennuksen rungon (Kuva 2). Vaakarakenteet ja ulkoseinät tukeutuvat palkkien varaan. Ulkoseinät on yleisesti toteutettu rankarakenteisina, ja ne ovat ei-kantavia seiniä. Välipohjana on yleisimmin käytetty ripalaatta-välipohjaelementtiä, joka koostuu kantavista puurivoista ja niiden yläpuolisesta levyrakenteesta. Rakennus jäykistetään yleisesti mastopilarein ja vinositein sekä lisäksi tarvittaessa levyjäykistyksin.

Pilari-palkkijärjestelmän hyviä puolia ovat suunnittelu ja muuntojoustavuus, kun kantavia väliseiniä ei ole. Väliseinien muuttaminen täytyy kuitenkin suunnitella hyvin tarkkaan. Tämä johtuu siitä, että välipohjalaatat tulee katkaista huoneistojen välisten väliseinien kohdalta värähtely- ja äänitekniikan vuoksi. (Tolppanen 2013, 46.)



Kuva 2. Havainnekuva rankarakenteisesta ja pilari-palkkijärjestelmästä (Puuinfo n.d).

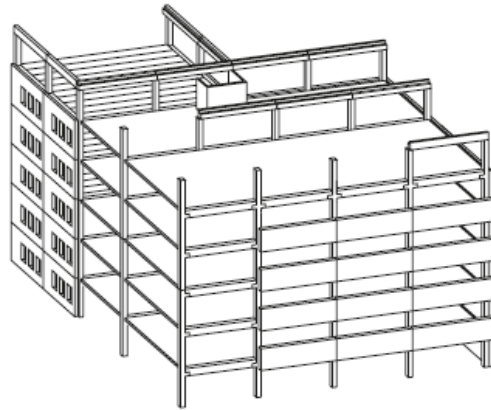
5.1.3 Tilaelementit

Tilaelementtijärjestelmässä elementit ovat tehtaalla valmistettuja valmiin rakennuksen lohkoja. Tilaelementit sisältävät yleensä valmiin lattian, seinät ja katon. Tilaelementtejä voidaan käyttää myös silloin, kun rakennus tehdään jollain toisella rakennejärjestelmällä. Tällöin tilaelementit ovat pienempiä rakennuksen osia, kuten esimerkiksi WC- ja kylpyhuonetiloja. Tilaelementtien etu on työmaavaiheen nopeus. Tilaelementtien käyttö on Ruotsin yleisin tapa rakentaa puukerrostalo. (Tolppanen 2013, 48.)

5.2 Betoni

5.2.1 Pilarit-palkit-laatat-järjestelmä

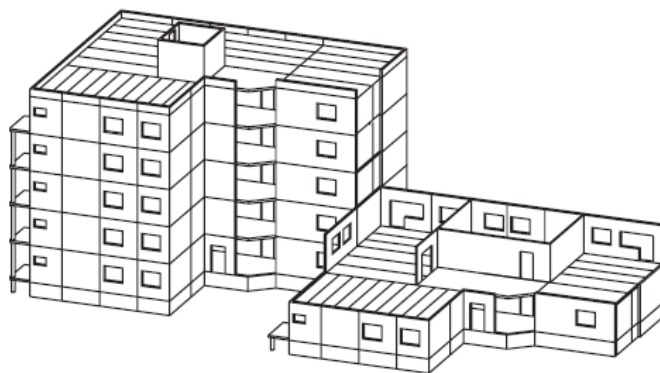
Pilarit-palkit-laatat-järjestelmä on yleinen tapa rakentaa toimisto- ja liikerakennuksia Suomessa (Kuva 3). Kantavana pystyrakenteena käytetään betonisia pilareita. Pilarit kiinnitetään jäykästi perustuksiin ja mitoitetaan kestämään kaikki ulkoiset ja sisäiset kuormat mastorakenteina. Vaakarakenteena käytetään ontelo- ja kuorilaattoja, jotka tuetaan päistä suora-kaide- tai leukapalkeille. Järjestelmän yleisin jäykistystapa on mastojäykistys, jolloin jäykistävänä rakenteena toimivat pilarit. Jäykistävänä rakenteena voi toimia myös hissi- ja porraskuilu, jotka toimivat jäykistystorkeinena. (Elementtisuunnittelu n.d.)



Kuva 3. Pilari-palkki-runko (Elementtisuunnittelu n.d).

5.2.2 Kantavat seinät-laatat -järjestelmä

Kantavat seinät-laatat -järjestelmä on Suomessa yleisin tapa rakentaa betoninen asuinkerrostalo (Kuva 4). Kantavina rakenteina toimivat ulko- ja huoneistojen väliset seinät. Välipohjajaelementtien suuntaiset ulkoseinät ovat yleensä ei-kantavia. Välipohjajaelementit ovat tavallisesti ontelolaattoja, jotka tukeutuvat kantavien seinien päälle. Ulkoseinät ovat useimmiten betonisandwich-elementtejä, jolloin niissä on erillinen ulko- ja sisäkuori. Huoneistojen väliset seinät ovat yleensä 200 mm paksuja betonielementtejä, joilla määräysten mukainen palo-osastointi ja ääneneristys saavutetaan. Runko jäykistetään kantavilla ulko- ja väliseinillä sekä porrashuoneiden ja hissikuilun seinillä. (Elementtisuunnittelu n.d.)



Kuva 4. Kantavat seinät-laatta -runko (Elementtisuunnittelu n.d)

5.3 1–3-kerroksiset hybridirakenteiset asuinkerrostalot

Yleinen tapa tehdä 1–3-kerroksinen hybridirakenteinen asuinkerrostalo on tehdä kantavat rakenteet betonista ja verhoilla se puurunkoisilla ulkoseinäelementeillä. Betonista tehtävä kantava rakenne toteutetaan kirjahyllyrungoksi kutsuttavalla periaatteella, jossa kantavana rakenteena toimivat

rakennuksen poikittaiset seinät (Kuva 5). Betonin toimiessa kantavana rakenteena on rakennuksen paloluokka P1. Kantavia poikittaisia seiniä ovat huoneistojenväliset seinät. Huoneistojen väliset seinät ovat yleensä rauhoittamattomia, 200 mm paksuja betonielementtejä. Päädyissä käytetään 150 mm paksuja betonielementtiseiniä. Rungon pituussuuntainen jäykistys tapahtuu pitkittäisillä, yleensä porrashuoneeseen liittyvillä seinillä. Alaja välipohjat tehdään betonista paikallaan valaen tai ontelolaatoista.

