

# Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset -Taustaraportti

Kirjoittajat:

Antti Ruuska, Tarja Häkkinen



## Alkusanat

Tässä taustaraportissa esitetään tarkemmat laskentatiedot ”Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset”-julkaisuun liittyen<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Antti Ruuska, Tarja Häkkinen, Sirje Vares, Marja-Riitta Korhonen ja Tuuli Myllymaa: ”Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset: -Selvitys rakennusmateriaalien vaikutuksesta rakentamisen kasvihuonekaasupäästöihin, tiivistelmäraportti”, Ympäristöministeriön raportteja 8 | 2013

## Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
1 Materiaalien merkityksen arvio tapaustutkimuksen avulla - lähtökohta ja parametrinen arvio.....	6
1.1.1 Laskennan lähtökohta ja tarkasteltavan kohteen perustiedot.....	6
1.1.2 Laskentatapausten kuvaus .....	7
2 Eri rakennusosien suhteen tehdyt oletukset vaihtelurajojen määrittämiseksi .....	8
2.1.1 Piharakentaminen .....	8
2.1.2 Pohjarakenteet ja perustukset.....	9
Kaivannot .....	9
Täytöt10	
Kuljetettavat maa-ainekset.....	12
Paalutus .....	13
Perustukset .....	15
2.1.3 Alapohjat .....	16
2.1.4 Runkorakenteet.....	17
2.1.5 Raskaat runkorakenteet.....	18
Raskaiden runkorakenteiden ulkoseinät .....	18
Raskaiden runkorakenteiden kantavat väliseinät .....	20
Raskaiden runkorakenteiden välipohjat .....	21
Raskaiden runkorakenteiden yläpohjat .....	23
Raskaiden runkorakenteiden massa, yhteenveto.....	24
2.1.6 Kevyet runkorakenteet .....	25
Kevyiden runkorakenteiden kantava rakennusrunko.....	26
Kevyiden runkorakenteiden ulkoseinät.....	26
Kevyiden runkorakenteiden väliseinät.....	28
Kevyiden runkorakenteiden välipohjat.....	29
Kevyiden runkorakenteiden yläpohjat .....	30
Kevyet runkorakenteet, yhteenveto .....	31
2.1.7 Runkorakenteet, yhteenveto .....	32
2.1.7.1 Rakennusrunkoon liittyvät osat .....	33
Parvekkeet .....	33
Hissikuilut.....	34
Hormit .....	34
Portaat .....	35
Ei-kantavat väliseinät .....	36
Ikkunat, ovet ja lasitukset.....	37
Kalusteet, varusteet, pintarakenteet.....	37
Rakenteisiin kiinnittämättömät materiaalmäärät.....	39
Rakennuksen kylmälaitteiden kylmäaineet .....	40

	Rakennusrunkoon liittyvien osien massa, yhteenveto.....	40
2.1.8	Talotekniset järjestelmät .....	41
	Ilmanvaihtojärjestelmä .....	42
	Lämmitysjärjestelmä .....	43
	Vesi- ja viemäri-laitteisto .....	45
	Sprinklerijärjestelmä .....	48
	Sähköasennukset ja kaapeloinnit.....	49
	Hissi 52	
	Aurinkopaneelit, aurinkokeräimet .....	52
	Jäähdytysjärjestelmä.....	54
	Taloteknisten järjestelmien massa, yhteenveto.....	55
3	Rakentamista koskevien tulosten yhteenveto.....	56
3.1.1	Rakennuksen kokonaisuudessa .....	56
3.1.2	Vaihtoehtoisten toteutustapojen vaikutus rakennuksen materiaalitaseeseen.....	57
4	Rakennuksen käytön aikaisten korjaustoimenpiteiden vaikutus rakennuksen materiaalitaseeseen .....	59
4.1.1	Pohjarakenteet, perustukset ja runkorakenteet.....	60
4.1.2	Talotekniset järjestelmät .....	61
4.1.3	Ikkunat, ovet ja lasitukset.....	62
4.1.4	Kalusteet, varusteet, pintarakenteet.....	62
4.1.5	Märkätilat .....	63
4.1.6	Rakennuksen käytön aikaisten korjaustoimenpiteiden vaikutus rakennuksen materiaalitaseeseen, tulosten yhteenveto .....	64
5	Rakennuksen elinkaarenaikainen materiaalityö .....	65
6	Rakennusmateriaalien ympäristöprofiilit ja laskentatulokset rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksille.....	68
6.1.1	Rakennusmateriaalien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt .....	70
6.1.2	Käytönaikaisten korjaustoimenpiteiden materiaalien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt.....	73
6.1.3	Rakennusmateriaalien aiheuttamat elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt.....	74
7	Rakentamisen aikainen materiaalityhokkuus.....	77
7.1.1	Rakennusmateriaalien hävikin ehkäisy .....	77
7.1.2	Rakennusjätteen määrä .....	77
7.1.3	Syntyvän jätteen tyyppi .....	77
8	Rakentamisen aikainen energiankulutus .....	79
8.1.1	Rakennustyömaan energiankulutus.....	79
8.1.2	Työmaa-aikaiset hiilidioksidipäästöt.....	80
8.1.3	Purkutyö.....	81
8.1.4	Korjausrakentamisen energiankulutus .....	83
8.1.5	Yhteenveto, rakentamisen ja korjausten elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt.....	84
9	Yhteenveto rakennuksen elinkaarenaikaisten päästöjen muodostumisesta .....	85

10 Rakennuksen energiatehokkuuden ja sijainnin vaikutus elinkaarenaikaiseen energiankulutukseen .....	85
10.1.1 Rakennuksen sijainnin huomiointi laskelmissa .....	85
10.1.2 Lämpimän käyttöveden energiankulutus ja rakennuksen sähköenergiankulutus .....	87
10.1.3 A-energialuokan rakennus .....	88
10.1.4 Passiivitasoinen kerrostalo.....	89
10.1.5 Lähes nollaenergiatasoinen kerrostalo .....	90
10.1.6 Energian kokonaiskulutus elinkaaren aikana .....	91
11 Elinkaarenaikaisen energiankulutuksen kasvihuonekaasupäästöt .....	94

# 1 Materiaalien merkityksen arvio tapaustutkimuksen avulla - lähtökohta ja parametrisen arvio

## 1.1.1 Laskennan lähtökohta ja tarkasteltavan kohteen perustiedot

Perustapauksen rakenteita muokkaamalla arvioitiin rakennuksen minimi- ja maksimimassaa.

Raskaiden rakenteiden minimitapauksessa massaa arvioitiin pilaripalkkirungolla ja maksimitapauksessa paikalla valetuilla rakenteilla. Laskennassa tarkasteltiin myös vaihtoehtoisia toteutustapaa, jossa rakennus on toteutettu kellaria, väestönsuojaa, alapohjaa ja hissikuilua lukuun ottamatta kevyillä rakenteilla. Kevyiden rakenteiden perustapauksena käytettiin Puuinfon julkaisemia 3 - 8 kerroksisten kerrostalojen rankarakenteisia rakennetyyppejä, jotka täyttävät vallitsevat rakennusmääräykset ja ohjeet.

Tässä työssä tarkasteltava rakennus on asuinkerrostalo, jossa on 6 asuinkerrosta ja yksi kellarikerros. Rakennus koostuu 28 asunnosta, joiden yhteenlaskettu huoneistoala on 2082m<sup>2</sup>. Rakennuksen kerrostala on 2455 m<sup>2</sup> ja bruttoala 3056brm<sup>3</sup>. Kohteen perustiedot on koottu seuraavaan taulukkoon.

*Taulukko 1, Tarkasteltavan kohteen perustiedot*

Rakennustyyppi	Asuinkerrostalo
Kerrosten lukumäärä	6 asuinkerrosta +kellari
Kerrosala	2454,5 m <sup>2</sup>
Bruttoala	3056 brm <sup>2</sup>
Asuntojen lukumäärä	28 kpl
Huoneistoala	2082m <sup>2</sup>

Rakenteiden pinta-alat kohteessa perustuvat todellisiin pinta-alatietoihin. Kohteen pinta-alat on esitetty seuraavassa taulukossa.

*Taulukko 2 Lähtökohtana käytetyn rakennuksen rakennusosien määrät.*

Rakennusosa	Pinta-ala
Ikkunat	365,5 m <sup>2</sup>
Yläpohja	334 m <sup>2</sup>
Kantavat väliseinät	1222 m <sup>2</sup>
Ei-kantavat väliseinät	2242 m <sup>2</sup>
Kantava ulkoseinä	1135 m <sup>2</sup>
Ei-kantavat ulkoseinät	495 m <sup>2</sup>
Alapohja	401 m <sup>2</sup>
Välipohjat	2320 m <sup>2</sup>

### 1.1.2 Laskentatapausten kuvaus

Laskennan perustapauksena tarkasteltiin 2011 lopussa valmistunutta, betonielementtirakenteista A-energialuokan rakennusta, jonka rakenteiden oletettiin vastaavan riittävällä tarkkuudella nykyisin vallitsevaa, keskimääräistä kerrostalojen uudistuotannon tasoa. Perustapaus edustaa suhteellisen massiivista rakentamista, jossa alapohjat, kantavat seinät, välipohjat ja yläpohjat ovat pääosin betonielementtirakenteisia. Koska laskennan rakenteet ovat todellisesta kohteesta, voidaan tehdä perusteltu oletus siitä että rakenteet ovat vallitsevien määräysten, ohjeiden, sekä käyttäjävaatimusten mukaiset.

Laskennan perustapauksen rakenteita muokkaamalla on pyritty arvioimaan myös teknisesti ja toiminnallisesti samankaltaisten rakennusten minimi- ja maksimimassaa. Laskennan päätavoitteena on määrittää samankaltaisen rakennuksen tuottamiseen tarvittavat materiaalmäärien minimi- ja maksimiarvot, sekä näistä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Laskennassa käytettävissä skenaarioissa saman laajuisen rakennuksen toteuttamiseen käytetään paitsi vaihtelevia rakenteita, myös vaihtelevia tonttiolosuhteita.

Laskennan minimitapaus kuvaa kevytrakenteista rakennusta, jonka kantavana runkorakenteena toimivat puurakenteet. Minimitapauksen laskennassa on käytetty apuna Puuinfon julkaisemaa 3-8-kerroksisten kerrostalojen rakennekirjastoa. Rakenteet täyttävät vallitsevat rakennusmääräykset ja niiden osalta oletetaan, että niillä toteutettu rakennus vastaa teknisesti ja toiminnallisesti perustapauksista riittävällä tarkkuudella. Rakennuspaikan tonttiolosuhteet oletetaan minimitapauksessa poikkeuksellisen hyviksi ja lämmöneristyspaksuudet vastaaviksi, kuin perustapauksessa.

Maksimitapauksen laskennassa perustapauksen rakenteita muokataan raskaammiksi rakenteiksi. Tapaus kuvaa tilannetta, jossa rakennuksen rakennetyyppinä käytetään muita mahdollisia, mutta perustapauksista raskaampia rakenteita. Maksimitapauksen laskennassa on myös lisätty lämmöneristepaksuuksia vastaamaan passiivitason rakennusta. Maksimitapauksen laskentatulokset kuvaavat perustapauksista vastaavan rakennuksen toteutusta massiivisemmilla rakenteilla poikkeuksellisen heikolle rakennuspaikalle.

Kaikissa laskentatapauksissa on toisiaan vastaavat kellari- ja väestönsuojatilat, hissikuilu, sekä kalusteet ja varusteet. Laskentatapausten erot on käsitelty tarkemmin jäljempänä.

Piharakentamisen, pohjarakenteiden ja perustusten massamäärät perustuvat laskentaoletuksiin, sillä niistä ei ollut käytössä suunnitelmia tai määräluettelaita.



Rakentamisen hukka ja rakennusmateriaalien kuljetus työmaalle on otettu mukaan tavanomaisiksi arvioituina arvoina. Nämä tekijät sisältyvät materiaalien hiilijalanjälkitietoihin. Materiaalien hiilijalanjäljet perustuvat ILMARI-työkulun<sup>2</sup> materiaaliin.

## 2 Eri rakennusosien suhteen tehdyt oletukset vaihtelurajojen määrittämiseksi

### 2.1.1 Piharakentaminen

Tämän tutkimuksen yhteydessä piharakentamisen merkityksellisyydestä tehdään suuruusluokka-arvio.

Uusilla kerrostalovaltaisilla asuinalueilla, esim. Vuores, tonttitehokkuus on noin 0,5 – 0,8 (<http://www.tampere.fi/ytoteto/aka/nahtavillaolevat/8036/osa.pdf>). Esimerkkitapauksen osalta tämä tarkoittaa noin 6100 - 3800 m<sup>2</sup> tonttipinta-alaa. Kun tonttipinta-alasta vähennetään rakennuksen alle jäävä maa-ala, jää piha-, parkkipaikka-, ja muiden ulkoalueiden pinta-alaksi 5700 – 3400 m<sup>2</sup>.

Laskennassa oletetaan että 3400 m<sup>2</sup> piha-alue täytyy stabiloida kalkkisementtipilareilla ja pilareita tarvitaan noin 15 000 jm. Tällöin stabilointiainetta voidaan tarvita 600 – 2100 tonnia, jos yhtä juoksumetriä pilaria kohden käytetään kalkkisementtiseosta noin 40 – 140 kg (Jouko Törnqvist), Pohjoismaissa yleisimmin käytetty syvästabiloinnin sideaine on jo pitkään ollut poltetun kalkin ja yleissementin 1:1 seos (Nordkalk TerraTMKC50). Keskimääräisellä menekillä (90 kg/jm) stabilointiainetta tarvitaan 1350 tonnia (kalkkia 675 tn ja sementtiä 675 tonnia).

Poltetun kalkin ja sementin ympäristövaikutukset ovat suhteellisen korkeita, sillä molempien valmistuksessa käytetään korkeita lämpötiloja. Lisäksi kalkkikiven poltosta, eli kalsinoinnista, vapautuu hiilidioksidia. aO:n CO<sub>2</sub>-päästöjen ollessa noin 1000 – 1200 g/kg ja yleissementin CO<sub>2</sub>-päästöjen ollessa noin 650 - 740 g/kg, on kalkkisementtistabiloinnin CO<sub>2</sub> vaikutus on keskimäärin noin 1080 tn oletetulla piha-alueella.

Jos lisäksi pihamaat, parkkipaikat, kävelytiet päällystetään, kuluu kiviainespohjaisia päällystysmassoja. Riippuen tarvittavista täytöistä, päällysrakenteiden aiheuttama CO<sub>2</sub>e päästö voi olla 4 – 120 kg/m<sup>2</sup>, joten tarkastellun pihamaan päällystysksen CO<sub>2</sub>e päästö on 12 – 360 tn.

Piharakentamisen kasvihuonekaasupäästöiksi arvioidaan 12-360tn. On kuitenkin huomioitava, että jos piha-alueet täytyy lisäksi stabiloida, ovat piharakentamisen

---

<sup>2</sup> ILMARI-arviointipalvelu. Hiilijalanjäljen arviointi rakennussuunnittelussa. Arviointipalvelun avulla lasketaan suunniteltavalle rakennukselle hiilijalanjälki (eli kasvihuonekaasujen nettosumma.). Palvelu on tarkoitettu suunnittelijoille. Kullekin käyttäjälle avataan oma käyttöliittymä, johon suunnittelija voi määrittää ja tallentaa rakennetyypit. Palvelua käytetään web-sovelluksena osoitteessa [ilmari.vtt.fi](http://ilmari.vtt.fi). Rakennuksen hiilijalanjälki lasketaan määrittelemällä rakennetyypit ja lataamalla IFC-mallista tuotettu Excel-pohjainen määräluettelo tai manuaalisesti koottu rakennusmääräluettelo laskentapalveluun. Rakennetyypin määrittelyn yhteydessä nähdään aina sen hiilijalanjälki. Samalla voidaan laskea rakennetyypin koostumuksen vaikutus rakennetyypin hiilijalanjälkeen päivittämällä tyyppiä vaihtoehtoisilla koostumuksilla. <http://www.vtt.fi/sites/ilmari/index.jsp>

kasvihuonekaasupäästöt kokonaisuudessaan. luokkaa 1090 (1080 + 12) t)... (1080 + 360) tn.

## 2.1.2 Pohjarakenteet ja perustukset

Rakennushankkeeseen ryhdyttäessä on aina tehtävä pohjatutkimukset eri suunnitteluvaiheita vastaavasti ensin perustamistavan valintaa varten ja sitten perustusrakenteiden sekä muiden pohjarakennustöiden suunnittelua varten. Pehmeillä savikoilla käytetään tyypillisesti paalulaatta-, palkkilaatta tai paaluhatturakenteita. Pihojen vahvistuksena voidaan käyttää myös kalkkisementtistabilointia.

Talojen perustus paaluille sekä pihojen pohja- sekä pintarakenteet voivat aiheuttaa ison ympäristökuorman kuten esim. Suurpellon päiväkodin tutkimuksessa osoitetaan.<sup>3</sup>

Kohteen seinärakenteiden kokonaismäärä on 180jm ja tätä metrimäärää käytetään myös kantavien rakenteiden alle tulevan anturan määränä. Noin 10% anturan kokonaismäärästä on rakennuspohjan ulkopuolelle tulevaa, parvekerakenteiden alle tulevaa anturaa. Kantavat seinärakenteet on esitetty oheisessa kuvassa.

## Kaivannot

Kaivannoilla tarkoitetaan rakennuspaikalla tehtäviä kaivutöitä. Kaivantojen laskentaoletukset perustuvat rakennuksen tietomallista saatuihin tietoihin alapohjan pinta-alasta, sekä kantavien seinärakenteiden ja alapohjarakenteiden rakennetyypeistä.

Kaivantojen määrää tarkastellaan yksinkertaisilla laskentaoletuksilla, joiden avulla lasketaan perustapaus kaivantomäärille. Laskennan epätarkkuustekijöistä johtuen todellisen kaivumäärän arvioidaan voivan vaihdella +-25% perustapauksen määristä.

Rakennuksen kaivantojen osalta tehdään seuraavat oletukset:

- pintamaata poistetaan rakennuspaikalta 200mm (-0.2m tasoon) paksuinen kerros 3 metriä rakennuspohjaa leveämmältä alueelta
- pintamaan poiston jälkeen rakennuksen kellarikerrosta varten tehdään kaivanto, joka ulottuu 2,5m syvyyteen maanpinnan tasosta (-2,5m taso)
- tästä tasosta jatketaan kaivantoa 0,5m alaspäin alapohja- ja sokkelirakenteen alapinnan rajaamaan tasoon saakka (-3,0m)
- rakennuksen perusmuuria ja anturoita varten kaivetaan tästä tasosta kantavien seinien kohdalle anturoita varten 2,5m leveä ja 1,5m syvä kaivanto (-4,5m taso), kantavan seinän kokonaismäärä on tietomallin perusteella noin 180jm
- rakennuspohjan ulkopuolelle menevät rakennusosat (parvekkeiden tukirakenteet) perustetaan samaan tasoon ja samoille anturoille muiden

<sup>3</sup>VTT Tiedotteita 2573, Kestävän rakentamisen tavoitteet ja niiden toteutuminen –Espoon Suurpellon päiväkodin arvio. Sirje Vares, Tarja Häkkinen & Jari Shemeikka.2011. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2573.pdf>

rakenteiden kanssa. Näiden osalta oletetaan, että kellarikerrosta varten tehty kaivanto on riittävän leveä myös näiden toteuttamista varten.

Edellä esitetyillä laskentaoletuksilla lasketut kaivantojen kokonaismäärät on esitetty oheisessa taulukossa. Taulukossa on esitetty myös arvio kaivantojen määrän vaihteluvälistä (+/-25%).

*Taulukko 3 Kaivantojen kokonaismäärä ja kokonaismäärän arvioitu vaihteluväli. Lasketut perustapauksen määrät on ilmoitettu tummennetuilla luvuilla, vaihteluväli suluissa.*

Kaivannot	materiaali	Tilavuus (m <sup>3</sup> )	Määrä (tn)
Pintamaan poisto	maa-aines	135 (101... 169)	243 (183... 304)
Alapohjan ja sokkelien kaivannot	maa-aines	338 (254... 423)	608 (456... 761)
Anturoiden kaivannot	maa-aines	675 (506... 844)	1215 (911... 1519)
Kellarin kaivannot	maa-aines	1555 (1166... 1944)	2799 (2099... 3498)
Yhteensä		2703 (2027... 3380)	4865 (3649... 6082)

Kaivantojen kokonaismääräksi saadaan siis perustapauksessa noin 4870tn, määrän vaihdellessa välillä 3650...6080tn.

## Täytöt

Täyttöjen osalta oletetaan, että rakennuksen vierustalle tehtävä (3m leveä) kaivanto täytetään (0,5m) levyisellä soratäytöllä ja muilta osin (2,5m) muulla maa-aineksella.

Rakennuksen vierustan täytön kokonaismäärä perustapauksessa on näillä laskentaoletuksilla 252tn ja muun täytön määrä 954tn. Laskennan epävarmuustekijöistä johtuen täytön todellisten määrien arvellaan voivan vaihdella +/-25% tässä esitetyistä määristä. Vierustäytön määrän vaihteluväliksi arvioidaan 189...315tn, ja muun täytön määräksi 716...1193tn.

Täyttöjen osalta tarkastellaan kolmea tapausta: perustapausta, sekä minimi- ja maksimitapausta. Laskentatapaukset on esitetty jäljempänä tarkemmin.

Anturoiden ja alapohjien alapuoliset täytöt käsitellään kyseisten rakennusosien yhteydessä, eikä niitä huomioida tässä yhteydessä.

### Perustapaus

Täyttöjen perustapauksessa täyttömääräksi oletetaan edellä esitetty täyttöjen perusmäärä, eli 252tn soraa ja 954tn muita täyttöjä.

Maa-aineksen osalta oletetaan, että kaivutöistä saatava maa-aines kelpaa rakennuspaikan täyttöihin soratäyttöjä lukuun ottamatta. Täytöissä tarvittava sora tuodaan työmaan ulkopuolelta, muu maa-aines saadaan työmaalta.

Perustapauksessa rakennuspaikalle on tuotava täyttöjä varten 252tn soraa. Muuta maa-ainesta ei tarvitse tuoda työmaalle.

### **Maksimitapaus**

Täyttöjen maksimitapauksessa täyttömääräksi oletetaan edellä esitetty täyttöjen vaihteluvälin maksimimäärä, eli 315tn soraa, 1193tn muuta maa-ainesta.

Maa-aineksen osalta oletetaan, että rakennuspaikan maa-aines on täyttöihin kelpaamatonta (esim. pilaantunut maa-aines) ja kaikki rakentamisen maa-ainekset joudutaan tuomaan rakennuspaikan ulkopuolelta.

Maksimitapauksessa rakennuspaikalle on tuotava täyttöjä varten 315tn soraa ja 1193tn muuta maa-ainesta.

### **Minimitapaus**

Täyttöjen maksimitapauksessa täyttömääräksi oletetaan edellä esitetty täyttöjen vaihteluvälin minimimäärä, eli 189tn soraa, 716tn muuta maa-ainesta.

Maa-aineksen osalta oletetaan, että rakennuspaikan maa-aines on hyvälaatuista ja siitä saadaan kaikki tarvittava sora ja täytemaa.

Minimitapauksessa rakennuspaikalle ei tarvitse tuoda täyttöjä varten lainkaan maa-ainesta.

### **Yhteenveto**

Seuraavaan taulukkoon on koottu yhteenveto täyttömääristä vaihteluväleineen. Perustapaus on esitetty taulukossa tummennettuna, ja vaihteluväli minimi- ja maksimitapausten välillä on esitetty suluissa.

*Taulukko 4 Täyttömäärät*

Täytöt	materiaali	määrä (m3)	Massa (tn)
Sokkelin ja kellariseinän vierustäyttö	sora	140 (105... 175)	252 (189... 315)
Muu täyttö	maa-aines	530 (398... 663)	954 (716... 1193)
Yhteensä		670 (503... 838)	1206 (905... 1508)

Täyttöjä varten rakennuspaikalle tuotavan maa-aineksen määrä riippuu laskentatapauksesta. Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuspaikalle tuotavan maa-aineksen määrä. Perustapaus on esitetty tummennetulla, ja vaihteluväli minimitapauksesta maksimitapaukseen on esitetty suluissa.

*Taulukko 5 Rakennuspaikalle tuotavat maa-ainekset*

Täytöt	materiaali	määrä (m3)	Massa (tn)
Sokkelin ja kellariseinän vierustäyttö	sora	140 (0... 175)	252 (0... 315)
Muu täyttö	maa-aines	0 (0... 663)	0 (0... 1193)
Yhteensä		670	1206

		(0... 838)	(0... 1508)
--	--	------------	-------------

## Kuljetettavat maa-aineet

Tässä kappaleessa esitetään kahden edellisen kappaleen perusteella lasketut määrät rakennuspaikalle tuotaville, ja sieltä pois kuljetettaville maa-aineksille. Laskennassa huomioidaan rakennuspaikalta kaivetun maa-aineksen käyttö rakennuspaikan täytöissä.

### **Perustapaus**

Perustapaus kuvaa tilannetta, jossa rakennuspaikan maa-ainesta voidaan käyttää rakennuksen täyttöihin, rakennuksen vierustan soratäyttöjä lukuun ottamatta. Tämä tarkoittaa että muiden kuin soratäyttöjen tarvitsema 954tn täyttömäärä saadaan työmaalta.

Pois kuljetettavan maa-aineksen määrä lasketaan vähentämällä kaivumäärän perustapauksesta (4865tn) työmaalla hyödynnettävän maa-aineksen osuus (954tn). Rakennuspaikalta pois kuljetettavan maa-aineksen määrä perustapauksessa on siis 3911tn.

Rakennuspaikalle on lisäksi tuotava vierustäyttöjen sora, jonka määrä perustapauksessa on 252tn.

### **Maksimitapaus**

Maksimitapaus kuvaa tilannetta, jossa rakennuspaikan maa-aines on esimerkiksi pilaantunutta ja se joudutaan viemään pois rakennuspaikalta. Huonoimmassa tapauksessa rakennuspaikalta kaivettua maa-ainesta ei voida käyttää täyttöihin, joten koko kaivettu maa-ainesmäärä on kuljetettava pois rakennuspaikalta.

Edellä määritettiin kaivumäärän maksimiarvoksi 6082tn, jota käytetään tässä pois kuljetettavan maa-aineksen maksimiarvona.

Lisäksi kaikki täyttöön tarvittava sora (315tn) ja muu maa-aines (1193tn) on tuotava rakennuspaikalle muualta. Rakennuspaikalle on siis tuotava maksimitapauksessa yhteensä 1508tn maa-ainesta.

### **Minimitapaus**

Parhaassa tapauksessa kaivettua maa-ainesta voidaan käyttää kaikkiin täyttöihin, mikä vähentää kaivetun maa-aineksen kuljetustarvetta ja toisaalta myös rakennuspaikalle tuotavan maa-aineksen määrää. Minimitapauksen laskennassa käytetään edellä määritettyä kaivumäärien (3649tn) ja täyttöjen minimiarvoja (905tn).

Minimitapauksessa rakennuspaikalta on kuljetettava pois noin 2744tn maa-ainesta. Rakennuspaikalle ei tarvitse tuoda maa-ainesta muualta.

### **Yhteenveto**

Oheiseen taulukkoon on tehty yhteenveto kuljetettavien maa-ainesten määristä. Perustapaus on esitetty tummennettuna arvona ja arvojen vaihteluväli suluissa. Taulukon määrät kuvaavat rakennuksen täyttöjen tarvitsemaa, työmaan ulkopuolelta tuodun maa-aineksen materiaalimenekkiä eri tapauksissa.

*Taulukko 6 Rakennuspohjan täyttöjen materiaalimenekit. Laskennan perustapaus on esitetty taulukossa tummennettuna arvona, vaihteluvälin arvot minimistä maksimiin suluissa.*

Täytöt	materiaali	määrä (m <sup>3</sup> )	Massa (tn)
Sokkelin ja kellariseinän vierustäyttö	sora	140 (0... 175)	252 (0... 315)
Muu täyttö	maa-aines	0 (0... 663)	0 (0... 1193)
Yhteensä		140 (0... 838)	252 (0... 1508)

Seuraavassa taulukossa on esitetty rakennuspaikalta pois kuljetettavan maa-aineksen määrä, joka on kaivutyössä syntynyttä ylijäämämaata.

*Taulukko 7, Rakennuspaikalta pois kuljetettavat maa-ainekset*

materiaali	määrä (m <sup>3</sup> )	Massa (tn)
Maa-aines	2173 (0... 663)	3911 (2744...6082)
Yhteensä	2173 (0... 663)	3911 (2744...6082)

Rakennuspaikalta pois kuljetettavan maa-aineksen kuljetusmatkaksi oletetaan 15km. Oheiseen taulukkoon on koottu pois kuljetettavan maa-aineksen kuljetussuorite.

*Taulukko 8, Rakennuspaikalta pois kuljetettavan maa-aineksen kuljetussuorite, tnkm*

materiaali	Massa (tn)	Kuljetussuorite (tnkm)
Yhteensä	3911 (2744...6082)	58665 (41160... 91230)

## Paalutus

Tässä kappaleessa esitetään laskennallinen arvio rakennuksen paalutusmääristä. Paalutusmääriä arvioidaan kolmen tapauksen kautta: perus-, minimi- ja maksimitapauksella. Laskentatapaukset on esitetty seuraavassa.

### Perustapaus

Perustapauksella tarkoitetaan tässä yhteydessä tilannetta, jossa kantava pohja sijaitsee 5-10 metrin syvyydellä anturoiden alapinnasta ja rakennuksen anturoiden alle tarvitaan paalutus. Paaluvälin oletetaan olevan 2m ja paalukoon 300x300mm.

### Maksimitapaus

Maksimitapauksessa oletetaan, että rakennuspaikan pohjaolosuhteet ovat erityisen haastavat. Rakennuspohjaksi oletetaan pehmeä savimaa, jossa kantava maapohja ei ole maanpinnan läheisyydessä. Rakennuksen anturoiden alle tarvitaan

maksimitapauksessa paalutus, jossa paalutusväli on 1,5m, paalukoko 300x300mm, ja paalupituus 20m.

### **Minimitapaus**

Minimitapauksessa rakennuspaikan pohjaolosuhteet oletetaan erityisen suotuisiksi. Rakennuspaikan maapohja oletetaan kantavaksi ja se voi olla esimerkiksi kalliota tai moreenia. Rakennuksen anturoiden alle ei tarvita paalutusta.

Paalutusmäärien osalta oletetaan, että rakennuksien kantavien seinien alle (yht. 180jm) tulee anturat. Anturan kokonaismäärään ja edellä esitettyihin kolmeen tapaukseen perustuvat paalutuksen materiaalimäärät on esitetty oheisessa taulukossa. Taulukosta nähdään, että paalutuksen perustapauksessa paalumäärä on 146tn, vaihteluvälin ollessa 0...518tn.

*Taulukko 9, Paalutusten määrä*

	Materiaali	Tilavuus (m <sup>3</sup> /kpl)	Massa (tn/kpl)	Paalumäärä (kpl)	Massa yhteensä (tn)
Helpot olosuhteet	-	-	-	-	-
Tavanomaiset olosuhteet	Teräsbetoni	0,675	1,62	90	146
Vaativat olosuhteet	Teräsbetoni	1,8	4,32	120	518

## Perustukset

Tässä kappaleessa esitetään perustusrakenteisiin liittyvät laskentaoletukset, perustusrakenteiden määrä ja materiaalimenekki. Perustusratkaisu riippuu rakennuspaikan pohjaolosuhteista, käytetystä runkoratkaisusta ja rakennuksen kuormituksesta.

Tässä tehtävässä laskennassa oletetaan, että rakennuksen perustuksena on anturaperustus, jossa kantavien seinien (180jm) alla on anturaperustus.

### Perustapaus ja vaihteluväli

Anturan poikkileikkausmitaksi oletetaan perustapauksessa 500x800mm, eli 0,4m<sup>2</sup> poikkileikkausala. Poikkileikkauksen oletetaan voivan vaihdella välillä 300x600...700x1000, eli anturan poikkileikkauksen oletetaan olevan 0,2... 0,7m<sup>2</sup>.

Anturan alle tulee 200mm soraa tai mursketta, vierustoille samoin 200mm soraa tai mursketta.

Oheisessa taulukossa on esitetty anturoiden materiaalmäärät eri skenaarioille, anturan metrimäärän ollessa 180jm.

*Taulukko 10, Anturoiden materiaalimenekki. Laskennan perustapaus on esitetty tummennetulla, vaihteluväli suluissa.*

Materiaali	Tilavuus (m <sup>3</sup> /jm)	Massa (tn/jm)	Määrä (jm)	Massa yhteensä (tn)
Betoni, paikallavalettu	0,4 0,2...0,7	1,0 0,4...1,7	180	173 78...302

Anturoiden materiaalimenekki perustapauksessa on siis 173tn, vaihteluvälin ollessa 78...302tn.

### Muut perustuksiin liittyvät materiaalit

Rakennuksen perustusrakenteiden tekoon liittyy tyypillisesti perustusten alus- ja vierustäyttöjen teko, sekä routaeristeiden ja salaojien asennus. Tässä yhteydessä ei käsitellä mahdollisia sadevesiviemärointejä, tai niihin liittyviä kaivoja, sillä niiden oletetaan kuuluvan piharakenteisiin.

Routaeristeen osalta oletetaan, että rakennuksen ympäri kiertää 1,2 m levyinen, 100mm paksu routaeriste. Routaeristeen materiaaliksi on oletettu EPS-levy. Salaojien osalta oletetaan, että rakennuksen ympäri kiertää 110mm-vahvuinen polyeteeninen salaojaputki. Salaojien tarkastuskaivot sijaitsevat rakennuksen nurkissa ja seinälinjojen puolivälissä. Tarkastuskaivojen massaksi on oletettu 50kg/kpl ja materiaaliksi polypropeeni.

Oheiseen taulukkoon on koottu tehdyillä laskentaoletuksilla saadut perustusrakenteiden materiaalmäärät.



Taulukko 11, perustuksiin liittyvien materiaalien materiaalmäärät. Perustapaus on esitetty tummennetulla, vaihteluväli suluissa.

Materiaali	Massa yhteensä (tn)
Betoni, paikkallavalettu	173 (78...302)
Sora	117 (84...156)
EPS	1,5 (1,5...1,5)
PE-muovi	0,3 (0,3...0,3)
PP-muovi	0,4 (0,4...0,4)
Yhteensä	292 164...460

### 2.1.3 Alapohjat

Tarkasteltavan rakennuksen alapohja on maanvarainen alapohja, joka toimii kellarikerroksen lattiana.

#### **Perustapaus**

Tarkasteltavan rakennuksen alapohjarakenne on betonia ja sen pinta-ala on 410m<sup>2</sup>. Paikkallavaletun alapohjalaatan (80mm) alla on EPS-eristekerros (100mm), hiekkakerros (30mm), suodatinkangas ja murskekerros (270mm). Laatan pinnassa on tasoitekerros (15mm).

Perustapauksessa alapohjan neliömassa on noin 713 kg/m<sup>2</sup> ja alapohjan kokonaismassa noin 286 tonnia.

#### **Maksimitapaus**

Maksimitapauksessa on oletettu että alapohjalaatan alapuolinen murskekerros joudutaan toteuttamaan perustapausta paksumpana (350mm) ja että alapohja toteutetaan erittäin energiatehokkaana (300mm eristepaksuus). Lisäksi alapohjalaatalle oletetaan suurempi kantavuusvaatimus ja paksuus (150mm). Myös valupinta oletetaan perustapausta huonommaksi, jolloin tasoitepaksuus on suurempi (20mm).

Maksimitapauksessa alapohjan neliömassa on noin 1016 kg/m<sup>2</sup> ja alapohjan kokonaismassa noin 407 tonnia.

#### **Minimitapaus**

Minimitapauksen osalta on oletettu, että alapohjalaatan alapuolinen murskekerros voidaan toteuttaa hieman perustapausta ohuempana (200mm) ja että paikkallavaletun pinnan tasaisuus on hyvä, jolloin tasoitekerros voi olla ohuempi (5mm). Alapohjalaatan paksuuteen ei tehdä muutoksia minimitapauksessa.

Minimitapauksessa alapohjan neliömassa on noin 578 kg/m<sup>2</sup> ja alapohjan kokonaismassa noin 232 tonnia.

### Yhteenveto

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen alapohjien kokonaismassa eri laskentatapauksille. Perustapaus on esitetty tummennettuina lukuina.

*Taulukko 12, alapohjarakenteiden pinta-ala ja massa*

Rakennusosa	Määrä (m <sup>2</sup> )	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Massa yht (tn)
Maanpäällinen ulkoseinä	401	<b>713</b> (578...1016)	<b>286</b> (232...407)
Yhteensä			<b>286</b> (232...407)

Seuraavaan taulukkoon on koottu alapohjarakenteessa käytettyjen materiaalien massat. Ensimmäisessä sarakkeessa esitetään perustapauksen massat ja seuraavassa massojen vaihteluväli minimitapauksesta maksimitapaukseen.