Ulkovuori tehdään puurunkoisilla ulkoseinäelementeillä, joissa on valmiina ulkoverhous, ikkunat, ikkunan pellitykset sekä ovet (Kuva 6). Sisäpuoli levytetään työmaalla. Ulkoseinäelementit ovat itsekantavia sokkelin päältä. Katto tehdään betonisen yläpohjan päälle ristikkorakenteena. Katto voidaan toteuttaa myös kattoelementeillä, jotka tukeutuvat kantaville huoneistojenvälisille seinille ja ulkoseinille. Kattoelementeissä ovat valmiina eristys ja aluskate, joten rakennus saadaan nopeasti säältä suojaan. Ylin kerros voidaan tehdä myös puurakenteisena, jolloin pitkittäisillä sivuilla olevat ulkoseinäelementit ja huoneistojenväliset seinät toimivat kattoristikoiden tai kattoelementtien kantavana rakenteena. Puun ollessa kantavana rakenteena on rakennuksen paloluokka P2 tai P3 kerrosluvusta riippuen.

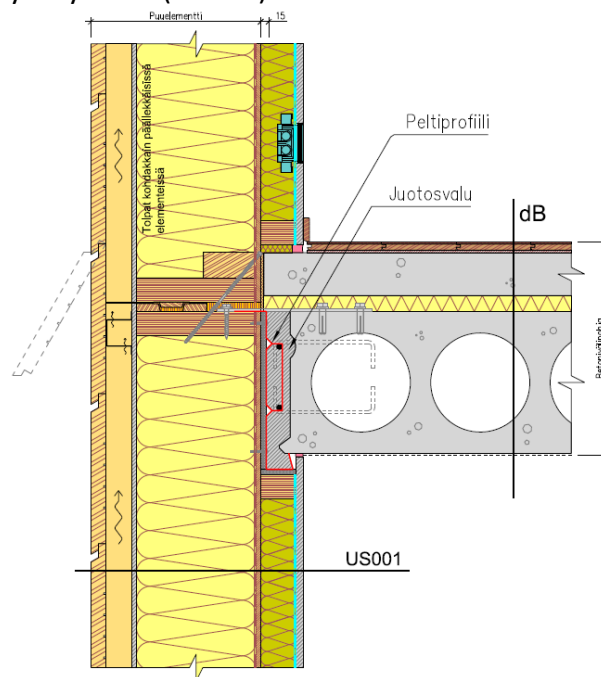


Kuva 5. Kaksikerroksisen rivitalon kirjahyllyrunko, johon ylin kerros tehdään puusta (Tönne 2017).



Kuva 6. Puu-ulkoseinäelementtien asennus kantavaan betonirunkoon (Tönne 2017).

Puisten seinäelementtien rakennetyypit vaihtelevat valmistajan mukaan. Elementtien liitoksiin on olemassa erilaisia vaihtoehtoja. Yksi vaihtoehto, joka löytyy puuinfo.fi-sivustolta, puisen ulkoseinäelementin ja betonisen välipohjan liitokseksi on kiinnittää peltiprofiili puuelementin yläreunaan, mikä mahdollistaa puuelementin valamisen kiinni normaalin juotosvalun yhteydessä (Kuva 7).



Kuva 7. Puisten ulkoseinäelementtien liitos betonivälipohjaan (Puuinfo n.d.).

5.4 3–8-kerroksiset hybridirakenteiset asuinkerrostalot

Hybridirakenteiset 3–8-kerroksiset asuinkerrostalot tehdään samalla tavalla kuin 1–3-kerroksiset asuinkerrostalot. Kantava runko tehdään betonista, ja siihen yhdistetään puiset ulkoseinäelementit. Kantavana rakenteena toimivat huoneistojenväliset seinät, jotka ovat betonista valmistettuja, 200 mm paksuja elementtejä. Ala- ja välipohjat tehdään ontelolautoista tai paikallaan valaen. Paikallaan valetussa välipohjassa on mahdollista käyttää reunapilareita kantavana rakenteena, mikä vähentää betonisten seinäelementtien määrää. Rakennuksen ulkovouri tehdään puurunkoisilla ulkoseinäelementeillä. Korkeammissa rakennuksissa ulkoseinäelementit on kannatettava kerroksittain välipohjarakenteesta puun painumisen ja kosteusikutistumisen vuoksi. Yläpohja tehdään betonista tai puisista kattoelementeistä. Betonisen yläpohjan päälle voidaan tehdä ristikkorakenteinen katto tai tasakatto.

5.5 Muut hybridijärjestelmät

5.5.1 SEPA-puubetonilaatta

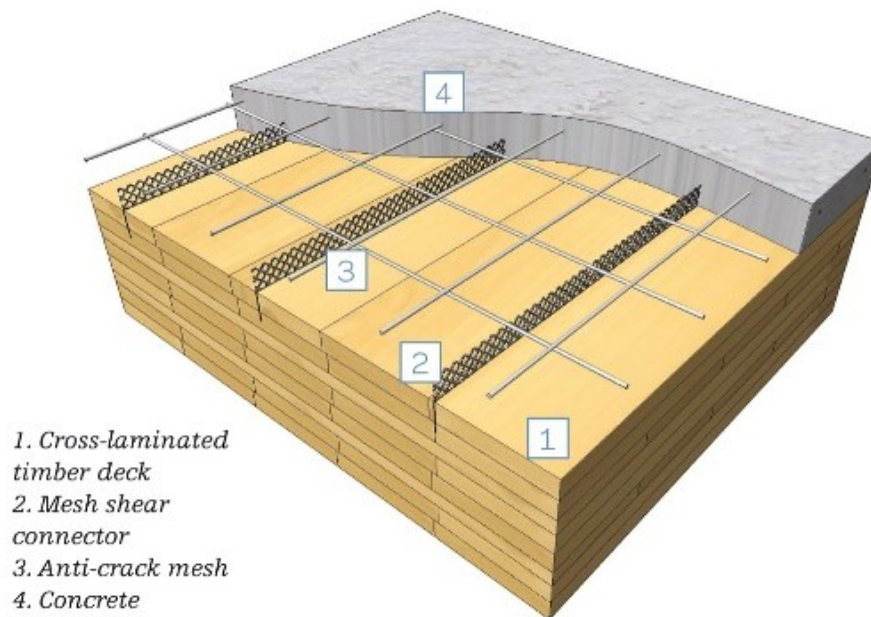
SEPA-puubetonilaatan on kehittänyt Sepa Oy yhteistyössä Lipa-betoni Oy:n kanssa (Kuva 8). Laatan kantavana rakenteena toimivat naulalevyristikot ja paikallaan valettava betonilaatta. Se on kehitetty puukerrostalon ääntä eristäväksi ja palo-osastoivaksi välipohjarakenteeksi. Siinä yhdistetään puun hyvä vetolujuus ja kestävyys betonin hyvään puristuslujuuteen ja massiivisuuteen. Laattaan on integroitavissa lattialämmitys, ja rakenne helpottaa putkien läpivientiä. Laatta voi toimia lisäksi rakenteellisena vaajakajäkisteenä. Puubetonilaatta täyttää voimassa olevat lujuus- ja palomääräykset sekä värähtely- ja ääneneristysvaatimukset. (Sepa Oy n.d.)