*Taulukko 13, alapohjarakenteiden materiaalien massat*

Materiaali	Perustapaus (tn)	Vaihteluväli min...max (tn)
Murske, kivet	<b>176</b>	128... 224
Aluskangas	<b>0</b>	0... 0
Hiekka, sora	<b>22</b>	22... 22
EPS	<b>2</b>	2... 5
Betoni, pv	<b>77</b>	77... 144
Tasoite	<b>9</b>	3... 12
Yhteensä	<b>286</b>	232... 407

## 2.1.4 Runkorakenteet

Kerrostalon ulkoseinät, väliseinät, välipohjat ja yläpohja voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Valittavissa olevat toteutusvaihtoehdot ja käytettävissä olevat materiaalit ovat kuitenkin toisistaan riippuvia. Esimerkiksi kerrostalossa, jonka kantava pystyrunko on toteutettu kevyillä rakenteilla (esim. puupilarit), ei voida käyttää raskaita välipohjarakenteita (esim. ontelolaatta). Toisaalta myöskään kerrostaloa, jossa on raskaat pystyrakenteet, ei käytännössä voida toteuttaa kevyillä välipohjarakenteilla.

Tässä yhteydessä tehtävä runkorakenteiden käsittely on jaettu edellä mainitusta syystä käsittelemään erikseen kahta erilaista runkotyyppiä: kevyttä ja raskasta. Laskennan pohjana oleva todellinen kohde on betonisilla ulkoseinäelementeillä, väliseinäelementeillä ja ontelolaattaväli- ja -yläpohjilla varustettu asuinkerrostalo. Tarkasteltava kohde toimii laskennan perustapauksena, johon muita ratkaisuja verrataan.

Minimitapauksen pääasiallisena materiaalina on puu, maksimitapauksen betoni. Myös teräsrakenteiden ja erilaisten teräksisten liittorakenteiden käyttö asuinkerrostaloissa on mahdollista. Tässä laskennassa ei tehdä teräsrakenteita

koskevia laskelmia, vaan niiden massan ja ympäristövaikutusten oletetaan sijoittuvan tämän laskennan minimi- ja maksimitapausten välille.

## 2.1.5 Raskaat runkorakenteet

Tässä yhteydessä raskailla runkorakenteella tarkoitetaan massiivisia, pääosin teräksestä ja kiviaineksesta koostuvia runkorakenteita.

Betonirakenteiset asuinkerrostalot voidaan jakaa kolmeen pääryhmään niiden kantavien pystyrakenteiden pääasiallisen muodon perusteella. Betonipilarirunko on näistä kevyin, sillä siinä kantava pystyrakenne rakennuksen ulkoseinissä ja talon keskellä koostuu massiivisten seinäelementtien sijaan betonipilareista. Betoniseinärungossa ulkoseinät ja kantavat pystyrakenteet talon keskellä ovat massiivista teräsbetoniseiniä. Kirjahyllyrungossa vain talon päätyseinät ovat kantavia teräsbetoniseiniä.<sup>4</sup>

Tämän kappaleen tarkoituksena on etsiä raskaan rakennusrungon massalle maksimiarvo, muokkaamalla tarkasteltavan kohteen rakenteita.

### **Laskettava runkorakenne**

Tarkasteltavassa kohteessa kantavat pystyrakenteet ovat pääosin betonielementtiseiniä. Myös ala- ja välipohjat ovat betonirakenteiset. Kohteessa on lisäksi pieni määrä kevytrakenteista ulkoseiniä sekä teräspoimulevystä tehtyä yläpohjaa.

Tässä yhteydessä tehtävässä maksimitapausten laskennassa tarkasteltavan kohteen kevytrakenteinen ulkoseinä ja teräspoimulevystä tehty yläpohja muutetaan betonielementtirakenteiksi. Väli- ja yläpohjien ontelolaattarakenteet muutetaan maksimitapausten laskennassa ontelolaatan ja paikallavaletun betonin muodostamaksi yhdistelmärakenteeksi.

## Raskaiden runkorakenteiden ulkoseinät

Tarkasteltavan rakennuksen ulkoseinät ovat pääosin betonielementtejä. Rakennuksen seinäpinta-ala, aukotuksia lukuun ottamatta, on yhteensä 1630m<sup>2</sup>.

Asuinkerrosten maanpäällistä seinää on yhteensä 1270m<sup>2</sup>. Tästä 780m<sup>2</sup> on kantavaa seinää, 385m<sup>2</sup> ei-kantavaa seinää ja 105m<sup>2</sup> teräsrunkoista termorankaseiniä. Rakennuksessa on myös 250m<sup>2</sup> maanalaista seinää, josta 70m<sup>2</sup> on väestönsuojan seinää ja loppuosa, 180m<sup>2</sup> tavallista kellariseiniä.

Rakennuksessa on lisäksi katolla sijaitseva talotekninen tila. Sen ulkoseinäpinta-ala on yhteensä 110m<sup>2</sup>, jonka seinärakenne vastaa asuinkerrosten ei-kantavaa betoniseiniä.

Tarkasteltavaa rakennusta käytetään perustapauksena ja sen perusteella lasketaan ulkoseinän maksimitapaus.

---

<sup>4</sup> Kerrostalot 1980-2000, Arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. Rakennustietosäätiö RTS, 2006.

### Perustapaus

Suurin osa rakennuksen maanpäällisestä ulkoseinästä on toteutettu kantavilla betonielementeillä, jossa kantavan sisäkuoren (150mm) päällä on mineraalivillaeriste (210mm) ja rapattu julkisivupinta. Tätä ulkoseinätyyppiä on rakennuksessa noin 590m<sup>2</sup>. Osa ulkoseinästä on rakenteeltaan muuten vastaava, mutta sen sisäkuoren paksuus on 100mm. Tätä ulkoseinätyyppiä on asuinkerrosten ulkoseinissä 385m<sup>2</sup> ja katon talotekniikkatilassa 110m<sup>2</sup>. Rakennuksen ulkoseinästä osa (190m<sup>2</sup>) on lisäksi betonisandwich-elementtiä, jossa sisäkuoren paksuus on 150mm, eristepaksuus 240mm ja ulkokuoren paksuus 85mm.

Lisäksi pieni osa maanpäällisestä ulkoseinästä (105m<sup>2</sup>) on teräksistä, puuverhottua termorankaelementtiä.

Maanalaisesta ulkoseinästä väestönsuojan ulkoseinää on 70m<sup>2</sup> ja muita seinätyyppejä loput, noin 180m<sup>2</sup>. Väestönsuojaseinän kantavan sisäkuoren paksuus on 300mm, muun seinän 150mm.

Perustapauksessa ulkoseinien keskimääräinen neliömassa on 407kg/m<sup>2</sup> ja kokonaismassa 663tn.

### Maksimitapaus

Maksimitapauksessa tarkastellaan tilannetta, jossa ulkoseinät toteutetaan betonisandwich-rakenteena ja passiivitasoisella eristekerroksella. Maksimitapaus lasketaan muuttamalla kaikki ulkoseinät (lukuun ottamatta katon talotekniikkatilaa) kantaviksi betonisandwich-elementeiksi, jossa ulkokuoren paksuus on 100mm, eristepaksuus 300mm ja sisäkuoren paksuus 150mm.

Maksimitapauksessa ulkoseinien keskimääräinen neliömassa on 631kg/m<sup>2</sup> ja kokonaismassa 1028tn.

### Yhteenveto

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen ulkoseinien kokonaismassat eri laskentatapauksille. Perustapaus on esitetty tummennettuina lukuina ja maksimiarvo suluissa

*Taulukko 14, raskaat runkorakenteet, ulkoseinien pinta-alat ja massat*

Rakennusosa	Määrä (m <sup>2</sup> )	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Massa yht (tn)
Maanpäällinen ulkoseinä	1380	<b>350</b> (611)	<b>484</b> (842)
Maanalainen ulkoseinä	250	<b>717</b> (745)	<b>179</b> (186)
Yhteensä			<b>663</b> (1028)

Seuraavaan taulukkoon on koottu ulkoseinämaterialien massat. Tulokset on esitetty materiaaleittain perus- ja maksimitapaukselle.

Taulukko 15, raskaat runkorakenteet, ulkoseinämaterialien massat

	<b>Perustapaus</b>	Maksimitapaus
Materiaali	<b>(tn)</b>	(tn)
Kipsilevy	<b>2</b>	0
Puu	<b>1</b>	0
Rappaus	<b>22</b>	0
EPS	<b>1</b>	19
Teräs	<b>2</b>	0
Mineraalivilla	<b>11</b>	0
Betoni, sisäkuori	<b>530</b>	617
Betoni, ulkokuori	<b>95</b>	392
Yhteensä	<b>663</b>	1028

## Raskaiden runkorakenteiden kantavat väliseinät

Tarkasteltavan rakennuksen kantavien väliseinien kokonaismäärä on 1265m<sup>2</sup>, josta suurin osa (1050m<sup>2</sup>) on normaalia betonielementtiseiniä, 145m<sup>2</sup> hissikuilun seinärakennetta ja 70 m<sup>2</sup> väestönsuojan väliseiniä.

### Perustapaus

Rakennuksen väliseinäelementit ovat suurimmalta osin 200mm paksuja betonielementtiseiniä (1195m<sup>2</sup>) ja pieneltä osin (70m<sup>2</sup>) paksumpaa 300mm seinää (väestönsuojarakenteet).

Perustapauksessa rakennuksen väliseinien neliömassa on keskimäärin 493kg/m<sup>2</sup>, kokonaismassan ollessa 624 tonnia.

### Maksimitapaus

Asiantuntija-arvion perusteella tarkastellun kaltaisessa rakennuksessa ei ole missään suunnittelutilanteessa tarpeen käyttää 200mm paksumpia väliseiniä, joten maksimitapaus on perustapausta vastaava.

Maksimitapauksessa rakennuksen väliseinien neliömassa on keskimäärin 493kg/m<sup>2</sup>, kokonaismassan ollessa 624 tonnia.

### Yhteenveto

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen väliseinien kokonaismassat eri laskentatapauksille. Perustapaus on esitetty tummennettuina lukuina.

*Taulukko 16, raskaat runkorakenteet, väliseinien pinta-alat ja massat*

Rakennusosa	Määrä (m <sup>2</sup> )	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Massa yht (tn)
Väliseinät: VSS ja hissikuilu	215	<b>558</b> (558)	<b>120</b> (120)
Väliseinät, muut	1050	<b>480</b> (89...480)	<b>504</b> (504)
Yhteensä			<b>624</b> (624)

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen väliseinien kokonaismassat eri laskentatapauksille. Perustapaus on esitetty tummennettuina lukuina ja maksimiarvo suluissa

*Taulukko 17, raskaat runkorakenteet, väliseinämateriaalien massat*

	Perustapaus	Maksimitapaus
Materiaali	(tn)	(tn)
Betoni, väliseinäelementti	<b>624</b>	624
Yhteensä	<b>624</b>	624

## Raskaiden runkorakenteiden välipohjat

Tarkasteltavassa rakennuksessa on yhteensä 2320m<sup>2</sup> erilaisia välipohjatyyppisiä. Myös porrastasanteet on laskettu mukaan välipohjan kokonaismäärään. Väestönsuojan välipohjaa on rakennuksessa noin 55m<sup>2</sup>.

### Perustapaus

Välipohjan kokonaismäärä rakennuksessa on 2320m<sup>2</sup>. Rakennuksen vallitsevana välipohjatyyppinä on 370mm ontelolaataattavälipohja, jota on rakennuksessa yhteensä 1810m<sup>2</sup>.

Väestönsuojarakenteiden yhteydessä käytetään rakenetta, jossa ontelolaatan päällä on hiekkakerros ja paikallavalettu teräsbetonilaatta. Väestönsuojan yläpuolista välipohjaa on kohteessa yhteensä 55m<sup>2</sup>.

Muihin välipohjatyyppisiin kuuluvat esimerkiksi märkätilojen välipohjat, joiden rakenteena on ontelolaatta + pintavalu. Muiden välipohjatyyppien kokonaismäärä rakennuksessa on yhteensä 455m<sup>2</sup>.

Perustapauksessa välipohjien keskimääräinen neliömassa rakennuksessa on 493kg/m<sup>2</sup> ja kokonaismassa 1143tn.

### Maksimitapaus

Maksimitapauksen osalta käytetään vaihtoehtoista ontelolaatan ja paikallavaletun betonin muodostamaa hybridirakennetta. Maksimitapauksessa oletetaan, että 370mm ontelolaataattavälipohja (+pintabetoni) muutetaan yhdistelmärakenteeksi,

jossa 200mm ontelolaatan päälle valetaan 180mm betonikerros.<sup>5</sup> Tämän välipohjatyyppin määrä on 1810m<sup>2</sup>.

Muut välipohjarakenteet tehdään paikallavalettuina rakenteina siten, että perustapauksen ontelolaatta+pintabetoni-rakenne muutetaan paikallavaletuiksi massiivibetonirakenteiksi. Laskennassa ontelolaattarakenteet mallinnetaan joko 300mm tai 270mm vahvuiseen betonivälipohjana.

Laskennassa on oletettu että 300mm on maksimipaksuus, mitä asuinrakennuksissa voidaan tarvita ja 270mm on paksuus, joka riittää tyypillisiin tilanteisiin. Koska tässä tarkastelussa ei mitoiteta rakenteita, valitaan 300mm laatta korvaamaan ontelolaattarakenteet, joissa ontelolaatan ja pintabetonin paksuus ylittää 300mm ja 270mm laatta tilanteissa, joissa paksuus alittaa 300mm.

Oheisilla laskentaoletuksilla 300mm paksuisen, paikallavaletun välipohjan määrä maksimitapauksessa on 350m<sup>2</sup>. Lisäksi maksimitapauksessa on 100m<sup>2</sup> 270mm paksua välipohjaa.

Väestönsuojarakenteiden välipohjaan (55m<sup>2</sup>) ei tehdä muutoksia maksimitapauksen laskennassa.

Maksimitapauksessa välipohjien keskimääräinen neliömassa rakennuksessa on 694kg/m<sup>2</sup> ja kokonaisuudessaan 1609tn.

### Yhteenveto

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen välipohjien kokonaisuudet eri laskentatapauksille. Perustapaus on esitetty tummennettuina lukuina ja maksimiarvo suluissa

*Taulukko 18, raskaat runkorakenteet, välipohjien pinta-alat ja massat*

Rakennusosa	Määrä (m <sup>2</sup> )	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Massa yht (tn)
Välipohjat	<b>2320</b> (2320)	<b>493</b> (694)	<b>1143</b> (1609)
Yhteensä			<b>1143</b> (1609)

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen välipohjien kokonaisuudet eri laskentatapauksille materiaaleittain jaoteltuna. Perustapaus on esitetty tummennettuina lukuina ja maksimiarvo suluissa

*Taulukko 19, raskaat runkorakenteet, välipohjamateriaalien massat*

	Perustapaus (tn)	Maksimitapaus (tn)
Materiaali	<b>(tn)</b>	(tn)
Tasoite	<b>90</b>	0
Ontelolaatta 370mm	<b>772</b>	0
Ontelolaatta 300mm	<b>21</b>	21

<sup>5</sup>[http://www.lujatalo.fi/ajankohtaista/101/0/hybridivalipohja\\_ontelolaattaa\\_parempi\\_aikataulussa\\_kustannuksissa\\_ja\\_aaneneristävyydessa](http://www.lujatalo.fi/ajankohtaista/101/0/hybridivalipohja_ontelolaattaa_parempi_aikataulussa_kustannuksissa_ja_aaneneristävyydessa). Viitattu 1.11.2012

Ontelolaatta 265mm	<b>20</b>	0
Ontelolaatta 250mm	<b>34</b>	0
Ontelolaatta 200mm	<b>72</b>	454
Paikallavalubetoni	<b>104</b>	1106
Hiekka, sora	<b>30</b>	30
<b>Yhteensä</b>	<b>1143</b>	1611

## Raskaiden runkorakenteiden yläpohjat

Rakennuksen yläpohjarakenteiden pinta-ala on yhteensä 334m<sup>2</sup>, josta 274m<sup>2</sup> on ontelolaattayläpohjaa ja 60m<sup>2</sup> teräspoimulevykattoa. Poimulevykaton osuus on rakennuksen katolla olevan erillistilan kattoa.

Lisäksi rakennuksen muoto on porrastettu 4 ja 5 kerroksen välillä siten, että 5. ja 6. kerrosten pinta-ala on pienempi kuin kerroksissa 1.-4. Tästä johtuen 5.kerroksen parvekkeen lattia toimii myös 4.kerroksen yläpohjarakenteena. Tämän rakenteen määrä on noin 70m<sup>2</sup>.

### Perustapaus

Rakennuksen yläpohjana toimii 265mm vahvuinen ontelolaatta, jonka päällä on eristeenä 200mm EPS-eristettä ja 500mm kevytsoraa. Eristekerrosten päällä on ohut betonikerros ja bitumikate. Lisäksi rakennuksessa on teräspoimulevykattoa 60m<sup>2</sup>. Porrastuksen kohdalla oleva rakenne on yläpohjan ontelolaattarakennetta vastaava, ilman kevytsorakerrosta.

Perustapauksessa yläpohjan keskimääräinen neliömassa on 506kg/m<sup>2</sup> ja yläpohjan kokonaismassa 204tn.

### Maksimitapaus

Maksimitapauksessa yläpohjan 265mm vahvuinen ontelolaatta oletetaan samanvahvuiseksi, paikallavaletuksi betonirakenteeksi. Lisäksi rakenteen EPS-paksuus kasvatetaan 200mm:stä 300mm:iin. Myös teräspoimulevykatto oletetaan maksimitapauksessa vastaavaksi paikallavalurakenteeksi. Porrastuksen yläpohjarakenteeksi oletetaan 265mm paikallavalulaatta, 300mm EPS-eristettä ja 40mm pintavalu.

Perustapauksessa yläpohjan keskimääräinen neliömassa on 886kg/m<sup>2</sup> ja yläpohjan kokonaismassa 358tn.

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen yläpohjien kokonaismassat eri laskentatapauksille. Perustapaus on esitetty tummennettuina lukuina ja maksimiarvo suluissa.

*Taulukko 20, raskaat runkorakenteet, yläpohjien pinta-alat ja massat*

Rakennusosa	Määrä (m <sup>2</sup> )	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Massa yht (tn)
Yläpohjat	<b>404</b> (404)	<b>506</b> (886)	<b>204</b> (358)
<b>Yhteensä</b>			<b>204</b> (358)



Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen välipohjien kokonaismassat eri laskentatapauksille materiaaleittain jaoteltuna. Perustapaus on esitetty tummennettuina lukuina ja maksimiarvo suluissa.

*Taulukko 21, raskaat runkorakenteet, yläpohjamateriaalien massat*

	<b>Perustapaus</b>	Maksimitapaus
Materiaali	<b>(tn)</b>	(tn)
Bitumi	<b>6</b>	6
Betoni, paikallavalettu	<b>33</b>	32
Kevytsora	<b>37</b>	45
EPS	<b>3</b>	4
Betoni, laatta	<b>0</b>	219
Mineraalivilla	<b>1</b>	0
Teräs	<b>1</b>	0
Betoni, ontelolaatta 265mm	<b>123</b>	0
<b>Yhteensä</b>	<b>204</b>	358

## Raskaiden runkorakenteiden massa, yhteenveto

Saatujen laskentatulosten perusteella raskaalla runkorakenteella toteutetun rakennuksen massa on perustapauksessa yhteensä noin 2575tn, maksimitapauksessa 3640tn.

Saadut laskentatulokset on koottu oheisiin taulukoihin. Perustapauksen laskentatulokset on merkitty taulukoihin omiin sarakkeisiinsa tummennettuina arvoina.

*Taulukko 22, raskaat runkorakenteet, rakenneosien massat koko rakennuksen osalta, yksikkönä tonnia/rakennus*

	<b>Perustapaus</b>	Maksimitapaus
Rakennusosa	<b>(tn)</b>	(tn)
Ulkoseinät	<b>663</b>	1028
Väliseinät	<b>624</b>	624
Välipohjat	<b>1143</b>	1611
Yläpohjat	<b>204</b>	358
<b>Yhteensä</b>	<b>2634</b>	3621

*Taulukko 23, raskaat runkorakenteet, rakenneosien materiaalimäärät koko rakennuksen osalta, yksikkönä tonnia/rakennus*

	<b>Perustapaus</b>	Maksimitapaus
Materiaali	<b>(tn)</b>	(tn)
Betoni, laatta	<b>0</b>	219
Betoni, ontelolaatta 200mm	<b>72</b>	454
Betoni, ontelolaatta 250mm	<b>34</b>	0
Betoni, ontelolaatta 265mm	<b>143</b>	0
Betoni, ontelolaatta 300mm	<b>21</b>	21
Betoni, ontelolaatta 370mm	<b>772</b>	0

Betoni, sisäkuori	530	617
Betoni, ulkokuori	95	392
Betoni, väliseinäelementti	624	624
Bitumi	6	6
EPS	4	24
Hiekka, sora	30	30
Kevytsora	37	45
Kipsilevy	2	0
Mineraalivilla	12	0
Puu	1	0
Paikallavalettu betoni	137	1189
Rappaus	22	0
Tasoite	90	0
Teräs	3	0
Yhteensä	2635	3621

## 2.1.6 Kevyet runkorakenteet

Tässä yhteydessä kevyillä runkorakenteella tarkoitetaan pääosin puusta koostuvia runkorakenteita. Puurakenteiset asuinkerrostalot voidaan toteuttaa usealla eri rakennejärjestelmällä, kuten pilari-palkkijärjestelmällä, CLT-järjestelmällä tai hybridijärjestelmällä.

Pilari-palkkijärjestelmässä kantavina ja jäykistävinä rakenteina toimivat kertopuiset pilarit ja palkit ja näiden varaan asennetut välipohjalaatat. Ulkoseinät toteutetaan järjestelmässä kevyinä suurelementteinä. Järjestelmällä voidaan saavuttaa jopa 7,5 metrin jänneväli.<sup>6</sup>

Kerrostalo voidaan toteuttaa massiivipuuisena niin kutsutulla CLT-tekniikalla. Lyhenne tulee sanoista cross laminated timber, ja se kuvaa rakennetta, joka perustuu massiivipuulevyyn, jonka puukerrokset on liimattu ristiin. Levyjä on saatavilla useita eri vahvuuksia, ja suurin levykoko on 3x6 metriä. Levy toimii rakenteellisesti sekä kantavana että jäykistävänä rakenteena seinissä ja välipohjissa ja sen avulla voidaan toteuttaa jopa 12-kerroksisia rakennuksia.

Esimerkki hybridirakenteisesta toteutustavasta on puukerrostalojärjestelmä, jossa puuverhotut, kantavat ulkoelementit muodostavat pilaripalkkirakenteen kanssa rakennuksen runkorakenteen. Välipohjarakenteessa käytetään ääni- ja värähtelyteknisistä syistä liittorakennetta, jossa liimapuurakenne on yhdistetty ohueen betonikerrokseen.<sup>7</sup>

### Laskettava runkorakenne

Tässä tehtävissä laskelmissa tarkasteltavan kohteen (betonisandwich- ja ontelolaatta) rakenteet muutetaan puurakenteiksi, lukuun ottamatta maanvaraista alapohjaa, maanalaisia ulkoseinäarakenteita, väestönsuojarakenteita, ja hissikuilua.

Minimitapauksen laskennassa rakennus mallinnetaan pilari-palkkirunkoisena rakennuksena, jossa on välipohjarakenteena betonin ja puun yhdistelmä rakenne.

<sup>6</sup> [http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/Puuinfo\\_Kerrostaloosite\\_LR.pdf](http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/Puuinfo_Kerrostaloosite_LR.pdf)

<sup>7</sup> Versowood Group –Internet-sivut, <http://www.versowood.fi/>, viitattu 11.6.2012.

Kaikki puurakenteet mallinnetaan puuinfon rakennekirjaston avulla.

## Kevyiden runkorakenteiden kantava rakennusrunko

Tässä tehtävissä laskelmissa raskaan rakennusrungon minimitapausta edustaa pilari-palkkirunko. Pilari-palkkirungossa on erillinen, kantava rakennusrunko, sekä ei-kantavat ulko- ja väliseinät. Massiivisessa CLT-seinärunngossa sen sijaan ei ole erillistä, kantavaa rakennusrunkoa, vaan rakennusosat (esim. ulkoseinät, väliseinät) toimivat myös kantavana rakenteena.

Puupilarirungon osalta tehdään yksinkertainen laskentaoletus, jossa pilareiden ja palkkien poikkileikkausmitta on 300x300 ja niiden keskinäinen etäisyys on 5 metriä.

Oheiseen taulukkoon on koottu puisen, pilari-palkkirunkoisen rakennuksen kantavan rakenteen määrät.

Näillä laskentaoletuksilla tehdyt pilarien ja palkkien määrälaskelmat on esitetty seuraavassa taulukossa.

*Taulukko 24, Pilari-palkkirunkoisen rakennuksen kantavan rakenteen määrät*

Rakennusosa	Määrä / krs (kpl)	Määrä yht (kpl)	Tilavuus / kpl (m <sup>3</sup> )	Tilavuuyht (m <sup>3</sup> )	Tiheys (tn/m <sup>3</sup> )	Massa yht (tn)
Runkopilarit	25	150	0,27	4	0,45	18
Runkopalkit	40	280	0,32	91	0,45	42
Yhteensä						60

Tehdyillä laskentaoletuksilla pilari-palkkirungon massaksi saadaan 60tn.

## Kevyiden runkorakenteiden ulkoseinät

Tarkasteltavan rakennuksen ulkoseinät ovat pääosin betonielementtejä. Rakennuksen seinäpinta-ala, aukotuksia lukuun ottamatta, on yhteensä 1630m<sup>2</sup>.

Asuinkerrosten maanpäällistä seinää on yhteensä 1270m<sup>2</sup>. Tästä 780m<sup>2</sup> on kantavaa seinää, 385m<sup>2</sup> ei-kantavaa seinää ja 105m<sup>2</sup> teräsrunkoista termorankaseinää. Rakennuksessa on myös 250m<sup>2</sup> maanalaista seinää, josta 70m<sup>2</sup> on väestönsuojan seinää ja loppuosa, 180m<sup>2</sup> tavallista kellariseinää.

Rakennuksessa on lisäksi katolla sijaitseva talotekninen tila. Sen ulkoseinäpinta-ala on yhteensä 110m<sup>2</sup>, jonka seinärakenne vastaa asuinkerrosten ei-kantavaa betoniseinää.

Tarkasteltavaa rakennusta käytetään perustapauksena ja sen perusteella lasketaan massa puurakenteiden minimitapaukselle.

Puurakenteisten ulkoseinien tapauksessa rakennuksen betonielementit on korvattu maanpäällisten asuinkerrosten osalta puurunkoisella ulkoseinällä. Myös

talotekniikkatilan ulkoseinärakenne korvataan vastaavalla rakenteella. Maanalaisiin seinärakenteisiin ei tehdä muutoksia.

### Minimitapaus

Ulkoseinien minimitapaus lasketaan puurunkoisilla ulkoseinäelementeillä. Seinä on mallinnettu Puuinfon rakennekirjaston 4-8 kerroksisille puukerrostaloille tarkoitetulla ulkoseinätyypillä<sup>8</sup>. Rakenteessa on runkorakenteena k600-jaolla olevat puiset runkotalpat ja eristeenä mineraalivilla. Rakenteen palosuojaukseen käytetään sisäpinnassa 2x15mm palosuojakipsilevyä, ja julkisivuverhouksen tuuletusvälissä teräksiset palokatkot. Julkisivumateriaalina on ulkoverhouslauta. Ulkoseinän eriste- ja runkopaksuus on muokattu vastaamaan tarkasteltavan kohteen alkuperäistä, keskimääräistä mineraalivillapaksuutta, 210mm. Rankarakenteisen seinän massa on 89 kg/m<sup>2</sup>.

Kun maanpäälliset seinät korvataan rankarakenteisella seinätyypillä, on rakennuksen ulkoseinien keskimääräinen neliömassa 185kg/m<sup>2</sup> ja rakennuksen ulkoseinien kokonaismassa 302tn.

### Yhteenveto

Oheiseen taulukkoon on koottu kevyiden ulkoseinien pinta-alat ja massat.

*Taulukko 25, kevyet runkorakenteet, ulkoseinien pinta-alat ja massat*

Rakennusosa	Määrä (m <sup>2</sup> )	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Massa yht (tn)
Maanpäällinen ulkoseinä	1380	89	123
Maanalainen ulkoseinä	250	717	179
Yhteensä			302

Oheiseen taulukkoon on koottu kevyiden ulkoseinien pinta-alat ja massat materiaaleittain jaoteltuna.

*Taulukko 26, kevyet runkorakenteet, ulkoseinämaterialien massat*

Materiaali	Massa (tn)
kipsilevy	63
puu	47
teras(sink)	1
mineraalivilla	12
betoni, sisäk	122
betoni, ulkok	56
EPS	1
CLT	0
Yhteensä	302

<sup>8</sup> Puuinfon rakennekirjasto: ”P2-paloluokan max 8 krs asuin- ja työpaikkarakennuksen rakennetyypit, US802” <http://www.puuinfo.fi/rakennetyypikirjastot>

## Kevyiden runkorakenteiden väliseinät

Tarkasteltavan rakennuksen kantavien väliseinien kokonaismäärä on 1265m<sup>2</sup>, josta suurin osa (1050m<sup>2</sup>) on normaalia betonielementtiseinää, 145m<sup>2</sup> hissikuilun seinärakennetta ja 70 m<sup>2</sup> väestönsuojan väliseinää.

Rakennuksen VSS:n ja hissikuilun seinärakenteisiin ei tehdä muutoksia tässä laskennassa, vaan ne toteutetaan betonirakenteisina seininä. VSS:n ja hissikuilun osuus kantavista väliseinistä on noin 215m<sup>2</sup>.

Muun kantavan väliseinän määrä on 1050m<sup>2</sup>, joka lasketaan minimitalouksessa puurunkoisena huoneistojenvälisenä väliseinänä.

### Minimitapaus

Väliseinien minimitalous lasketaan Puuinfon rakennekirjaston mukaisena, huoneistojenväliseinä väliseinätyyppinä<sup>9</sup>. Minimitalouksessa väliseinien keskimääräinen neliömassa on 168kg/m<sup>2</sup> ja kokonaismassa 213tn.

### Yhteenveto

Kevyiden runkorakenteiden väliseinien keskimääräinen neliömassa vaihtelee välillä 140...210kg/m<sup>2</sup>, kokonaismassan vaihdellessa välillä 169...252tn.

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen väliseinien pinta-ala, sekä neliö- ja kokonaismassa.

Taulukko 27, kevyet runkorakenteet, väliseinien pinta-alat ja massat

Rakennusosa	Määrä (m <sup>2</sup> )	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Massa yht (tn)
Väliseinät, VSS ja hissikuilu	215	558	120
Väliseinät, muut	1050	89	93
Yhteensä			213

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen väliseinien pinta-ala, sekä neliö- ja kokonaismassa materiaaleittain jaoteltuna.

Taulukko 28, kevyet runkorakenteet, väliseinärakenteiden kokonaismassan jakautuminen rakennusmateriaaleittain

Materiaali	Massa (tn)
Betoni, väliseinä	120
Puu	24
Kipsilevy	63
Mineraalivilla	6
CLT	0
Yhteensä	213

<sup>9</sup> Puuinfon rakennekirjasto: ”P2-paloluokan max 8 krs asuin- ja työpaikkarakennuksen rakennetyypit, HVS801” <http://www.puuinfo.fi/rakennetyypikirjastot>

## Kevyiden runkorakenteiden välipohjat

Tarkasteltavan rakennuksen välipohjien kokonaismäärä on yhteensä 2320m<sup>2</sup>. Porrastasanteet ja väestönsuojien välipohjat sisältyvät välipohjan kokonaismäärään.

Tarkasteltavan rakennuksen todelliset välipohjarakenteet toimivat laskennan perustapauksena. Rakennuksen väestönsuojaan liittyviin välipohjarakenteisiin (55m<sup>2</sup>) ei tehdä muutoksia tässä laskennassa, vaan ne toteutetaan perustapauksen mukaisina.

Muun välipohjan määrä on 2265m<sup>2</sup>, joka lasketaan puurunkoisena välipohjana.

Käytettävät välipohjatyypit ovat huoneistojenvälisiä välipohjia, jotka täyttävät välipohjille asetetut ääni- ja palotekniset vaatimukset.

### Minimitapaus

Runkorakenteiden välipohjien minimitapaus lasketaan puisena, palkkirakenteisena välipohjana. Palkkirakenteisia välipohjia ei mitoiteta, vaan myös ne mallinnetaan Puuinfon rakennekirjaston avulla<sup>10</sup>, olettaen kantavan rakenteen paksuudeksi 300mm.

Minimitapauksessa välipohjien keskimääräinen neliömassa rakennuksessa on 228kg/m<sup>2</sup> ja kokonaismassa 529tn.

### Yhteenveto

Kevyiden runkorakenteiden välipohjien keskimääräinen neliömassa on 228 kg/m<sup>2</sup>, ja välipohjien kokonaismassa 529 tn.

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen välipohjien pinta-ala, sekä neliö- ja kokonaismassa.

*Taulukko 29, kevyet runkorakenteet, välipohjien pinta-alat ja massat*

Rakennusosa	Määrä (m <sup>2</sup> )	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Massa yht (tn)
Puinen välipohja	2265	195	442
Betoninen välipohja, VSS	55	1576	87
Yhteensä			529...925

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen välipohjien pinta-ala, sekä neliö- ja kokonaismassa materiaaleittain jaoteltuna.

*Taulukko 30, kevyet runkorakenteet, välipohjarakenteen kokonaismassan jakautuminen rakennusmateriaaleittain*

Materiaali	Massa

<sup>10</sup> Puuinfon rakennekirjasto: ”P2-paloluokan max 8 krs asuin- ja työpaikkarakennuksen rakennetyypit, VP802” <http://www.puuinfo.fi/rakennetyypikirjastot>

	(tn)
Betoni,laatta	268... 268
Vaneri	20... 0
Mineraalivilla	20... 14
Puu	84... 54
Teras(sink)	3... 3
Kipsilevy	89... 43
Betoni, paikallavalettu	11... 11
Hiekka, sora	34... 34
CLT	0... 339
Murske, kivet	0... 159
Yhteensä	529... 925

## Kevyiden runkorakenteiden yläpohjat

Rakennuksen yläpohjarakenteiden pinta-ala on yhteensä 334m<sup>2</sup>, josta 274m<sup>2</sup> on ontelolaattayläpohjaa ja 60m<sup>2</sup> teräspoimulevykattoa. Poimulevykaton osuus on rakennuksen katolla olevan erillistilan kattoa.

Lisäksi rakennuksen muoto on porrastettu 4 ja 5 kerroksen välillä siten, että 5. ja 6. kerrosten pinta-ala on pienempi kuin kerroksissa 1.-4. Tästä johtuen 5.kerroksen parvekkeen lattia toimii myös 4.kerroksen yläpohjarakenteena. Tämän rakenteen määrä on noin 70m<sup>2</sup>.

### Minimitapaus

Kevyiden runkorakenteiden yläpohjien minimitapaus lasketaan puisilla palkirakenteilla. Laskennassa ei mitoiteta rakenteita, vaan ne kaikki mallinnetaan Puuinfon rakennekirjaston 4-8 kerroksisille puukerrostaloille tarkoitetulla yläpohjarakenteina<sup>11</sup>. Porrastuksen kohdalla rakenteeksi oletetaan 300mm CLT-laatta, 200mm EPS-eristettä ja 40mm pintavalu.

Minimitapauksessa yläpohjan keskimääräinen neliömassa on 125kg/m<sup>2</sup> ja kokonaismassa 51tn.

### Yhteenveto

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen yläpohjien pinta-ala, sekä neliö- ja kokonaismassa.

Taulukko 31, kevyet runkorakenteet, yläpohjien pinta-alat ja massat

Rakennusosa	Määrä (m <sup>2</sup> )	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Massa yht (tn)
Yläpohjat	404	125	51
Yhteensä			51

Seuraavaan taulukkoon on koottu rakennuksen yläpohjien massat rakennusmateriaaleittain jaoteltuna.

<sup>11</sup> Puuinfon rakennekirjasto: ”P2-paloluokan max 8 krs asuin- ja työpaikkarakennuksen rakennetyypit, YP803” <http://www.puuinfo.fi/rakennetyypikirjastot>

*Taulukko 32, kevyet runkorakenteet, yläpohjarakenteen kokonaismassan jakautuminen rakennusmateriaaleittain.*

	Massa
Materiaali	(tn)
Kipsilevy	10
Puu	6
CLT	11
Mineraalivilla	6
Bitumi	6
Puu, palkki	4
EPS	1
Betoni, paikallavalettu	7
Yhteensä	51

## Kevyet runkorakenteet, yhteenveto

Kevyellä runkorakenteella toteutetun rakennuksen massa on 1155 tn. Saadut laskentatulokset on koottu oheiseen taulukkoon.

*Taulukko 33, kevyet runkorakenteet, rakennusosien massan vaihteluväli*

Rakennusosa	Vaihteluväli min...max (tn)
Runkorakenne	60
Ulkoseinät	302
Väliseinät	213
Välipohjat	529
Yläpohjat	51
Yhteensä	1155

Seuraavaan taulukkoon on koottu kevyiden runkorakenteiden massa materiaaleittain jaoteltuna.