Kuva 8. SEPA-puubetonilaatta (Puuinfo n.d.).

5.5.2 CLT-betonilaatta

CLT-betonilaatta on Rambollin kehittämä välipohjalaatta (Kuva 9). Laatta on kehitetty koulurakennukseen Englannissa, missä välipohjan piti olla mahdollisimman kevyt, 10 metrin jännevälillä ja ainoastaan 420 millimetriä paksu. CLT eli monikerrosmassiivipuulevy valmistetaan liimaamalla lautoja/rimoja ristikkäin. CLT-betonilaatta koostuu 300 mm paksusta CLT-levystä, jonka päällä on 100 mm paksu betonilaatta. Betonilaatassa käytettiin normaalia lattiaraudoista. CLT ja betoni on yhdistetty toisiinsa CLT-levyyn tehtyihin uriin liimatuilla teräsverkoilla, jotka jäädessään betonivalun sisään muodostavat jäykän ja kestävästi liitoksen näiden materiaalien välille. (Lane 2012.)



Kuva 9. CLT-betonilaatta (Lane 2012).

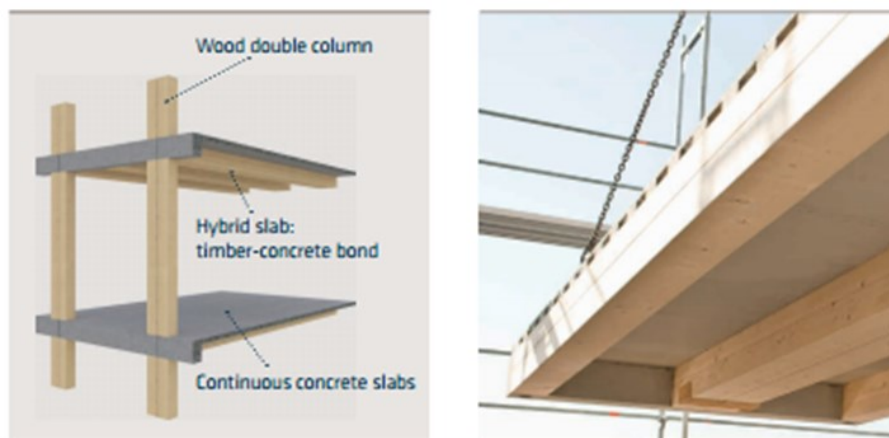
5.5.3 Life Cycle Tower

Cree Life Cycle Tower eli LCT on kahdeksankerroksinen toimistotalo, joka perustuu puun ja betonin yhteiskäyttöön rakenteissa. LCT on valmistunut vuonna 2012, ja se sijaitsee Dornbirnissä Itävallassa. Rakennuksessa käytettyjen ratkaisujen ansiosta puu voidaan jättää rakenteissa näkyviin. LCT on sovellutus Rhomberg-yhtiön kehittämästä puu-betonitalojärjestelmästä (Kuva 10). Rakennuksen jäykistävänä ja myös kantavana rakenteena toimivat betonista valmistettu porras-/ hissikuilu ja tekniikkakuilu. Kantavana rakenteena ulkoseinillä toimivat liimapuupilarit, joihin kiinnitetään rankarakenteiset ulkoseinäelementit. Rakennuksen sisällä ei ole kantavia seiniä, mikä antaa vapautta tilojen suunnittelussa. Ulkoseinien liimapuupilarit ottavat vastaan ainoastaan pystysuuntaisia kuormia. Ulkoseinäelementit on kiinnitetty liimapuupilareihin ennen paikalleen asentamista, mikä vähentää työmaalla tehtäviä työvaiheita. Liimapuupilarit ovat kerroksen korkuisia, ja ne kiinnitetään puu-betonivälipohjaan.

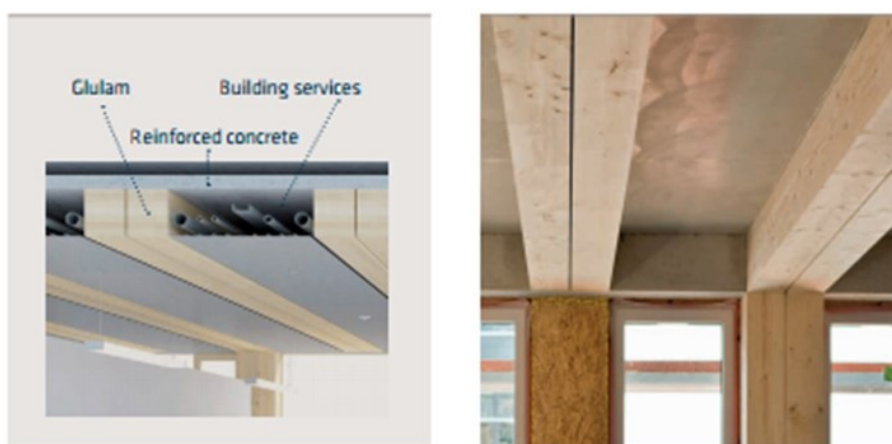
Puu-betonivälipohja on valmistettu neljästä liimapuupalkista, joiden päälle betonilaatta on valettu (Kuva 11). Betonilaattojen pitkällä sivulla on kolot, jotka täyttyvät, kun laattojen saumat juotetaan kiinni. Tällöin laatasto toimii vaakasuuntaisena jäykistävänä rakenteena. Talotekniikka sijoitetaan betonilaattojen alapuolelle liimapuupalkkien väliin (Kuva 12). Rakennus on nopea pystyttää hyvin suunniteltujen ja pitkälle esivalmistettujen elementtien ansiosta. Kuiva rakennustapa mahdollistaa sisätöiden aloittamisen heti rakennuksen pystytyksen jälkeen. (Rhomberg n.d.)



Kuva 10. Havainnekuva puu-betonitalojärjestelmästä (Rhombert n.d.).



Kuva 11. Havainnekuva kantavista rakenteista ja puu-betonivälipohjasta (Rhombert n.d.).

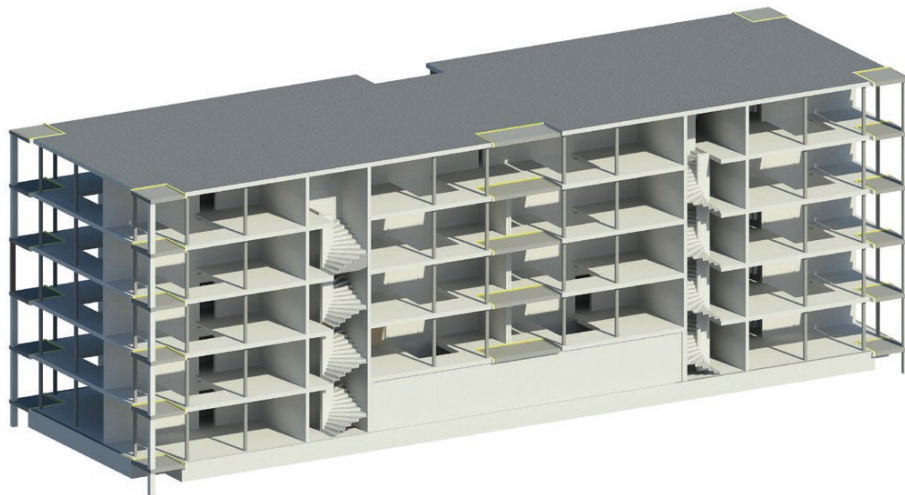


Kuva 12. Talotekniikka sijoitetaan liimapuupalkkien väliin (Rhombert n.d.).

5.5.4 KIS-konsepti

KIS-konsepti eli "Keep it simple" on rakennusliike Lehdon kehittämä kerrostalon rakentamiskonsepti. Lehto on rakentanut tällä konseptilla noin 600 asuntoa ympäri Suomen. KIS-konseptissa Lehto hyödyntää vakioituja ratkaisuja ja Lehdon moduuleita, jossa yhdistyvät kylpyhuone ja keittiö. Moduuleiden käyttö nopeuttaa rakentamista ja vähentää kustannuksia. Konseptissa hyödynnetään erilaisia vakioratkaisuja kantavien rakenteiden teräspilareista porraselementteihin, hissikuiluihin ja parvekeratkaisuihin. Hyväksi havaittujen ratkaisujen toistaminen auttaa vähentämään kustannuksia.

Kantavana rakenteena toimivat huoneistojenväliset betoniseinät, jotka voivat olla elementtejä tai paikallaanvalettuja, sekä reunapilarit. Välipohjat ovat paikallaanvalettuja. Kantava runko tehdään valmiiksi betonista ja kattoon asennetaan vedenpitävä bitumikermi (Kuva 13). Tämän jälkeen rakennukseen yhdistetään ulkoseinäelementit, joissa on yleensä ikkunat ja ranskalaisten parvekkeiden ovet valmiiksi asennettuina (Kuva 14). Kylpyhuone-keittiömoduulit lasketaan paikalleen välipohjissa olevista aukoista (Kuva 15). Moduulien asentamisen jälkeen katolle asennetaan IV-konehuone ja vesikatto tehdään valmiiksi. KIS-konsepti on kehitetty pienten asuntojen rakentamiseen. (Kokko 2017; Lehto Group Oyj n.d.)



Kuva 13. Betonirunko valmiina ja katto vedenpitävä (Lehto Group Oyj).



Kuva 14. Seinäelementtien asentaminen paikalleen (Lehto Group Oyj).



Kuva 15. Kylpyhuone-keittiömoduulien asentaminen paikalleen (Lehto Group Oyj).

6 HYBRIDIRAKENTAMISEN SWOT

Nelikenttäanalyysi eli SWOT on yksinkertainen ja yleisesti käytetty yritystoiminnan analysointimenetelmä. Analyysin avulla voidaan selvittää vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat. Nelikenttäanalyysi sopii käytettäväksi kaikenlaisissa yrityksissä ja organisaatioissa. Tarkastelu voi koskea yksityiskohtaisemmin jotakin yritystoiminnan osaa. Yksityiskohtaisen tarkastelun kohteena voivat olla esimerkiksi markkinat, tuotteet ja

henkilöstö. Analyysin pohjalta voidaan tehdä päätöksiä, miten vahvuudet käytetään hyväksi ja miten korjataan ja parannetaan havaittuja heikkouksia, kuinka hyödynnetään mahdollisuudet sekä miten varaudutaan ughiin. (Suomen Riskienhallintayhdistys ry n.d.)

Nelikenttäanalyysia varten haastateltiin seitsemän henkilöä, jotka työskentelevät rakennuslalla tai rakennustuoteteollisuudessa. Henkilöiltä kysyttiin heidän kokemuksiaan puun ja betonin yhdistämisestä sekä yhdistämisen hyödyistä, haitoista ja mahdollisista ongelmista. Lisäksi keskusteltiin hybridirakentamisen kustannuksista. Haastatteluiden yhteenvetona on tehty nelikenttäanalyysi.

6.1 Vahvuudet

Hybridirakentamisen vahvuutena on puun ja betonin hyvien ominaisuuksien yhdistäminen. Betoni soveltuu hyvin kantavaksi rakenteeksi, sillä päästään pitkiin jänneväleihin ja palo- ja äänimääräysten täyttäminen betonirakenteella on yksinkertaista. Puun käyttäminen ulkoseinäelementeissä on järkevää, sillä puiset ulkoseinäelementit voidaan valmistaa pitkälle tehdasoloissa. Puisissa ulkoseinäelementeissä on valmiina ulkoverhous, ikkunat, ikkunanpellitykset ja ovet. Työmaalta jää useita työvaiheita pois puuelementtien esivalmistuksen vuoksi, joten rakentamisen työmaavaihe on nopeampi.