*Taulukko 34, kevyet runkorakenteet, rakenneosien materiaalmäärien vaihteluväli*

Materiaali	Vaihteluväli min...max (tn)
Betoni, laatta	268
Betoni, sisäkuori	122
Betoni, ulkokuori	56
Betoni, väliseinäelementti	120
Bitumi	6
CLT	11
EPS	2
Hiekka, sora	34
Kipsilevy	225
Mineraalivilla	44
Murske, kivi	0
Puu	160
Puupalkki	47
Puupilari	18



Paikallavalettu betoni	18
Teräs	4
Vaneri	20
Yhteensä	1155

## 2.1.7 Runkorakenteet, yhteenveto

### Runkorakenteiden massa

Saatujen laskentatulosten perusteella rakennuksen runkorakenteiden massa on perustapauksessa yhteensä noin 2635tn, massan vaihdellessa välillä 1155...3621tn kevyestä raskaaseen.

Saadut laskentatulokset on koottu oheiseen taulukkoon. Taulukon yhteydessä on huomattava, että yksittäisten rakennusosien vaihteluvälin minimiarvot kuvaavat runkorakenteen pienimpään, maksimiarvot suurimpaan kokonaismassaan johtavaa ratkaisua.

*Taulukko 35, runkorakenteet, rakenneosien massan perustapaus ja massan vaihteluväli kevyimmän ja raskaimman runkoratkaisun välillä*

Rakennusosa	Perustapaus (tn)	Vaihteluväli min...max (tn)
Runkorakenne	0	60... 0
Ulkoseinät	664	302... 1028
Väliseinät	624	213... 624
Välipohjat	1143	529... 1611
Yläpohjat	204	51... 358
Yhteensä	2635	1155... 3621

Seuraavaan taulukkoon on koottu rakennuksen runkorakenteiden massat materiaaleittain jaoteltuna.

*Taulukko 36, runkorakenteet, rakenneosien materiaalimäärät perustapauksessa ja materiaalimäärien vaihteluväli kevyimmän ja raskaimman runkoratkaisun välillä*

Materiaali	Perustapaus (tn)	Vaihteluväli min...max (tn)
Betoni, laatta	0	268... 219
Betoni, ontelolaatta 200mm	72	0... 454
Betoni, ontelolaatta 250mm	34	0... 0
Betoni, ontelolaatta 265mm	143	0... 0
Betoni, ontelolaatta 300mm	21	0... 21
Betoni, ontelolaatta 370mm	772	0... 0
Betoni, sisäkuori	530	122... 617
Betoni, ulkokuori	95	56... 392
Betoni, väliseinäelementti	624	120... 624
Bitumi	6	6... 6
CLT	0	11... 0
EPS	4	2... 24
Hiekka, sora	30	34... 30
Kevytsora	37	0... 45

Kipsilevy	<b>2</b>	225... 0
Mineraalivilla	<b>12</b>	44... 0
Puu	<b>1</b>	160... 0
Puupalkki	<b>0</b>	47... 0
Puupilari	<b>0</b>	18... 0
Paikallavalettu betoni	<b>137</b>	18... 1189
Rappaus	<b>22</b>	0... 0
Tasoite	<b>90</b>	0... 0
Teräs	<b>3</b>	4... 0
Vaneri	<b>0</b>	20... 0
<b>Yhteensä</b>	<b>2635</b>	1155... 3621

### 2.1.7.1 Rakennusrunkoon liittyvät osat

Tässä kappaleessa esitellään rakennusrunkoon liittyvät osat, joihin katsotaan kuuluvaksi parvekkeet, hissikuilut, hormit, portaat, ei-kantavat väliseinät, ikkunat, ovet ja parvekelasitukset.

Rakennusrunkoon liittyvät osat perustuvat rakennuksen määräluettelon massoihin. Määräluettelon massojen perusteella on tehty arvioita rakennusrunkoon liittyvien osien massan vaihteluvälistä minimi- ja maksimitapauksissa.

Seuraavissa alakappaleissa on esitetty massat ei-kantavien väliseinien, hormien, ikkunoiden, ovien ja lasitusten, kalusteiden, varusteiden ja pintamateriaalien, parvekkeiden, portaiden, sekä muiden materiaalien osalta.

Viimeisessä alakappaleessa on esitetty laskentatulosten yhteenveto.

## Parvekkeet

Tässä tarkasteltavan rakennuksen parvekkeet ovat massiivisia, 240mm vahvuisista betonielementeistä tehtyjä rakenteita. Parvekkeisiin liittyvien vaaka- ja pystyrakenteiden pinta-ala on yhteensä 780m<sup>2</sup> ja niiden kokonaisuudessa rakennuksessa on 461tn.

Tässä yhteydessä tehtävässä laskennassa tarkastellaan myös laskennallista minimitapausta, jossa oletetaan että parvekkeet voitaisiin toteuttaa maanpäällisin osin myös puurakenteisina. Minimitapauksen laskennassa parvekerakenteista 90% oletetaan maanpäällisiksi ja 10% maanalaisiksi rakenteiksi. Näin ollen 78m<sup>2</sup> parvekerakenteista on betonirakenteista ja 702m<sup>2</sup> puurakenteista.

Puurakenteisten parvekkeiden rakenteena käytetään vaaka- ja pystyrakenteiden osalta CLT-levyä. CLT:n levypaksuudet on valittu vastaamaan betonisten parvekerakenteiden paksuutta.

CLT-levyllä tehdyn toteutuksen kokonaisuudeksi saadaan näillä oletuksilla 131tn, josta 46tn on betonielementti- ja 84tn CLT-rakennetta.

Oheiseen taulukkoon on koottu parvekerakenteiden massan vaihteluvälit ja perustapauksen massa. Perustapaus on merkitty tummennettuna taulukkoon.

Taulukko 37, Parvekerakenteiden massa

Rakennusosa	Määrä (m <sup>2</sup> )	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Massa yht (tn)
Parvekerakenteet	780	<b>593</b> 167...593	<b>461</b> (130...461)
Yhteensä			<b>461</b> 130...461

Seuraavaan taulukkoon on koottu parvekerakenteiden materiaalimenekki. Perustapaus on merkitty tummennettuna taulukkoon.

Taulukko 38, Parvekerakenteiden materiaalimenekki parveketyypeittäin

Materiaali	Massa yht (tn)
Betoni, väliseinä	<b>461</b> (46... 461)
CLT	<b>0</b> (84... 0)
Yhteensä	<b>461</b> (130... 461)

## Hissikuilut

Rakennuksessa on betonielementeistä valmistetut hissikuilut. Hissikuilut on laskettu mukaan rakennuksen väliseinämassoihin.

## Hormit

Rakennuksen hormit ovat betonielementtejä. Betonisten hormien kokonaismassa rakennuksessa on 78tn.

Hormien osalta oletetaan, että ne ovat keskimääräiseltä poikkileikkaukseltaan 600x300mm-kokoisia. Tällä laskentaoletuksella (betonin tiheyden ollessa 2400kg/m<sup>3</sup>) saadaan hormielementtien metrimääräksi rakennuksessa 180jm.

Hormien osalta oletetaan, että ne voidaan toteuttaa myös puurakenteena. Laskennan puurakenteena käytetään yksinkertaista rakennetta, jossa jokaisessa nurkassa on puinen (45\*98mm) tolppa, jokaisessa pinnassa kaksinkertainen palokipsilevytys, ja sisällä täyteenä mineraalivillaa.

Näillä laskentaoletuksilla puurakenteisten hormien kokonaismassaksi rakennuksessa saadaan 9tn.

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennuksen hormirakenteiden massa vaihteluväleinen. Perustapaus on merkitty tummennetulla taulukkoon.

*Taulukko 39, Hormirakenteiden massa*

Rakennusosa	Määrä (jm)	Massa (kg/jm)	Massa yht (tn)
Hormirakenteet	180	<b>432</b> 50...432	<b>78</b> (9...78)
Yhteensä			<b>78</b> (9...78)

Seuraavaan taulukkoon on koottu hormirakenteiden materiaalimenekki. Perustapaus on merkitty tummennettuna taulukkoon.

*Taulukko 40, Hormien materiaalimenekki hormityypeittäin*

Materiaali	Massa yht (tn)
Betoni, väliseinä	<b>78</b> (0... 78)
Puu	<b>0</b> (2... 0)
Kipsilevy	<b>0</b> (6... 0)
Mineraalivilla	<b>0</b> (1... 0)
Yhteensä	<b>78</b> (9... 78)

## Portaat

Rakennuksen porrassyöksyt ovat betonielementtejä ja niiden kokonaismassa on 6tn. Porrastanteet on huomioitu laskennassa välipohjien laskennan yhteydessä (kokonaispinta-ala on rakennuksessa noin 100m<sup>2</sup>).

Puuportaiden massa arvioidaan kertomalla betonisten porrarakenteiden massa puun ja betonin tiheyksien suhteella (450/2400). Näillä laskentaoletuksilla puisten portaiden kokonaismassaksi rakennuksessa saadaan noin 1tn.

Oheiseen taulukoon on koottu rakennuksen porrarakenteiden massa vaihteluväleineen. Luvut eivät sisällä porrastanteiden massaa. Perustapaus on merkitty tummennettuna taulukkoon.

*Taulukko 41, Rakennuksen porrarakenteiden massa (ilman porrastanteita)*

Rakennusosa	Massa yht (tn)
Porraselementit	<b>6</b> (1...6)
Yhteensä	<b>6</b> (1...6)

Seuraavaan taulukkoon on koottu porrarakenteiden materiaalimenekki. Perustapaus on merkitty tummennettuna taulukkoon.

Taulukko 42, Rakennuksen porrarakenteiden materiaalimenekki (ilman porrastasanteita)

Materiaali	Massa yht (tn)
Betoni, paikallavalettu	<b>6</b> (0... 6)
Puu	<b>0</b> (1... 0)
Yhteensä	<b>6</b> (1... 6)

## Ei-kantavat väliseinät

Tarkasteltavan rakennuksen kevyet väliseinät ovat pääosin teräsrankarunkoisia kipsilevyseinä (1485m<sup>2</sup>) ja pieneltä osin märkätilojen kalkkihiekkatiiliseinää (102m<sup>2</sup>).

Tarkasteltavaa rakennusta käytetään perustapauksena ja sen perusteella lasketaan minimi- ja maksimitapaukset kantaville väliseinille. Minimitapauksessa kaikki kevyet väliseinät ovat puurunkoisia kipsilevyseinä, maksimitapauksessa tuplalevytetyjä teräsrankaisia seinä.

Oheiseen taulukkoon on koottu ei-kantavien seinien massa vaihteluväleineen.

Taulukko 43, Ei-kantavien väliseinien massa

Rakennusosa	Määrä (m <sup>2</sup> )	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	Massa yht (tn)
Ei-kantavat väliseinät	1587	<b>30</b> 25...48	<b>48</b> (39...77)

Seuraavaan taulukkoon on koottu ei-kantavien seinien materiaalimenekki vaihteluväleineen.

Taulukko 44, Ei-kantavien väliseinien materiaalimenekki

Materiaali	Massa (tn)
Teräs	<b>2</b> (0... 3)
Kipsilevy	<b>27</b> (31... 55)
Tasoite	<b>3</b> (2... 3)
Kalkkihiekkatiili	<b>16</b> (0... 16)
Puu	<b>0</b> (6... 0)
Yhteensä	<b>48</b> (39... 77)

Tulosten perusteella rakennuksen kantavien väliseinien neliömassa on 25... 48 kg/m<sup>2</sup>, kokonaismassan ollessa 39...77 tonnia.

## Ikkunat, ovet ja lasitukset

Tarkasteltavan rakennuksen ikkunat ja ulko-ovet ovat pääosin puu-alumiini-rakenteisia. Tässä tehtävissä tarkasteluissa nämä käsitellään ilman puuosia, rakennuksen tietomalliin perustuvien lasi- ja alumiinimäärien avulla. Myös ulko-ovet ja parvekelasitukset koostuvat pääasiassa lasista ja alumiinista.

Tässä laskennassa ikkunoiden, ovien ja lasitusten materiaalimäärät on koottu tietomallin materiaaliluettelosta. Rakennuksen ikkunoiden, parvekelasien ja ovien kokonaismassa on 30tn. Massasta 16tn on lasia, 14tn alumiiniprofiilia.

Ikkunoiden, parvekelasien ja ovien kokonaismassa on 30tn. Ikkunoiden, ovien ja lasien osalta arvioidaan, että niiden määrä voi vaihdella +-25% minimi- ja maksimitapauksen välillä.

Oheiseen taulukkoon on koottu ikkunoiden, ovien ja lasitusten materiaalimenekki.

*Taulukko 45, Ikkunoiden, ovien ja lasitusten kokonaismassa*

Rakennusosa	Massa yht (tn)
Ikkunat, ovet ja lasitukset	<b>30</b> 23... 38

*Taulukko 46, Ikkunoiden, ovien ja lasitusten materiaalimenekki*

Materiaali	Massa yht (tn)
	<b>16</b>
Lasi	12... 20
Alumiini	11... 18
Yhteensä	<b>30</b> 23... 38

## Kalusteet, varusteet, pintarakenteet

Tässä yhteydessä esitetään rakennuksen kalusteiden, varusteiden ja pintarakenteiden määrä. Myös ikkunat käsitellään tässä yhteydessä. Laskenta perustuu tarkasteltavan kohteen todellisiin tietoihin. Laskennassa tehdään lisäksi oletus, että määrät voivat todellisuudessa vaihdella tässä esitetyistä luvuista +-25%.

Seuraavissa kahdessa taulukossa on esitetty rakennuksen kalusteiden, varusteiden, pintarakenteiden, ikkunoiden ja ovien massa.

*Taulukko 47, Rakennuksen kalusteiden, varusteiden ja pintarakenteiden massat*

Rakennusosa	Massa yht (tn)
	<b>24</b>
Kiintokalusteet	18... 30
Eristeet, laastit, laatat	<b>20</b>

	15... 25
	<b>19</b>
Saunan pintarakenteet	14... 24
	<b>25</b>
Seinä- ja lattiapinnat	19... 32
	<b>6</b>
Keittiövarusteet	5... 8
Vesikalusteet ja märkätilojen varusteet	<b>5</b> 4... 6
	<b>99</b>
Yhteensä	75... 125

Taulukko 48, Rakennuksen kalusteiden, varusteiden ja pintarakenteiden materiaalimenekit

Materiaali	Massa (tn)
	<b>24</b>
Lastulevy	18... 30
	<b>17</b>
Laatta	13... 21
	<b>1</b>
Laasti	1... 1
	<b>2</b>
Kosteuseriste	2... 3
	<b>18</b>
Puu	14... 23
	<b>1</b>
Mineraalivilla	1... 1
	<b>4</b>
Maali	3... 5
	<b>14</b>
Parketti	10... 18
	<b>7</b>
Muovimatto	5... 9
	<b>5</b>
Teräs	4... 6
	<b>3</b>
Lasi	2... 4
	<b>2</b>
Posliini	1... 3
	<b>1</b>
Kivi	1... 1
	<b>99</b>
Yhteensä	75... 125

### Kiintokalusteet

Kiintokalusteet koostuvat esimerkiksi makuuhuoneiden ja eteisten vaatekaapeista, sekä keittiöiden kaappi- ja tasorakenteista. Kiintokalusteiden kokonaismäärä on määritetty rakennuksen määräluettelon perustella. Kiintokalusteiden määrä on 24tn ja niiden pääasiallinen materiaali on lastulevy.

### Eristeet, laastit, laatat

Eristeitä, laasteja ja laattoja käytetään rakennuksessa asuntojen märkätilojen lattioissa ja seinissä. Myös keittiöissä käytetään seinälaattoja vesipisteiden läheisyydessä. Eristeiden, laastien ja laattojen kokonaismäärä rakennuksessa on 20tn, josta laattoja (keraaminen) on noin 17tn, kosteuseristettä 2tn ja laastia 1tn.

### Saunan pintarakenteet

Saunan pintarakenteet tarkoittavat saunan puuosia, kuten lauteita ja seinäpaneeleja. Pintarakenteisiin on laskettu myös saunan mineraalivillainen lämmöneriste. Saunan pintarakenteiden kokonaismassa rakennuksessa on 19tn, josta 18tn on puuta ja 1tn mineraalivillaa.

### Seinä- ja lattiapinnat

Seinä- ja lattiapinnoilla tarkoitetaan rakennuksen yleisten tilojen ja asuntojen seinien ja lattioiden pintakäsittelyä. Seinien osalta pintakäsittelyä on sekä julkisivun, että sisäseinien osalta maali. Osa lattiapinnoista on maalattuja (yleisiä tiloja) ja osa parkettipintaisia (asunnot). Asuntojen märkätilojen laatoitukset on huomioitu toisaalla, kohdassa eristeet, laastit ja laatat.

Seinä- ja lattiapintojen massa on 25tn, josta parkettia on 14tn, muovimattoa 7tn ja maalia 4tn.

### Keittiö

Keittiön varusteisiin kuuluu tässä tarkastelussa mm. kylmälaitteet, liedet, liesituulettimet ja uunit. Keittiövarusteiden kokonaismassa rakennuksessa on 6tn. Keittiövarusteet oletetaan kokonaisuudessaan teräkseksi.

### Vesikalusteet, wc-tilojen, kylpyhuoneiden ja saunojen varusteet

Vesikalusteisiin, wc-tilojen, kylpyhuoneiden ja saunojen varusteisiin kuuluvat mm. hanat, pesualtaat, wc-istuimet, pyyhekoukut, saunakiukaat ja kiuaskivet. Tämän kohdan varusteet oletetaan kiuaskiviä (0,6tn) lukuun ottamatta teräkseksi. Varusteiden kokonaismassa rakennuksessa on 5tn, josta terästä on 4tn ja kiveä 1tn.

## Rakenteisiin kiinnittämättömät materiaalmäärät

Laskennan perustana oleva rakennus on mallinnettu tietomallina ja laskennan lähtötietona on ollut käytettävissä mallista saatu materiaaliluettelo. Suurin osa (noin 99%) alkuperäisen materiaaliluettelon massoista on kiinnitetty tässä laskennassa edellisissä kappaleissa esitettyihin rakenteisiin.

Jäljelle jäävät materiaalit liittyvät esimerkiksi rakennuksen sisääntulokatosten betonirakenteisiin, väestönsuojan pakotunnelin ja varusteisiin, sekä rakennuksen kaiteisiin ja pellityksiin. Nämä, rakenteisiin kiinnittämättömät materiaalit, on mallinnettu kolmen suurimman massaosuuden omaavan materiaalin avulla.

Laskennassa arvioidaan lisäksi, että näiden muiden materiaalien massaosuus saattaa vaihdella +/-25%.