Puiset ulkoseinäelementit ovat jopa kaksi kertaa suurempia kuin vastaavat betoniset seinäelementit. Tämä vähentää seinäelementtien määrää, mikä vähentää myös nostojen määrää. Puun käyttämisen etuna on myös sen kuivuus, nopeus ja helppo työstettävyys. Kahden materiaalin yhdistämisellä saadaan parempi lopputulos kuin pelkästään toista materiaalia käyttämällä. Hybridirakentamisella saadaan tehtyä kevyempiä rakenteita. Tästä on hyötyä paalutettavissa kohteissa. Hybridirakentamisen kustannukset ovat pienemmät verrattuna perinteiseen rakentamiseen. Kahta eri materiaalia käytettäessä on tarjoajia ja kilpailua enemmän, mikä johtaa kustannusten alenemiseen. (Kukka, haastattelu 28.3.2017; Lahti, haastattelu 13.4.2017; Moilanen, haastattelu 13.4.2017; Viitamäki, haastattelu 4.4.2017; Yrjönen, haastattelu 21.4.2017.)

6.2 Heikkoudet

Hybridirakentamisen heikkoutena on kahden täysin erilaisen materiaalin yhdistäminen. Puu ja betoni elävät eri tavoin, niillä on erilaiset toleranssit, eikä ole olemassa vakiintunutta liitostekniikkaa. Puun ja betonin yhdistäminen vaatii asentajilta enemmän ammattitaitoa ja tarkkuutta, jotta liitokista tulee tiiviitä eikä niissä ole kylmäsiltoja. Rakenteiden tiiveys on hybri-

dirakentamisen suurin haaste. Tiiveys vaikuttaa myös rakennuksen energialuokkaan. Toimitusketjujen hallitseminen asettaa haasteita työmaalle, sillä puu- ja betonielementit tulevat eri toimittajilta. Hybridirakentaminen ei välttämättä tuo asiakkaalle lisäarvoa. (Airaksela, haastattelu 7.4.2017; Kukka, haastattelu 28.3.2017; Lahti, haastattelu 13.4.2017; Moilanen, haastattelu 13.4.2017; Viitamäki, haastattelu 4.4.2017; Yrjönen, haastattelu 21.4.2017.)

6.3 Mahdollisuudet

Hybridirakentaminen antaa uusia mahdollisuuksia etenkin puuteollisuudelle. Puisten seinäelementtien valmistajia on Suomessa useita. Kahden eri materiaalin yhdistäminen tuo monimuotoisuutta ja antaa paljon mahdollisuuksia rakennuksen rakentamiselle. Puun käytön lisääminen rakentamisessa pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä sekä saattaa helpottaa asunnon myyntiä, sillä ihmiset haluavat asua puutalossa.

Puun ja betonin yhdistäminen suuremmassa mittakaavassa saattaisi poistaa puun ja betonin vastakkainasettelua rakennusmateriaalina, ja tämä parantaisi molempien toimialojen asemaa. Asiakkaan näkökulmasta puu- ja betonialan yritysten yhteistyöllä voi olla positiivinen vaikutus, tällöin on todennäköisesti osattu valita oikeat materiaalit oikeisiin paikkoihin. (Lahti, haastattelu 13.4.2017; Moilanen, haastattelu 13.4.2017; Venho haastattelu 30.3.2017; Viitamäki, haastattelu 4.4.2017; Yrjönen, haastattelu 21.4.2017.)

6.4 Uhat

Hybridirakentamisen suurin uhka on kosteudenhallinta. Betonirakentamisen kosteudenhallintatavat eivät sovellu puuelementtien suojaamiseen. Huonosti suunnitellussa hybridirakennuksessa on riskinä kosteuden siirtyminen betonista puuhun.

Toimitusketjujen hallitseminen on tärkeää, sillä elementtien viivästyminen viivästyttää koko työmaata. Määräyksillä ohjataan rakentamista hyvin paljon. Määräysten muuttumista voi pitää sekä mahdollisuutena että uhkana. Isot rakennuttajat pitävät betonia varmempana ratkaisuna. Puisella ulkovoorella on kalliimmat huoltokustannukset esimerkiksi tiileen verrattuna. (Airaksela, haastattelu 7.4.2017; Kukka, haastattelu 28.3.2017; Lahti, haastattelu 13.4.2017; Moilanen, haastattelu 13.4.2017; Viitamäki, haastattelu 4.4.2017; Yrjönen, haastattelu 21.4.2017.)

6.5 Hybridirakentamisen SWOT

Alla olevaan taulukkoon on haastatteluiden perusteella koottu hybridirakentamisen vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat (Taulukko 2).

Taulukko 2. Hybridirakentamisen SWOT

<p>Vahvuudet</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kahden erilaisen materiaalin hyvien ominaisuuksien yhdistäminen - Betoni soveltuu hyvin kantavaksi rakenteeksi, yksinkertaisella rakenteella saadaan täytettyä <ul style="list-style-type: none"> o palomääräykset o äänimääräykset. - Pitkälle esivalmistetut puiset ulkoseinäelementit <ul style="list-style-type: none"> o Vähentää työmaalla tehtäviä töitä, nopeuttaa työmaata. - Isot puu-ulkoseinäelementit <ul style="list-style-type: none"> o Vähentää nostojen määrää. - Kevyemmät rakenteet <ul style="list-style-type: none"> o Vähentää mahdollisten paalujen määrää. - Pienemmät kustannukset <ul style="list-style-type: none"> o Enemmän tarjoajia 	<p>Heikkoudet</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kahden erilaisen materiaalien yhdistäminen <ul style="list-style-type: none"> o Erilainen kosteuseläminen o Erilaiset toleranssit - Ei vakiintunutta liitostekniikkaa - Asentaminen vaatii enemmän tarkkuutta. - Rakenteiden liittymät <ul style="list-style-type: none"> o tiiveys o kylmäsilat - Kaksi eri toimittajaa <ul style="list-style-type: none"> o toimitusketjujen hallinta - Ei vakioituja ratkaisuja
<p>Mahdollisuudet</p> <ul style="list-style-type: none"> - Uusia mahdollisuuksia puuteollisuudelle - Lisää monimuotoisuutta - Pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä. - Ihmiset haluavat asua puutaloissa. - Vähentää puun ja betonin vastakkainasettelua. - Positiivinen vaikutus asiakkaalle <ul style="list-style-type: none"> o Oikea materiaali oikeassa paikassa - Kahden eri toimijan liiketoiminnan kehittyminen - Rakentamisen määräykset 	<p>Uhat</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kosteudenhallinta - Toimitusketjun hallinta - Rakentamisen määräykset - Pelkkä betoni on tutumpi vaihtoehto. - Puisella ulkoverhouksella korkeammat huoltokustannukset

7 HYBRIDIRAKENTAMISEN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Teollisessa valmisosarakentamisessa tiedonhallinta on oleellinen osa onnistunutta rakentamisprosessia. Rakennusosasuunnittelua tehdään tuotesakaupassa samanaikaisesti muiden alojen toteutussuunnittelun kanssa. Tuotesakaupassa rakennusosan toimittaja suunnittelee, valmistaa ja mahdollisesti myös asentaa rakennusosan. Tällainen suunnittelun limittyminen mahdollistaa suunnittelun kokonaisajan lyhentymisen sekä elementtien asennustyön aikaistamisen.

Pääsuunnittelija vastaa rakennuksen kuormitustarkastelusta ja kokonaisuusjäykistyksestä sekä määrittelee lähtötiedot rakennusosien suunnittelulle. Pääsuunnittelija valitsee toteutettavan runkoratkaisun, joka toimii rakennusosakaupan oleellisena reunaehtona. Suunnittelun jälkeen kantavien rakenteiden paikat on määritelty, mutta dimensiot voivat vielä muuttua. Rakennusosatoimittajalla on mahdollisuus suunnitella ja kehittää rakennusosat omaan tuotantoon soveltuviksi materiaalien ja valmistusratkaisun osalta. Rakennusosatoimittajan suunnittelija saa arkkitehdiltä elementtien geometrian ja päärakennesuunnittelijalta elementtien jäykistykseen ja kuormitukseen liittyvät vaatimukset. Rakennusosien toimittajan suunnittelija vastaa tarjoamansa kokonaisuuden suunnittelusta siten, että se täyttää päärakennesuunnittelijan esittämät vaatimukset. Päärakennesuunnittelija tarkistaa rakennusosatoimittajan suunnitelmat ja varmistaa, että eri osat toimivat suunnitellulla tavalla kokonaisuutena. (Puuinfo n.d.; Elementtisuunnittelu n.d.)

Hybridirakennusta suunniteltaessa tulee alusta lähtien olla tiedossa, missä rakennusosissa käytetään puuta ja missä betonia; kokonaisuuden tulee olla mietitty kunnolla. Mitä pidemmälle esivalmistus viedään, sitä enemmän ennakkosuunnittelua tarvitaan. Suunnittelussa tulee huomioida, missä järjestyksessä rakennus tehdään ja miten hoidetaan työmaa-aikainen kosteudenhallinta. Nämä asiat vaikuttavat muun muassa rakenteiden liittymiin ja detaljikkaan.

Puun ja betonin liittymäkohdat tulee suunnitella niin, että betonin mahdollinen kosteus ei pääse siirtymään puurakenteisiin. Detaljisuunnittelua tarvitaan paljon, jotta lujuuteen sekä palo-, ääni- ja kosteudenhallintaan liittyvät kysymykset, yhdessä hyvän asennettavuuden kanssa, tulevat otetuiksi huomioon. Kosteudenhallintaan ja sen suunnitteluun täytyy rakentamisessa kiinnittää erityistä huomiota. Isoissa kohteissa tulee olla kosteudenhallintakoordinaattori.

Hybridirakentamisessa konsepti on tärkeä ja tulisi pyrkiä vakioimaan käytettäviä ratkaisuja. Haasteita kuitenkin asettaa määräysten erilainen tulkinta kuntien rakennusvalvonnassa.

Hybridirakennus tulisi suunnitella mallintamalla. Tällöin voidaan varmistua eri rakennusosien yhteensopivuudesta, kun betoni- ja puuelementit valmistetaan eri tehtaissa. Suurin haaste hybridirakentamisessa on puun ja betonin erilaiset toleranssit. Tämä asettaa myös haasteita rakenteiden liittymiin ja detaljikkaan. Puun ja betonin liittymäkohdat täytyy suunnitella huolellisesti, sillä rakenteiden liittymien tiiveydellä on suora vaikutus rakennuksen ilmanpitävyyteen ja ääneneristävyyteen. Ilmanpitävyys vaikuttaa rakennuksen energialuokkaan. Suomessa asuinrakennuksen ääneneristävyyksivaatimukset ovat tiukat, sillä kovakaan puhe ei saa kuulua huoneistosta toiseen.

Huoneistosuunnittelusta riippuen osan huoneistojenvälisistä seinistä voisi tehdä puusta, mikäli niiden ei tarvitse olla kantavia. Rakentamisen nykyisenä trendinä on tehdä pieniä asuntoja. Kuitenkin jos tulevaisuudessa halutaan yhdistää kaksi pientä asuntoa yhdeksi isoksi asunnoksi, on puusta tehty huoneistojen välinen seinä helpompi purkaa.

Vuonna 2018 muuttuvat palomääräykset mahdollistavat entistä monipuolisemman puunkäytön kerrostaloasuntojen näkyvissä pinnoissa. Puupintojen terveysvaikutuksia on tutkittu useassa maassa viime vuosina. Tutkimukset ovat osoittaneet puulla olevan myönteisiä fysiologia ja psykologisia vaikutuksia tilojen käyttäjille. Puunkäyttöä asuntojen näkyvissä pinnoissa tulisi täten lisätä. (Airaksela, haastattelu 7.4.2017; Kukka, haastattelu 28.3.2017; Lahti, haastattelu 13.4.2017; Moilanen, haastattelu 13.4.2017; Puuinfo 2017; Venho haastattelu 30.3.2017; Viitamäki, haastattelu 4.4.2017; Yrjönen, haastattelu 21.4.2017.)