Rakennuksen rakennusosiin kiinnittämättömät massat ovat seuraavat:

Materiaali	Määrä (m <sup>3</sup> )	Massa (kg/m <sup>3</sup> )	Massa yht (tn)
Betoni, paikallavalettu	35	2400	<b>19</b> 14... 24
Teräs	2	7850	<b>13</b> 10... 16



Puu	7	450	3 2... 4
Yhteensä			26 35... 44

## Rakennuksen kylmälaitteiden kylmäaineet

Edellä määritettiin rakennuksen kylmälaitteiden materiaalimenekki. Tarkastelussa ei otettu huomioon kylmäaineita. Tässä kappaleessa tarkastellaan lyhyesti kylmälaitteiden kylmäaineiden merkityksellisyyttä.

CFC-yhdisteiden kieltämisen jälkeen HFC-134a valittiin niiden korvaajaksi kylmälaitteiden kylmäaineena useimmissa maissa. Euroopassa ja Japanissa siirryttiin kuitenkin käyttämään R-600a:ta (isobutaani). Merkittävin ero HFC-134a:n ja R-600a:n välillä on niiden kasvihuonekaasupotentiaali, joka on HFC-134a:lle 1300 ja R-600a:lle 3.<sup>12</sup>

Tässä tehtävissä tarkasteluissa kylmäaineeksi valitaan isobutaani. Kylmälaitteissa on tyypillisesti vain pieni määrä kylmäainetta (0,05...0,25kg). Isobutaani on myös kasvihuonekaasupotentiaaliltaan suhteellisen pieni (GWP 3), joten kylmäaineen ympäristövaikutus kylmälaitetta kohti on hyvin vähäinen, noin 0,15...0,75kg/laitte. Rakennustasoinen (45 kylmälaitetta) ympäristövaikutus kylmäaineista on näin ollen noin 7...34kg.

Kun huomioidaan lisäksi kylmälaitteiden elinkaarenaikainen uusiminen (10 vuoden välein) saadaan kylmäaineiden elinkaarenaikaiseksi ympäristövaikutukseksi rakennustasolla 50 vuoden elinkaarella 35...170kg ja 100 vuoden elinkaarella 70...340kg. Laskennassa on oletettu (epärealistisesti) että koko kylmäainemäärä vapautuu ilmakehään kylmälaitteen elinkaaren päässä. Luvuista voidaan päätellä, ettei kylmäaineiden rooli rakennustasoisissa CO<sub>2</sub>-ekv-päästöissä ole merkittävä.

Tilanne voi olla kuitenkin toinen EU:n ulkopuolisissa maissa, jossa yleisimmin käytetty kylmäaine on HFC-134a, jonka GWP-arvo on 1300. Jos tarkasteltavan rakennuksen kylmälaitteiden kylmäaine olisikin HFC-134a, olisi kylmälaitteiden kasvihuonekaasuvaikutus 50 vuoden elinkaarella jopa 15...70tn ja 100 vuoden elinkaarella 30...150tn, olettaen ettei kylmäaineita otettaisi talteen.

Kylmälaitteiden kylmäaineiden merkitys rakennuksen kasvihuonekaasupäästöjen kannalta on hyvin pieni (Suomessa ja EU:ssa), eikä niitä huomioida laskennassa.

## Rakennusrunkoon liittyvien osien massa, yhteenveto

Perustapauksessa rakennusrunkoon liittyvien massa on yhteensä noin 757tn. Tässä kappaleessa tehtyjen laskelmien perusteella rakennusrunkoon liittyvien osien massa voi vaihdella välillä 303...910tn.

<sup>12</sup> U.S. Environmental Protection Agency, "Transitioning to low gwp alternatives in domestic refrigeration" (2010)

## Rakennusrunkoon liittyvien osien massa

Seuraavassa taulukossa on esitetty rakennusrunkoon liittyvien osien materiaalimenekki. Perustapaus on esitetty taulukossa tummennettuina arvoina, vaihteluväli suluissa.

Taulukko 49, rakennusrunkoon liittyvien osien massa

Rakennusosa	Perustapaus (tn)	Vaihteluväli min...max (tn)
Ei-kantavat väliseinät	<b>48</b>	39... 77
Hornit	<b>78</b>	9... 78
Ikkunat, ovet ja lasitukset	<b>30</b>	23... 38
Kalusteet, varusteet, pintamateriaalit	<b>99</b>	75... 125
Kiinnittämättömät materiaalit	<b>35</b>	26... 44
Parvekkeet	<b>461</b>	130... 461
Portaat	<b>6</b>	1... 6
Yhteensä	<b>757</b>	303... 829

Taulukko 50, rakennusrunkoon liittyvien osien materiaalimenekki

Materiaali	Perustapaus (tn)	Vaihteluväli min...max (tn)
Alumiini	<b>14</b>	11... 18
Betoni	<b>539</b>	46... 539
CLT	<b>0</b>	84... 0
Kalkkihiekkatiili	<b>16</b>	0... 16
Kipsilevy	<b>27</b>	37... 55
Kosteuseriste	<b>2</b>	2... 3
Laasti	<b>1</b>	1... 1
Laatta, keraaminen	<b>19</b>	14... 24
Lasi	<b>19</b>	14... 24
Lastulevy	<b>24</b>	18... 30
Maali	<b>4</b>	3... 5
Mineraalivilla	<b>1</b>	2... 1
Muovimatto	<b>7</b>	5... 9
Murske, kivet	<b>1</b>	1... 1
Parketti	<b>14</b>	10... 18
Puu	<b>21</b>	25... 27
Betoni, pv	<b>25</b>	14... 30
Tasoite	<b>3</b>	2... 3
Teräs	<b>20</b>	14... 25
Yhteensä	<b>757</b>	303... 829

### 2.1.8 Talotekniset järjestelmät

Tässä kappaleessa esitetään suuruusluokka-arvioita tarkasteltavan kohteen taloteknisistä järjestelmistä. Tarkoituksena ei ole mitoittaa järjestelmiä, vaan saada tehdä yleisluontoinen arvio taloteknisten järjestelmien massoista, ja

materiaalitarpeesta, jotta niiden merkitystä rakennushankkeen kokonaisuuden kannalta voidaan arvioida.

Taloteknisten järjestelmien kokonaissan vaihteluväliksi on tässä kappaleessa tehtyjen laskelmien perusteella arvioitu 14...29tn. Taloteknisten järjestelmien perustapauksen oletetaan sijoittuvan vaihteluvälin puoliväliin. Myös materiaalimenekki perustapauksessa oletetaan tässä esitettyjen materiaalimenekien vaihteluvälin keskiarvoksi.

Tämän kappaleen alakappaleissa esitetään tehdyt laskentaoletukset sähköasennusten, vesi- ja viemäriasennusten, hissin, sprinklerijärjestelmän, lämmitysjärjestelmän ja ilmanvaihtojärjestelmän osalta.

Viimeisessä alakappaleessa on esitetty yhteenveto taloteknisten järjestelmien massalaskennasta.

## Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmän kokonaismassaksi arvioidaan 3500...7300kg, josta teräksen osuus on 800...5800kg, mineraalivillan 900...1500kg ja PP-muovin 0...1800kg.

Oheiseen taulukkoon on koottu materiaolimäärä keveimmälle ja raskaimmalle vaihtoehdolle. Tarkemmat laskelmat ja tehdyt laskentaoletukset on esitetty myöhemmin tässä kappaleessa.

*Taulukko 51, ilmanvaihtojärjestelmän kokonaismassa ja materiaalimenekit. Luvut sisältävät rakennuksen ilmastointikoneiden, kanavien ja päätelaitteiden massat ja materiaalit.*

	PP- muovi (kg)	Teräs (kg)	Mineraalivilla (kg)	Yhteensä (kg)
Tapaus				
Kevein tapaus	1800	800	900	3500
Raskain tapaus	-	5800	1500	7300

Tässä työssä tarkasteltavan kohteen ilmanvaihtojärjestelmän laskenta perustuu huoneistokohtaiseen ilmanvaihtojärjestelmään, jossa jokaisessa asunnossa on oma, lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtokone.

Ilmanvaihtojärjestelmän massojen suuruusluokka-arviot perustuvat todellisen 21-asuntoisen kerrostalokohteen IV-määräluettelon tietoihin<sup>13</sup>. Luettelon määrätiedot on skaalattu vastaamaan 28-asuntoista kerrostaloa. Lisäksi määräluettelon mukaisille nimikkeille on määritetty massat ja päämateriaalit.

<sup>13</sup> Määräluettelo esitetetty opinnäytetyössä: ”Ilmanvaihdon urakkalaskentaohjelman teko, vertailu ja kehittäminen.” Sutinen, Mika, 2011. Opinnäytetyö, Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Lähtötietojen ja täydentävien laskelmien perusteella ilmanvaihtojärjestelmän kokonaismassa on noin 5800kg, josta terästä on 4600kg ja kanavien lämmöneristeenä käytettävää mineraalivillaa 1200kg.

Ilmanvaihdon putkitukset voidaan tehdä myös muovikanavilla. Tässä tarkastelussa tehdään yksinkertaistettu laskenta muovisten kanavien osalta, jossa teräskanavat korvataan saman halkaisijan omaavilla muovikanavilla. Muut järjestelmän osat (IV-koneet, sulkupellit, venttiilit) pysyvät muuttumattomina. Muovikanavilla toteutetun järjestelmän kokonaismassa on näillä oletuksilla 4450kg, josta terästä on 2400kg, polypropeenaa 1050kg ja mineraalivillaa 1000kg.

Laskennan epävarmuustekijöistä johtuen massojen oletetaan voivan vaihdella +/- 25% tässä lasketuista määristä.

Näillä oletuksilla ilmanvaihtojärjestelmän kokonaismassaksi saadaan 3350...7300kg, josta teräksen määrä on 800...5800kg ja mineraalivillan 900...1500kg.

## Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmän kokonaismassan arvioidaan vaihtelevan välillä 3350...6550kg. Keveimmässä vaihtoehdossa lämmitysverkoston putkitukset on tehty suojaputkiasenteisesta PE-putkesta ja raskaimmassa teräsputkesta. Molemmat laskentatapaukset sisältävät myös teräksisten pattereiden ja putkikannakkeiden massan.

Oheiseen taulukkoon on koottu materiaalmäärä keveimmälle ja raskaimmalle vaihtoehdolle. Tarkemmat laskelmat ja tehdyt laskentaoletukset on esitetty myöhemmin tässä kappaleessa.

*Taulukko 52, lämmitysjärjestelmän kokonaismassa ja materiaalimenekit. Luvut sisältävät rakennuksen pattereiden, patteriverkoston ja lämmityskeskuslaitteiston massat.*

Tapaus	PE-muovi (kg)	Teräs (kg)	Yhteensä (kg)
Kevein tapaus	250	3300	3550
Raskain tapaus	-	6550	6550

### **Patteriverkoston massa**

Kohteen lämmitysjärjestelmäksi oletetaan laskentaa varten kaukolämpö.

Rakennuksen lämmityksen osalta oletetaan, että jokaisessa rakennuksen kerroksessa on kullakin seinällä on keskimäärin 5kpl lämmityspattereita. Pattereiden lukumäärä kerrosta kohden on siis 20kpl. Patterityypiksi oletetaan teräslevyradiaattori<sup>14</sup>, jonka koko on 1200x500mm. Lisäksi oletetaan että jokainen

<sup>14</sup> Tekninen esite, Purmo COMPACT C21 1200x500mm, saatavissa osoitteesta [http://www.purmo.com/docs/PURMO\\_Technicalbrochure\\_FI\\_0711\\_lowres.pdf](http://www.purmo.com/docs/PURMO_Technicalbrochure_FI_0711_lowres.pdf)

patteri tarvitsee nousulinjoihin kytkemistä varten yhteensä 5m putkea (sis. meno- ja paluuveden putket). Kytkentäputkien sisämitaksi oletetaan 13mm.

Nousulinjojen osalta oletetaan, että yksi linja pystyy palvelemaan keskimäärin kahta patteria kerrosta kohden. Näin kerroksittaista 20 lämmityspatteria kohden tarvitaan 10 erillistä nousulinjaa. Meno- ja paluuvettä varten tarvitaan oma putkensa, joten pystysuuntaisia patterilämmityksen linjoja on rakennuksessa yhteensä 20kpl. Kunkin linjan pituudeksi oletetaan rakennuksen korkeus (21m). Nousulinjojen putkitusten halkaisijaksi oletetaan 32mm. Pohjakerrokseen oletetaan kaukolämpökeskus, johon kaikki meno- ja paluulinjat kytketään. Nousulinjojen vaakasuuntaiseksi siirtymäksi kellarikerroksessa oletetaan puolet rakennuksen sivumitasta. Näillä oletuksilla jokaisen linjan pituudeksi saadaan 31m ja kappalemääräksi 20. Putken halkaisijaksi oletetaan 32mm.

Tehdyillä laskentaoletuksilla lämmitysjärjestelmälle saadaan oheisen taulukon mukaiset massat. Patteriliittimien ja -venttiilien massa oletetaan laskennan kannalta vähäiseksi. Laskelmat sisältävät myös yleisten tilojen lämmitysverkoston.

*Taulukko 53, Lämmitysverkoston patterien ja patteriputkien massa ja materiaali käytettäessä teräksisiä patteriputkia.*

	Määrä	Yksikkö	Massa	Materiaali
Patterit	140	kpl	3948	teräs
Kytkentäputket	700	m	189	teräs
Nousuputket	620	m	682	teräs
Yhteensä			4819	kg

Patterien ja patteriputkien kokonaismassaksi saadaan tehdyillä laskentaoletuksilla 4820 kg.

Muoviputkiasenteisen järjestelmän kokonaismassaa arvioidaan yksinkertaisella laskelmalla, jossa teräksiset putket muutetaan saman halkaisijan omaaviksi, suojaputkella varustetuiksi PE-putkiksi. Muoviputkijärjestelmän massaksi saadaan tällöin 4250kg, josta 3950kg on terästä (patterien osuus).

*Taulukko 54, Lämmitysverkoston patterien ja patteriputkitusten massa ja materiaali käytettäessä muovisia patteriputkia.*

	Määrä	Yksikkö	Massa	Materiaali
Patterit	140	kpl	3948	teräs
Kytkentäputket	700	m	119	PE
Nousuputket	620	m	186	PE
Yhteensä			4253	kg

Asennusten kannakoinnin osalta oletetaan, että yksittäisen kannakkeen massa on 100g, ja kannakkeita tarvitaan 2m välein. Näillä oletuksilla patteriasennusten kannakoinnin kokonaismassaksi saadaan 66kg.

Kokonaisuudessaan rakennuksen patterien, putkitusten ja kannakointien massa vaihtelee siis välillä 4300...4900kg. Laskennan epävarmuustekijöistä johtuen oletetaan lisäksi, että todelliset massat voivat poiketa +25% tässä esitetyistä arvoista. Näin rakennuksen lämmitysasennusten massan vaihteluväliksi saadaan 3200...6200kg, josta terästä on 3000...4900kg ja PE-muovia 0...200kg.

### Lämmityskeskuksen massa

Lämmityskeskusta ei ole mitoitettu rakennuksen todellista tehotarvetta varten, vaan keskuksen massa ja materiaalit on arvioitu kahden valmistajan<sup>15,16</sup> esitteiden perusteella.

Lämmönjakokeskuksen massaksi arvioidaan tuotteesta ja tehontarpeesta riippuen 100...300kg ja pääasialliseksi materiaaliksi teräs. Lisäksi lämmitysjärjestelmän jokaiseen lämmityslinjaan (5kpl) oletetaan pumppu, massaltaan 30kg/kg.

Lämmönjakokeskuksen ja lämmitysjärjestelmän pumppujen kokonaismassaksi arvioidaan siis yhteensä 250...450 kg.

## Vesi- ja viemäri-laitteisto

Rakennuksen vesi- ja viemäri-laitteiston kokonaismassan arvioidaan vaihtelevan välillä 1250...3950kg. Kevyimmässä vaihtoehdossa vesijohtot ovat PE-muovia ja viemärit PP-muovia. Raskaimmassa vaihtoehdossa vesijohtojen materiaalina on kupari, ja viemärien materiaalina teräs. Molemmat vaihtoehdot sisältävät myös teräskannakkeiden massan.

Oheiseen taulukkoon on koottu materiaalimäärä kevyemmälle ja raskaimmalle vaihtoehdolle. Tarkemmat laskelmat ja tehdyt laskentaoletukset on esitetty myöhemmin tässä kappaleessa.

*Taulukko 55, Vesi- ja viemäri-laitteiston massa ja materiaalimenekit*

Tapaus	PE-muovi (kg)	PP-muovi (kg)	Teräs (kg)	Kupari (kg)	Yhteensä (kg)
Kevein tapaus	600	400	250	-	1250
Raskain tapaus	-	-	2350	1600	3950

### Vesilaitteisto

Vesilaitteiston osalta ei ole tehty tarkkaa mitoitusta, vaan sen laskenta perustuu rakennuksen pohjakuviin, tietoihin rakennuksen vesikalusteista, sekä vallitseviin rakentamismääräyksiin ja ohjeisiin<sup>17</sup>. Seuraavassa on esitetty vesilaitteiston laskennassa tehdyt laskentaoletukset.

### Kiinteistön yhteiset vesijohtoon osat

<sup>15</sup> Högfors: GST Lämmönjakokeskus, saatavilla: [http://www.hogfors.com/gst/HogforsGST\\_GST\\_esite.pdf](http://www.hogfors.com/gst/HogforsGST_GST_esite.pdf)

<sup>16</sup> WTT-Group Oy: WTT Onda Lämmönjakokeskus, saatavilla:

<http://www.wttgroup.fi/materiaali/tuotteet/Lammonjakokeskukset.pdf>

<sup>17</sup> SRMK D1

Vesijohdon jakojohdojen osalta oletetaan, että rakennuksen jokaiseen asuntoon tulee kaksi jakojohdotta: yksi kylmälle ja yksi lämpimälle vedelle. Jakojohdojen sisähalkaisijaksi oletetaan 20mm. Jakojohdot on kytketty kylmän ja lämpimän veden jakotukkeihin, jotka sijaitsevat asuntojen pesuhuoneessa. Rakennuksessa on 7-kerrosta, joten keskimääräisen jakojohdon mitaksi on oletettu neljän kerroksen huonekorkeutta vastaava mitta, 12 metriä. Lisäksi oletetaan että jakojohdot kulkevat kellarissa puolta rakennuksen sivumittaa vastaavan matkan (10m) lämpökeskukselle. Jakojohdojen keskimääräinen mitta on siis 22 metriä.

Kytkenät jakotukeilta vesikalusteille tehdään suojaputkiin asennetuilla muoviputkilla. Kaikkien kytkentäjohtojen sisähalkaisijaksi oletetaan 13mm. Asuntojen keittiöissä on kaksi vesipistettä: astianpesuallas ja astianpesukone. Näiden osalta oletetaan että jakotukilta tulee yksi kylmän ja yksi lämpimän veden kytkentäjohto astianpesualtaalle, sekä oma kylmävesijohto astianpesukoneelle. Kytkentäjohtojen mitaksi oletetaan 10m ja johtomateriaaliksi muovi. Erillisten WC-tilojen osalta oletetaan, että näiden tilojen vesipisteiden kytkentäjohtot tulevat pesuhuoneessa olevalta jakotukilta 7,5m pituisella kytkentäjohdolla. WC-istuimelle tulee yksi kylmävesijohto, ja pesualtaalle yksi kylmä- ja yksi lämminvesijohto.

Pesuhuoneen osalta oletetaan, että:

- Kaikkien yksittäisten kytkentäjohtojen pituus on 5 metriä
- Pesualtaalle tulee yksi kylmä- ja yksi lämminvesijohto jakotukilta
- Pesukoneelle tulee yksi kylmävesijohto jakotukilta
- WC-istuimelle tulee yksi kylmävesijohto jakotukilta
- Suihkulle menee yksi kylmä- ja yksi lämminvesijohto jakotukilta

Kaikkien liitososien, kulmaosien ja vastaavien massojen oletetaan sisältyvän viemäriputkien pituuksiin, eikä niitä huomioida erikseen laskennassa. Suojaputken metrimassaksi on oletettu puolet muovisen vesijohdon metrimassasta. Laskennassa ei ole huomioitu mahdollisia yleistilojen viemärointejä. Niiden määrä arvioidaan kuitenkin laskennan kannalta vähäiseksi.

Koska vesijohtojen osalta ei tehty tarkkaa mitoitus, arvioidaan todellisten kokonaismäärien voivan vaihdella +-25% lasketuista luvuista. Näin ollen vesilaitteiston kokonaismassaksi saadaan 600...1000kg rakennusta kohden, kun käytetään PE-putkia.

Kuparista tehtyjen vesijohtojen massa arvioidaan yksinkertaisella laskelmalla, jossa PE-putket korvataan vastaavan kokoisella kupariputkella. Kupariputkien kokonaismassaksi saadaan näin 900....1600kg.

Lisäksi arvioidaan että putkien asennusta varten tarvitaan rst-kannakkeita noin 2 putkimetrin välein. Kun yhden kannakkeen massaksi kiinnitystarvikkeineen oletetaan 100g, saadaan rakennuksen kannaketarpeeksi 150kg. Kylmälle ja lämpimälle käyttövedelle oletetaan lisäksi pumpuiksi 30kg/kpl painavat, ruostumattomasta teräksestä valmistetut pumput. Yhteensä teräsosien painoksi tulee siis 210kg.

Vesilaitteiston massa vaihtelee välillä 810...1810kg. Kevyin vaihtoehto on laskettu PE-putkilla ja raskain kupariputkilla. Sekä kevyin että raskain vaihtoehto sisältävät teräksisiä kannaketarvikkeita 150kg ja pumput, 60kg.

### **Viemärlaitteisto**

Viemäreiden osalta ei ole tehty tarkkaa mitoitusta. Tämän osion laadinnassa on kuitenkin hyödynnetty rakennuksen pohjakuvia, tietoja rakennuksen vesikalusteista ja vallitsevia rakentamismääräyksiä ja ohjeita<sup>18</sup>. Seuraavassa on esitetty viemäreiden määrälaskennassa tehdyt laskentaoletukset.

#### **Kiinteistön yhteiset viemärit**

Rakennuksen vaaka- ja pystyviemäreiden osalta on oletettu, että jokaista asuntolinjaa (toisiinsa nähden päällekkäiset asunnot) palvelee yksi pystyviemäri. Pystyviemärit on ajateltu kulkeviksi kellarikerroksen lattiapinnan alapinnasta yläpohjan yläpintaan. Pystyviemärien halkaisija on DN 110. Pystyviemärit muuttuvat rakennuksen kellarikerroksessa vaakaviemäreiksi, joista kunkin mitta on puolet rakennuksen sivumitasta (10m). Nämä viemärit yhtyvät 20m pitkään pohjaviemäriin (DN 200), joka johtaa viemärijätteet pois rakennuksesta.

#### **Asuntojen keittiöt**

Jokaisen asunnon keittiössä on astianpesuallas ja astianpesukone. Astianpesukone viemäroidään pesualtaan vesilukkoon. Astianpesualtaan viemärointi tapahtuu 5m pitkällä (DN 50) kytkentäviemärillä hormissa sijaitsevaan pystyviemäriin.

#### **Asuntojen WC :t ja pesuhuoneet**

Tarkasteltavassa rakennuksessa on kaksi erilaista märkätilatyyppeä: WC ja Pesuhuone. WC:ssä on kaksi vesipistettä: pesuallas ja WC-istuin. Pesuhuoneissa on näiden lisäksi vielä yksi tai kaksi suihkua.

Erillisten WC-tilojen osalta oletetaan, että näiden viemärointi tapahtuu samaan kytkentäviemäriin pesuhuoneen kanssa. Näiden tilojen WC-istuin on viemäroity suoraan kytkentäviemäriin (DN 110), joka liittyy 2m pituisena pesuhuoneen kytkentäviemäriin. Pesuallas on viemäroity 2m pituisella (DN 50) viemäriputkella kytkentäviemäriin.

Pesuhuoneen ja saunan osalta oletetaan, että:

- Löylyhuoneen lattiassa on lattiakaivo, joka on kytketty pesuhuoneen lattiakaivoon 2m pituisella viemärillä (DN50)
- Pesuallas on kytketty lattiakaivoon 2m viemärillä (DN50)
- Pesukone on kytketty pesuhuoneen lattiakaivoon 2m pituisella viemärillä (DN50)
- WC-istuin liittyy suoraan hormille menevään, 2m pituiseen kytkentäviemäriin (DN110)
- Pesuhuoneen lattiakaivo liittyy 2m pituisella (DN 75) viemärillä pesuhuoneen kytkentäviemäriin

Kaikkien liitososien, kulmaosien ja vastaavien massojen oletetaan sisältyvän viemäriputkien pituuksiin, eikä niitä huomioida erikseen laskennassa.

Laskennassa ei ole huomioitu mahdollisia yleistilojen viemärointeja. Niiden määrä arvioidaan kuitenkin laskennan kannalta vähäiseksi.

Koska viemärien osalta ei tehty tarkkaa mitoitusta, arvioidaan todellisten kokonaismäärien voivan vaihdella +-25% lasketuista luvuista. Näin ollen viemärlaitteiston kokonaismassaksi saadaan 400...700kg rakennusta kohden, kun käytetään PP-putkia.

Teräksestä tai valuraudasta tehtyjen viemärointien massa arvioidaan yksinkertaisella laskelmalla, jossa PP-putket korvataan vastaavan kokoisella

---

<sup>18</sup> SRMK D1



teräsputkella. Teräksisten / valurautaisten viemäreiden kokonaismassaksi saadaan näin 1200...2100kg.

Lisäksi arvioidaan että putkien asennusta varten tarvitaan rst-kannakkeita noin 2 putkimetrin välein. Kun yhden kannakkeen massaksi kiinnitystarvikkeineen oletetaan 100g, saadaan rakennuksen kannaketarpeeksi noin 50kg.

Viemärlaitteiston massa vaihtelee siis välillä 450...2150kg. Kevyin vaihtoehto on laskettu PP-putkilla ja raskain valurautaputkilla. Sekä kevyin että raskain vaihtoehto sisältävät kannaketarvikkeita 50kg.

## Sprinklerijärjestelmä

Rakennuksen sprinklerijärjestelmän kokonaismassan arvioidaan vaihtelevan välillä 800...3300kg. Kevyimmässä vaihtoehdossa sprinkleriputket ovat suojaputkiasenteista PE-putkea ja raskaimmassa vaihtoehdossa terästä. Molemmat vaihtoehdot sisältävät myös teräskannakkeiden massan.

Oheiseen taulukkoon on koottu materiaalimäärä kevyemmälle ja raskaimmalle vaihtoehdolle. Tarkemmat laskelmat ja tehdyt laskentaoletukset on esitetty myöhemmin tässä kappaleessa.

Tapaus	PE-muovi	Teräs (kg)	Yhteensä (kg)
Kevein tapaus	700	100	800
Raskain tapaus	-	3300	3300

Sprinklerijärjestelmän osalta ei tehdä mitoitusta tämän laskelman yhteydessä, vaan tässä esitetyt ratkaisut ovat arvioita kohteen sprinklerijärjestelmän määristä. Sprinklerijärjestelmä koostuu vesilähteestä, asennusventtiilistä laitteineen, putkistosta ja sprinklereistä. Sprinklerit asennetaan pääasiallisesti kattoon ja ne laukeavat määrättyssä lämpötilassa levittäen sammutusvettä palavalle alueelle ja sen läheisyyteen<sup>19</sup>.

Järjestelmän osalta oletetaan, että rakennuksen kellarikerroksessa on asennusventtiili ja pumppu, johon on liitetty kerrokseen menevä nousujohto. Nousujohdon mitaksi oletetaan rakennuksen korkeus (21m) ja halkaisijaksi 80mm.

Lisäksi jokaiseen kerrokseen oletetaan jakojohto, jonka pituudeksi oletetaan puolet rakennuksen sivumitasta (10m) ja halkaisijaksi 65mm. Jakojohdosta oletetaan edelleen lähteväksi jokaiseen asuntoon haarajohto, jonka mitaksi oletetaan rakennuksen sivumitta (20m) ja halkaisijaksi 50mm. Sprinklerityyppinä on asuinkäyttöön hyväksytyt sprinklerit, joiden kappalemäärä (192kpl) arvioidaan 13m<sup>2</sup>/kpl suojausalalla koko rakennuksen osalta. Suojausala-arvio perustuu CEA:n sprinklerilaitteistoille laatimaan suunnittelu- ja asennusohjeeseen.<sup>20</sup>

<sup>19</sup> CEA 4001:2007-06, Sprinklerilaitteistot, suunnittelu ja asentaminen, CEA, 2007.

<sup>20</sup> CEA 4001:2007-06, Sprinklerilaitteistot, suunnittelu ja asentaminen, CEA, 2007.

Seuraavaan taulukkoon on koottu rakennuksen sprinklerijärjestelmän massa, eriteltynä järjestelmäosittain.

Osa	määrä	yksikkö	massa yht (kg)	materiaali
Pumppu	1	kpl	30	teräs
Nousujohto	21	jm	143	teräs
Kerrostien jakojohdot	70	jm	336	teräs
Asuntojen haarajohdot	520	jm	2028	teräs
Sprinklerien kappalemäärä	192	kpl	96	teräs
Massa yhteensä			2630	kg

Sprinklerijärjestelmän massaksi saadaan siis 2630kg, jonka oletetaan muodostuvan kokonaan teräksestä. Sprinklerijärjestelmä voidaan toteuttaa myös muoviputkiasenteisena. Tämä tapaus mallinnetaan yksinkertaisella laskelmalla, jossa teräsputket muutetaan saman halkaisijan omaaviksi, suojaputkiasenteisiksi PE-putkiksi. Muoviputkijärjestelmän massaksi saadaan 1100kg, josta terästä on 100kg, ja PE-putkea 1000kg.

Oheisten määrien lisäksi oletetaan, että vaakaputket kannakoidaan 2m välein 100g painavilla, teräksisillä kannakeosilla. Kannakeosien massaksi saadaan näillä oletuksilla 30kg.

Laskennan epävarmuustekijöistä johtuen sprinklerijärjestelmän todellisten määrien arvioidaan voivan poiketa +/- 25% tehdystä arviosta. Näin ollen koko järjestelmän massaksi saadaan 900...3300kg, kevyimmän vaihtoehdon ollessa PE-putkeen perustuva järjestelmä ja raskaimman vaihtoehdon ollessa ruostumatonta terästä. Teräksen määrä vaihtelee välillä 100...3300kg ja PE-muovin välillä 0...700kg.

## Sähköasennukset ja kaapeloinnit

Rakennuksen sähköasennusten ja kaapelointien kokonaismassan arvioidaan vaihtelevan välillä 3300...5300 kg.

Oheiseen taulukkoon on koottu materiaalimäärä kevyemmälle ja raskaimmalle vaihtoehdolle. Tarkemmat laskelmat ja tehdyt laskentaoletukset on esitetty myöhemmin tässä kappaleessa.

Tapaus	PVC-muovi (kg)	Teräs (kg)	Kupari (kg)	Yhteensä (kg)
Kevein tapaus	1900	400	1000	3300
Raskain tapaus	3100	600	1600	5300

### Sähköasennukset

Kohteen sähkösuunnittelun määriä arvioidaan kohteen pohjakuvien, markkinointiesitteen ja aiheesta tutkintotyönä tehdyn suunnitteluohjeen<sup>21</sup> avulla. Suunnitteluohjetta on käytetty apuna järjestelmän perusosien, varustelutason ja kaapelityyppien arvioinnissa.

<sup>21</sup> Kerrostalon sähkösuunnitteluohje. Karimäki, Juha, 2005. Tutkintotyö, Tampereen ammattikorkeakoulu.

Asuinhuoneistojen varustelutason osalta tehdään seuraavan taulukon mukaiset oletukset.

Tila	Sähköasennukset
Eteinen	1 pistorasia, 1 yleiskaapelointipiste, 1 kattopistoke, 1 valaistuskytin, 1 ryhmäkeskus
Keittiö	5 pistorasiaa, 2 kattopistoketta, 2 pistorasiallista loisteputkivalaisinta, 2 valaistuskytintä
Olohuone	5 pistorasiaa, 2 antennipistettä, 1 yleiskaapelointipiste, 2 kattopistoketta, 2 valaistuskytintä
Makuuhuone	3 pistorasiaa, 1 antennipiste, 1 yleiskaapelointipiste, 1 kattopistoke, 1 valaistuskytin
WC	1 pistorasia, 1 kattovalaisin, 1 pistorasiallinen loisteputkivalaisin, 1 valaistuskytin
Pesuhuone	1 pistorasia, 1 kattovalaisin, 1 pistorasiallinen loisteputkivalaisin, 1 valaistuskytin
Sauna	1 kiukaan sähköliitäntä, 1 seinävalaisin, 1 valaistuskytin
Vaatekomero	1 pistorasia, 1 kattovalaisin, 1 valaistuskytin
Työhuone	2 pistorasiaa, 1 antennipiste, 1 yleiskaapelointipiste, 1 kattopistoke, 1 valaistuskytin
Parveke/ terassi	1 pistorasia, 1 seinävalaisin, 1 valaistuskytin

Oheiseen taulukkoon on koottu edellisen taulukon, rakennuksen markkinointiesitteen ja pohjakuvan perusteella laskettu, rakennustasoinen sähköasennusten tarvike menekki.

Sähköasennusten tarvikkeet	Määrä yht. (kpl)	Massa yht. (kg)
asunnon ryhmäkeskus	28	540
kiinteistön mittarikeskukset	5	125
pistorasiat	494	98,8
antennipisteet	101	20,2
yleiskaapelointipisteet	101	20,2
kiukaan sähköliitäntä	28	5,2
kattovalaisin	38	19
seinävalaisin	52	26
kattopistoke	179	35,8
pistorasiallinen loisteputkivalaisin	86	86
valaisinkytkimet	269	53,8
Massa yhteensä		1040

Koko rakennuksen sähköasennusten tarvikkeiden massaksi saadaan siis yhteensä 1000kg. Puolet tästä oletetaan muoviksi (PVC) ja puolet teräkseksi.

### Sähköasennusten kaapeloinnit

Kaapeloinnin osalta oletetaan että jokaisen asunnon eteisessä on ryhmäkeskus, johon tulee nousujohto kiinteistön mittarikeskukselta. Ryhmäkeskukselta lähtee asunnon sähkö- ja teleasennusten kaapelivedot. Kaikki asennukset oletetaan tehtäväksi lattiarakenteisiin upotettujen suojaputkiasennusten avulla. Pistorasioille, saunakiukaalle, astianpesukoneelle ja tiskikoneelle menevien

kaapeleiden osalta oletetaan, että jokaiselle pistorasialle vedetään oma kaapeli, joka menee ensin keskukselta alas lattiatasoon (1,5m), sen jälkeen lattiarakenteessa (10m), ja lopulta ylös rasialle (0,5m). Näin kunkin kaapelin mitaksi voidaan olettaa 12m.

Valaistuksen osalta oletetaan että jokaiselle valaisimelle tai valaisinrasialle menee oma, valaisinkytkimen kautta kulkeva kaapelinsa. Kaapelit viedään keskukselta lattiatasoon (1,5m), lattiarakenteessa (10m) valaisinkytkimen kohdalle, ylös kattoon (3m) ja edelleen valaisimelle (5m). Valaistukseen liittyville kaapeleille arvioidaan pituudeksi 20m jokaista kaapelia kohden.

Asuntojen ryhmäkeskuksille tulevien kaapelien pituudeksi arvioidaan kunkin asunnon kohdalta 22m (10m vaakasuuntainen osuus kellarissa, keskimääräinen 12m nousu asunnon ryhmäkeskukseen). Kiinteistön sähköliittymän kaapelin mitaksi oletetaan 20m.

Oheisessa taulukossa on eritelty kiinteistön kaapelimenekki, joka on laskettu rakennuksen sähköasennusten kappalemäärän avulla. Kaapelityyppien valinnassa on käytetty apuna edellä mainittua AMK-opinnäytetyötä, sekä rakennuksen markkinointiesitettä.

Sähköasennusten kaapelit	Kaapeli	Pituus (km)	Massa yht. (kg)
Rakennuksen sähköliitäntä	AMCMK 4x70	0,0	36
Asuntojen sähköliitännät	MCMK 4x6	0,6	297,44
Asuntojen antenniliitännät	TELLU13	0,6	32,032
Asuntojen yleiskaapelointiliitännät	CAT6	0,6	23,452
Pistorasiakaapeli	3x1,5	5,9	770,64
Antennikaapelit	TELLU13	1,2	67,872
Yleiskaapeloinnit	CAT6	1,2	49,692
Loisteputkien kaapeloinnit	3x2,5	1,0	185,76
Liesien kaapeloinnit	5x2,5	0,3	81,12
Saunakiukaiden kaapeloinnit	5x2,5	0,3	81,12
APK:iden kaapeloinnit	3x2,5	0,3	56,16
PK:iden kaapeloinnit	3x2,5	0,3	56,16
Valaisinkaapelointi	3x1,5	5,4	699,4
Kaapeleiden suojaputket		17,7	887,4

Koko rakennuksen sähköasennusten kaapelointi, edellä esitetyillä oletuksilla laskettuna, vaatii noin 17,7 km sähkökaapelia ja suojaputkea. Mukaan on laskettu myös rakennuksen liittymäkaapelointi yleisiin verkkoihin, sekä asuntojen kaapelointi mittarikeskukselle. Kaapeloinnin materiaalimenekki on koko rakennuksen osalta yhteensä 3300kg, josta kuparin osuus on 1300kg, ja PVC-muovin 2000kg.