8 KUSTANNUKSET

Puun keveyden vuoksi kuljetus- ja asennuskustannukset ovat puuelementeillä edullisemmat verrattuna vastaaviin betonielementteihin. Puuelementtejä voidaan kuljettaa enemmän kerralla. Lisäksi puuelementeistä voidaan tehdä suurempia kuin betonielementeistä, mikä vähentää elementtien kokonaismäärää ja kuljetustarvetta. Puuelementtien asennus on myös edullisempaa nosturikustannusten osalta. Puuelementtien asentamiseen ei tarvita niin suurta nosturia kuin vastaavien betonielementtien asentamiseen.

Elementtien kustannusvertailu tehtiin Koskisen Oy:ltä ja Betonimestarit Oy:ltä saatujen hintatietojen perusteella. Elementtien hintaan kuitenkin vaikuttaa tehtävä rakennus, joten tarkka hintavertailu puu- ja betonielementtien välillä on hankalaa. Ulkoseinäelementeissä puuelementit ovat noin kolmanneksen edullisempia verrattuna betonielementtiin. Puinen ulkoseinäelementti on yleensä pidemmälle esivalmistettu, joten työmaalla jää vähemmän tehtävää, mikä tuo säästöä työmaan kustannuksiin. Lisäksi

aiempien tutkimusten perusteella on todettu puujulkisivun olevan noin 10 % halvempi kuin betonijulkisivun.

Kantavissa huoneistojen välisissä seinäelementeissä betoninen elementti on edullisempi. Suurta eroa ei kuitenkaan puun ja betonin välillä ole. Huoneistojen välisissä seinäelementeissä valmiusaste on lähes sama puulla ja betonilla, joten työmaalle jää molemmissa yhtä paljon tehtävää. Välipohjajaelementeissä on suurin hintaero puun ja betonin välillä. Betoni on tässä tapauksessa jopa yli puolet edullisempi puiseen verrattuna. Molemmissa elementeissä jää myös työmaalle tehtäviä töitä. Töiden määrä riippuu välipohjatyyppistä. Yläpohjan osalta hintojen vertailu on hankalaa, sillä betonisessa yläpohjassa on paljon työmaalla tehtäviä töitä. Puinen yläpohja voi olla lähes valmis elementti tai sitten kattoristikoista työmaalla tehtävä.

9 YHTEENVETO

Suomessa rakentamisenmääräyksen ohjaavat rakentamista hyvin paljon. Määräyksistä on lisäksi erilaisia, kuntakohtaisia tulkintoja, mikä ei helpota tilannetta. Hybridirakentamisessa kriittisimmät määräykset ovat paloturvallisuus ja ääneneritys. Paloturvallisuusmääräyksiä ollaan uudistamassa, ja uudet määräykset astuvat voimaan vuonna 2018. Uusilla määräyksillä pyritään lisäämään rakennusmateriaalien välistä kilpailua ja puun käyttöä kerrostalorakentamisessa.

Puun ja betonin yhdistelmäratkaisulla hyödynnetään molempien materiaalien hyvät puolet, joita ovat betonirakenteiden paloturvallisuus, lujuus, edullisuus, kosteudenkesto, totutut työtavat sekä puurakenteiden keveys, mittatarkkuus, korkealaatu ja edullisuus.

Yleisin tapa Suomessa yhdistää puuta ja betonia asuinkerrostalorakentamisessa on tehdä kantavat rakenteet betonista ja yhdistää siihen puiset ulkoseinäelementit. Tämä on myös kustannuksellisesti järkevä yhdistelmä. Kantava runko syntyy betonista edullisemmin verrattuna puiseen puisten ulkoseinäelementtien ollessa lähes puolet edullisempia verrattuna betoniin.

Hybridirakentamisessa suurin haaste on puun ja betonin liittymäkohdat. Liittymäkohdista pitäisi saada mahdollisimman tiiviitä, jotta ei tulisi ilma-voutoja eikä ääni kantautuisi huoneistosta toiseen. Tämä korostuu varsinkin kerrostalorakentamisessa. Puun ja betonin erilaiset toleranssit hankaloittavat tilannetta. Liittymien tiiveys vaikuttaa myös rakennuksen energialuokkaan. Puun ja betonin liittymäkohdat tulee miettiä ja suunnitella etukäteen huolellisesti. Asennettavuuteen täytyy myös kiinnittää erityistä huomiota, sillä kuvissa helpolta vaikuttava liitos ei välttämättä ole sitä käytännössä.

Hybridirakentamisessa suunnitelmien määrä lisääntyy, kun puu- ja betonielementit suunnitellaan eri paikoissa. Tällöin myös mahdollisten suunnitteluvirheiden riski kasvaa. Esimerkiksi voidaan mainita seinä, jossa on ikkuna-aukko, seinän sisäpuolella on betonielementti ja ulkopuolella puuelementti. Näissä tulisi ikkuna-aukon olla molemmissa elementeissä samalla kohtaa. Näin ei välttämättä ole, kun suunnittelijoita ja suunnitelmia on useita. Puu- ja betonielementit tulevat eri toimittajilta ja yleensä asennuksen tekee eri asennusryhmä. Tämä lisää työntekijöiden määrää työmaalla ja työnjohdon työmäärää.

Hybridirakentamisessa konseptointi olisi tärkeää. Tällöin samoja rakentamistapoja ja rakenneratkaisuja voitaisiin käyttää eri rakennuskohteissa. Pidemmällä aikavälillä pystyttäisiin luomaan kustannussäästöjä.

Hybridirakentamisessa ja kaikessa muussakin rakentamisessa, missä käytetään pitkälle valmistettuja puuelementtejä, tulisi jo suunnitteluvaiheessa kiinnittää huomiota elementtien sääsuojaukseen. Rakennettaessa isoa kohdetta ei kattoo saada välttämättä kovinkaan nopeasti päälle, ja tällöin elementit ovat säälle alttiina. Tähän tulisi kiinnittää huomiota jo suunnittelussa ja elementtien valmistuksessa, jolloin varmistetaan oikeanlainen ja riittävä säänsuojaus. Tämä on haastava tehdä työmaalla, sillä tällöin riskinä on rakenteiden kastuminen.

Puun ja betonin yhdistelmä rakenteista on heikosti tietoa saatavilla, vaikka tällaisia rakennuksia Suomessa rakennetaan. Tämä hankaloitti opinnäytetyön tekemistä. Opinnäytetyötä varten haastateltiin seitsemää rakennusteollisuudessa työskentelevää henkilöä. Heiltä sain arvokasta tietoa opinnäytetyötäni varten ja kuvan siitä, mikä on järkevin tapa yhdistää puuta ja betonia.

LÄHTEET

Akustiikan perusteita (n.d.). Rakennus- ja saliakustiikka. Viitattu 24.2.2017 osoitteesta <http://piisami.net/tieto/akustiikka.htm>

Betoni (n.d.). Betoni rakennusmateriaalina. Viitattu 27.2.2017 osoitteesta <http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennus-materiaalina/>

Betoni (n.d.). Paloturvallisuus & palovahingot. Viitattu 24.2.2017 osoitteesta <http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/turvallisuus/paloturvallisuus-palovahingot/>

Betoni (n.d.). Ääneneristys. Viitattu 24.2.2017 osoitteesta <http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/aaneneristys/>

Elementtisuunnittelu (n.d.). Asuinrakennukset. Runkojärjestelmät. Viitattu 23.2.2017 osoitteesta <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/asuinrakennukset>

Elementtisuunnittelu (n.d.). Toimisto- ja liikerakennukset. Viitattu 23.2.2017 osoitteesta <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/toimisto-ja-liikerakennukset>

Elementtisuunnittelu (n.d.). Tuoteosakauppa. Viitattu 3.5.2017 osoitteesta <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/suunnitteluprosessi/tuoteosakauppa>

Elementtisuunnittelu (n.d.). RakMk C1:n tulkinnat ja asuinrakennuksen äänitekniset rakennesuosituksat. Viitattu 24.2.2017 osoitteesta <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/uutiset/2010/05/20/rakmk-c1-n-tulkinnat-ja-asuinrakennusten-aanitekniset-rakennesuosituksat>

Jantunen, J. (2016). Muistio asetuksesta rakennusten paloturvallisuudesta. Viitattu 10.4.2017 osoitteesta http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Lausuntopyynnot_ ja_lausuntoyhteenvedot/2016/Lausuntopyynto_luonnoksesta_ymparistomin%2841409%29

Koskisen Oy (n.d.). Konserni – perheyritys. Viitattu 2.5.2017 osoitteesta <http://www.koskisen.fi/konserni/perheyritys/>

Kokko, J. (2017). Visiona pelastaa asuntomarkkinoiden sinkku. Blogijulkaisu 17.1.2017. Viitattu 17.4.2017 osoitteesta <https://lehto.fi/blogi/visiona-pelastaa-asuntomarkkinoiden-sinkku/>

Lane, T. (2012). Designing a dancefloor: Ramboll's new moves. Viitattu 23.8.2017 osoitteesta <http://www.building.co.uk/designing-a-dancefloor-rambolls-new-moves/5033378.article>

Laukkanen, M. (2017). Puun mahdollisuudet julkisessa rakentamisessa. *Puu lehti*, 11-23

Lehto Group Oyj (n.d.). KIS-kerrostalon rakentamiskonsepti -esite.

Puuinfo (n.d.). Yleisimmät rakennejärjestelmät. Viitattu 7.3.2017 osoitteesta <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puusta-rakentamisen/yleisimm%C3%A4t-rakennej%C3%A4rjestelm%C3%A4t>

Puuinfo (n.d.). Puurakentaminen. Viitattu 8.3.2017 osoitteesta <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakentaminen>

Puuinfo (2017). PUU-lehti. Opas julkisiin hankintoihin. Viitattu 20.4.2017 osoitteesta <http://www.puuinfo.fi/tiedote/opas-julkisiin-hankintoihin>

Puuinfo (n.d.). SEPA 2000 -puubetonilaatta. Viitattu 9.3.2017 osoitteesta <http://www.puuinfo.fi/tuote/sepa-2000-puubetoniliittolaatta>

Puuinfo (n.d.). Hyvin suunniteltu on puoliksi tehty. Viitattu 3.5.2017 osoitteesta <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakenteet/puukerrostalon-suunnittelu/hyvin-suunniteltu-puoleksi-tehty>

Rhomberg (n.d.). Cree by Rhomberg. Viitattu 15.3.2017 osoitteesta http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/121121%20Cree%20Infobroschure%20EN_0.pdf

Sepa Oy (n.d.). Puubetonilaatta. Viitattu 9.3.2017 osoitteesta http://www.sepa.fi/uploads/pdf/sepa_puubetoni_esite_www.pdf

Suomen Riskienhallintayhdistys ry (n.d.). Nelikenttäanalyysi - swot. Viitattu 12.4.2017 osoitteesta <http://www.pk-rh.fi/index.php?page=swot>

Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten paloturvallisuus. Viitattu 24.2.2017 osoitteesta http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismääräyskokoelma/Paloturvallisuus

Tolppanen, J., Karjalainen, M., Lahtela, T. & Vilkinen, M. (2013). *Suomalainen puukerrostalo*. Helsinki: Opetushallitus.

Torvela, K. (2017). Puun ja betonin yhdistäminen kerrostalorakentamisessa. Sähköpostiviesti tekijälle 28.2.2017.

Tönne, T. (2017). Yksityinen kuva-albumi.

Taloussanommat (n.d.). Yritystiedot – Betonimestarit Oy. Viitattu 21.8.2017 osoitteesta <http://www.is.fi/yritys/betonimestarit-oy/iisalmi/2272352-5/>

Ympäristöministeriö (2016). Rakentamismääräykset. Viitattu 22.2.2017 osoitteesta <http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>

HAASTATTELUT

Airaksela, M. (2017). Toimitusjohtaja, Rakennusliike Reponen Oy. Haastattelu 7.4.2017.

Kukka, J. (2017). Vastaava mestari, Hartela Oy. Haastattelu 28.3.2017.

Lahti, K. (2017). Rakennuttajapäällikkö, YIT Rakennus Oy. Haastattelu 13.4.2017.

Moilanen, H. (2017). Rakennesuunnittelija, Sweco Rakennetekniikka Oy. Haastattelu 13.4.2017.

Venho, T. (2017). Johtaja, myynti ja tekniset asiat, Betonimestarit Oy. Haastattelu 30.3.2017.

Viitamäki, M. (2017). Rakennuttajapäällikkö, YIT Rakennus Oy. Haastattelu 4.4.2017.

Yrjönen, V. (2017). Teknisen toimiston päällikkö, Varte Oy. Haastattelu 21.4.2017.