Kiinteistön yleisten tilojen kaapeloinnin ja asennusten määriä ei ole laskettu tässä yhteydessä, sillä niiden merkitys suhteessa asuntojen sähköasennuksiin arvioidaan laskennan kannalta vähäiseksi.

Sähköasennusten ja kaapelointien kokonaisuusmassaksi koko rakennuksen osalta saadaan 4300kg, josta terästä on 500kg, kuparia 1300kg ja PVC-muovia 2500kg. Koska sähköasennusten osalta ei ole tehty tarkkaa mitoitusta, arvioidaan todellisten kokonaismäärien voivan vaihdella +-25% tässä esitetyistä

luvuista. Näin ollen sähköasennusten massan vaihteluväliksi arvioidaan 3300...5300kg. Teräksen määrä vaihtelee välillä 400...600 kg, kuparin välillä 1000...1600 kg ja PVC-muovin 1900...3100 kg.

## Hissi

Hissin massaksi arvioidaan 2000kg ja sen päämateriaaliksi oletetaan teräs. Oletetun hissin massa muodostuu seuraavasti:

- moottori 300kg
- kori 700kg
- ovet, kaapelit, kiskot, muut teräsosat 1000kg.

Hissin todellisen massan arvioidaan olevan +-25% arvioista. Oheiseen taulukkoon on koottu materiaalmäärä keveimmälle ja raskaimmalle tapaukselle. Hissin osalta ei ole tehty tarkempia laskelmia.

Tapaus	Teräs (kg)	Yhteensä (kg)
Kevein tapaus	1500	1500
Raskain tapaus	2500	2500

## Aurinkopaneelit, aurinkokeräimet

Tarkasteltavassa rakennuksessa ei ole aurinkopaneeleja, tai keräimiä, mutta tässä kappaleessa esitetään näiden massa-arvio vaihtoehtoisten skenaarioiden laskentaa varten. Myöhemmässä kappaleessa ”lähes nollaenergiatasoinen rakennus” selitetään tarkemmin aurinkopaneeli- ja aurinkokeräinsysteemin pinta-ala ja laskentaperusteet.

### Aurinkokeräimet

Aurinkokeräinsysteemi koostuu tyypillisesti aurinkokeräimistä, lämminvesivaraajasta, kiinnitystarvikkeista, putkituksista ja säätölaitteista. Aurinkokeräimien massaksi arvioidaan 50kg/m<sup>2</sup>, sisältäen aurinkokeräimet, kiinnitystarvikkeet, ja putket. Lisäksi arvioidaan, että lämmönsiirtoaineena käytetään vesi-glykoliseosta (50%/50%). Tällä seoksella propyleeni-glykolin menekiksi arvioidaan noin 1,3 kg keräineliötä kohden.<sup>22</sup> Lämminvesivaraajan massaksi arvioidaan lisäksi 1000kg.

Keräinalan ollessa 153m<sup>2</sup>, voidaan systeemin kokonaismassaksi arvioida noin 9tn (keräimet 7700kg + varaaja 1000kg). Lisäksi propyleeni-glykolia tarvitaan noin 200kg.

Eräässä tutkimuksessa<sup>23</sup> on tarkasteltu aurinkokeräimistä, lämminvesivaraajasta, kiinnitystarvikkeista, putkituksista, sekä säätölaitteista koostuvaa aurinkokeräinsysteemiä. Keräinten pinta-ala tutkimuksessa oli 4,4m<sup>2</sup> ja lämpimän

<sup>22</sup> Ardente, F. et al., Life Cycle Assessment of a Solar Thermal Collector, Renewable Energy 30 (2005)

<sup>23</sup> Laborderie, A. et al., Environmental Impacts of Solar Thermal Systems with Life Cycle Assessment, World Renewable Energy Congress 2011

käyttöveden säiliön tilavuus  $0,3\text{m}^3$ . Tutkimuksen perusteella aurinkolämpösystemin kokonaispäästöt olivat  $1100\text{kg CO}_2\text{-ekv}$  järjestelmää kohden, josta  $400\text{kg}$  oli lämminvesivaraajan valmistuksesta aiheutuvia päästöjä, ja loput  $700\text{kg}$  järjestelmän muista osista aiheutuvia päästöjä.

Edellisen perusteella keräinten  $\text{CO}_2\text{-ekv}$ -päästöiksi neliölle saadaan  $160\text{ kg/m}^2$ . Keräinalan ollessa  $153\text{m}^2$ , saadaan aurinkokeräinten  $\text{CO}_2\text{-ekv}$  päästöiksi  $24,5\text{tn}$ .

Propyleeni-glykolin aiheuttamat päästöt<sup>24</sup> keräinneliölle arvioidaan tasolle (menekki  $1,3\text{kg/m}^2$ , päästöt  $3,8\text{kg/kg}$ )  $5\text{kg/m}^2$ . Lämmönkeruunesteen päästöiksi rakennustasolla saadaan  $0,8\text{tn}$ .

Lämminvesivaraaja ( $1000\text{kg}$ ) mallinnetaan teräksen ympäristöprofiililla, jolloin päästöiksi saadaan  $1,1\text{tn}$ /varaaja.

Yhteensä systeemin päästöiksi saadaan näillä laskentaoletuksilla noin  $26\text{tn}$ .

Aurinkokeräinten elinkaareksi arvioidaan  $15\text{-}20$  vuotta. Elinkaarenaikaiset huoltotoimenpiteet suoritetaan noin viiden vuoden välein, jolloin esimerkiksi lämmönsiirtoneste vaihdetaan ja paneelien tiivisteet uusitaan. Tässä yhdeydessä ei huomioida huoltotoimenpiteiden ympäristövaikutuksia, sillä niiden merkitys arvioidaan pieneksi.

Järjestelmä on kuitenkin uusittava kaksi kertaa  $50$ :n ja neljä kertaa sadan vuoden elinkaaren aikana. Tämä tarkoittaa korjausten osalta  $50$  vuoden elinkaarella  $18\text{tn}$  materiaalimenekkiä ja  $100$  vuoden elinkaarella  $36\text{tn}$  materiaalimenekkiä. Korjaustoimenpiteiden aiheuttamiksi  $\text{CO}_2$ -päästöiksi saadaan elinkaaren aikana  $52\text{tn}$  ( $50$  vuotta) tai  $104\text{tn}$  ( $100$  vuotta).

Keräinten käsittelyä elinkaaren jälkeen ei huomioida tässä käsittelyssä. Keräimistä muodostuu kuitenkin elinkaaren pituudesta riippuen joko  $78\text{tn}$  ( $50$  vuotta) tai  $130\text{tn}$  ( $100$  vuotta) jätettä.

### **Aurinkopaneelit**

Aurinkopaneelien massan oletetaan vastaavan suuruusluokaltaan aurinkokeräinmien massaa. Aurinkopaneelisysteemin massaksi oletetaan  $50\text{kg/m}^2$ , sisältäen kaikki järjestelmään liittyvät osat. Paneelien kokonaisalan ollessa  $368\text{m}^2$ , saadaan järjestelmän kokonaismassaksi  $18,4\text{tn}$ .

Aurinkopaneelien (crystalline silicon PV) elinkaarenaikaisista kasvihuonekaasupäästöistä on laadittu koontitutkimus, jossa aiemmat tutkimustulokset on koottu yhteen ja yhdenmukaistettu vertailukelpoisiksi.<sup>25</sup> Tutkimuksessa keskimääräisiksi elinkaarenaikaisiksi kasvihuonekaasupäästöiksi aurinkopaneelille (multicrystalline PV) saatiin  $47\text{g/kWh}$  (kasvihuonekaasupäästöt grammoina, tuotettua kilowattituntia kohden), paneelien elinkaaren ollessa  $30$  vuotta. laskennassa päästöt on muunnettu yksikköön  $\text{g CO}_2\text{-ekv/m}^2$  aurinkopaneelia, ottaen huomioon että tässä laskennassa aurinkopaneelin

<sup>24</sup> DuPont

<sup>25</sup> Hsu, David, D. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Crystalline Silicon Photovoltaic Electricity Generation, Journal of Industrial Ecology (2012)

arvioitu sähköenergian tuotanto neliötä kohden on 3000kWh/m<sup>2</sup> kolmenkymmenen vuoden elinkaaren aikana.

Näillä laskentaoletuksilla aurinkopaneelien elinkaarenaikaisiksi kasvihuonekaasupäästöiksi saadaan 141kg/m<sup>2</sup>. Paneelien kokonaismäärän ollessa 368m<sup>2</sup>, saadaan rakennuksen aurinkosähköasennusten kokonaispäästökseksi 52tn.

Rakennuksen elinkaaren aikana aurinkopaneelit uusitaan joko kerran (50v elinkaari) tai kolme kertaa (100 vuoden elinkaari). Näin 368m<sup>2</sup> keräinalan uusimisen materiaalimenekiksi saadaan 18tn 50 vuoden elinkaaren aikana ja 54tn 100 vuoden elinkaaren aikana. Kokonaispäästöiksi rakennuksen elinkaaren aikana saadaan 104tn (50 vuoden elinkaari) tai 156tn (100 vuoden elinkaari).

## Jäähdytysjärjestelmä

Tarkasteltavassa kohteessa ei ole jäähdytysjärjestelmää, mutta esimerkiksi asuntokohtaisten jäähdytyslaitteiden asentaminen asuntoihin rakennuksen elinkaaren aikana on täysin mahdollista.

Tässä yhteydessä tarkastellaan tilannetta, jossa asuntojen jäähdytys hoidettaisiin asuntokohtaisilla lämpöpumpuilla. Asuntokohtaisten lämpöpumppujen sisä- ja ulkoyksiköiden kokonaispainoksi oletetaan (2 sisä- 2 ulkoyksikköä) yhteensä 70kg.<sup>26</sup> Tarkasteltavassa rakennuksessa on yhteensä 28 asuntoa, joten laitteiden kokonaismassaksi voidaan arvioida noin 1,8tn. Jos laitteiden käyttöikäksi oletetaan 20v, saadaan kokonaisuutena materiaalimenekiksi elinkaaren aikana 5tn (50 vuoden elinkaari) tai 9tn (100 vuoden elinkaari). Jos laitteisto olisi kokonaisuudessaan terästä, tulisi sen päästöiksi (CO<sub>2</sub>-ekv) noin 6tn 50 vuoden elinkaarella ja 10tn 100 vuoden elinkaarella.

### Jäähdytysjärjestelmän kylmäaineet

Kylmäaineen määräksi yhtä jäähdytysyksikköä kohden oletetaan 750 grammaa<sup>27</sup> ja sen tyypiksi oletetaan R410A. Yksiköiden määräksi oletetaan 1-2kpl/asunto.

Kylmäaineita säädellään EU-tason asetuksella fluoratuista kasvihuonekaasuista<sup>28</sup>. Asetuksen neljännessä, talteenottoa käsittelevässä, artiklassa on määrätty, että esimerkiksi kylmäaine R410A (50% HFC32-50% HFC125 koostuva valmiste) on otettava asianmukaisesti talteen kierrätyksen, regeneroinnin ja hävittämisen varmistamiseksi. Näin ollen voidaan olettaa, ettei kylmäaine pääse vapautumaan jäähdytyslaitteen elinkaaren päässä ilmakehään kokonaisuudessaan.

Jos kylmäaineen osalta oletetaan, että puolet siitä karkaa lämpöpumpun elinkaaren (20v) aikana ja se korvataan huoltojen yhteydessä uudella kylmä-aineella<sup>29</sup>,

<sup>26</sup> Fujitsu, ”Ilmalämpöpumppu, Ilmastointilaitte”-esite, saatavilla osoitteessa: [http://www.fgfinland.fi/PDF\\_www/OnOff/onoff\\_seinamalli.pdf](http://www.fgfinland.fi/PDF_www/OnOff/onoff_seinamalli.pdf)

<sup>27</sup> Fujitsu, ”Ilmalämpöpumppu, Ilmastointilaitte”-esite

<sup>28</sup> Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukset (EY) N:o 842/2006

<sup>29</sup> Oletuksen perusteena: Shah, Viral P. et al “Life cycle assessment of residential heating and cooling systems in four regions in the United States”, Energy and Buildings 40 (2008) 503-513.

saadaan asuntokohtaiseksi kylmäainepäästöksi 50 vuoden elinkaarella noin 1...2kg ja 100 vuoden elinkaarella 2...4kg.

Kun lisäksi oletetaan, että 25% kylmäaineesta karkaa laitteen elinkaaren päättyessä ilmakehään, saadaan kylmäainepäästöksi yhteensä 50 vuoden elinkaaren aikana noin 1,5...3kg ja 100 vuoden elinkaaren aikana 3...6kg.

R410A:n kasvihuonekaasupotentiaaliksi oletetaan tässä yhteydessä 1975 kg/kg<sup>30</sup>. Näin 50 vuoden elinkaarella kylmäaineen kasvihuonekaasupäästöiksi voidaan arvioida asuntoa kohti 3...6tn ja 100 vuoden elinkaarella 6...12tn (co2-ekv).

Tarkasteltavassa rakennuksessa on 28 asuntoa, joten jos rakennuksen asuntoihin asennettaisiin jäädytys, olisi jäädytysaineen kasvihuonekaasupäästöt 50 vuoden elinkaarella 80...160tn ja 100 vuoden elinkaarella 160...310tn CO2-ekv.

Eri kylmäaineet soveltuvat erilaisiin käyttökohteisiin. Käytettäessä vaihtoehtoisia kylmäaineita R134a (GWP 1300 ja R-507 (GWP 3850), päästöt olisivat suuruusluokkaa 50%...200% edellä mainittuihin lukuihin verrattuna. Voidaan ennakoida että tulevaisuudessa nykyistä pienemmän kasvihuonekaasuvaikutuksen omaavat kylmäaineet tulevat yleistymään käytössä. Esimerkiksi hiilidioksidin käyttöä kylmäaineena tutkitaan parhaillaan aktiivisesti ja kaupallisia sovelluksia on jo olemassa.<sup>31</sup>

## Taloteknisten järjestelmien massa, yhteenveto

Seuraavissa taulukossa on esitetty taloteknisten järjestelmien massat, sekä järjestelmien yhteenlasketut materiaalimenekit. Perustapauksen massat on esitetty tummennetulla ja massojen minimi- ja maksimiarvojen vaihteluväli suluissa.

Aurinkopaneelien ja keräinten massaa, jäädytyslaitteita tai -aineita ei ole huomioitu yhteenvetotaulukoissa.

*Taulukko 56, Taloteknisten järjestelmien massa*

Järjestelmä	Perustapaus (tn)	Vaihteluväli min...max (tn)
Sähköasennukset	<b>4,3</b>	3,3... 5,3
Vesi- ja viemäröinti	<b>2,6</b>	1,3... 3,9
Hissi	<b>2</b>	1,5... 2,5
Sprinklerijärjestelmä	<b>2,1</b>	0,8... 3,3
Lämmitysjärjestelmä	<b>5,1</b>	3,6... 6,6
Ilmanvaihtojärjestelmä	<b>5,4</b>	3,5... 7,3
<b>Yhteensä</b>	<b>21,5</b>	14... 28,9

*Taulukko 57, Taloteknisten järjestelmien materiaalimenekki*

Materiaali	Perustapaus	Vaihteluväli min...max
------------	-------------	---------------------------

<sup>30</sup>(EY) N:o 842/2006

<sup>31</sup> Cavallini, A. ja Zilio C., "Carbon dioxide as natural reffridgerant". International Journal of Low-Carbon Technologies, Volume 2, Issue 3, Pp. 225-249 (2007)



	(tn)	(tn)
Teräs	13,8	6,4... 21,1
Kupari	2,1	1... 3,2
PVC-muovi	2,5	1,9... 3,1
PE-muovi	0,8	1,6... 0
PP-muovi	1,1	2,2... 0
Mineraalivilla	1,2	0,9... 1,5
Yhteensä	21,5	14... 28,9

### 3 Rakentamista koskevien tulosten yhteenveto

Tulosten perusteella nähdään, että rakennuksen kokonaismassa vaihtelee huomattavasti laskettujen minimi- ja maksimitapausten välillä. Kappaleen laskentojen perusteella rakennuksen kokonaismateriaalimenekki on laskennan perustapauksessa noin 4390 tonnia, vaihteluvälin ollessa 1824...7372 tonnia.

#### 3.1.1 Rakennuksen kokonaismassa

Tässä kappaleessa esitetään yhteenveto rakennuksen kokonaismassan muodostumisesta. Tarkemmat laskelmat kunkin rakennusosan osalta on esitetty edellisissä alakappaleissa.

Oheisiin kuvaajiin on koottu rakennuksen materiaalitarve perus-, minimi- ja maksimitapauksessa. Perustapaus kuvaa tyypillistä kohdetta, jota edustaa laskennassa tarkasteltava kerrostalo. Minimitapaus kuvaa toteutusta kevyillä rakenteilla hyvälle rakennuspaikalle. Maksimitapaus puolestaan kuvaa raskaita rakenteita ja huonoa rakennuspaikkaa.

Seuraavassa kuvassa on esitetty rakennuksen kokonaismassan muodostuminen perustapauksessa. Perustapauksessa rakennuspaikan maa-ainesta pystytään käyttämään osittain myös rakennuspaikan täyttöihin ja pohjan paalutustarve on vähäinen. Pystyrakenteet ovat pääosin betonielementtejä ja vaakarakenteet ontelolaattoja. Tulosten perusteella rakennuksen rakenteiden yhteenlaskettu kokonaismassa on perustapauksessa noin 4390 tonnia. Suurimman massaosuuden muodostavat rakennusrunko (2635tn) ja runkoon liittyvät osat (757tn). Maa-ainekset ja paalutukset ovat massaltaan yhteensä noin 400tn.

Seuraavaan taulukkoon on koottu kokonaismassan jakautuminen tarkemmin rakennusosatasolla. Esimerkiksi rakennusrunko on jaettu edelleen ulkoseiniin, kantaviin väliseiniin, välipohjiin ja yläpohjiin.

*Taulukko 58, Rakennuksen kokonaismassa rakennusosittain jaettuna*

	Perustapaus (tn)	Vaihteluväli min... max (tn)
Maa-ainekset	252	0... 1508
Paalutus	146	0... 518
Perustukset	292	164... 460
Alapohjat	286	232... 407
Erillinen, kantava rakennusrunko	0	60... 0

Ulkoseinät	664	302... 1028
Väliseinät	624	213... 624
Välipohjat	1143	529... 1611
Yläpohjat	204	51... 358
Parvekkeet	461	130... 461
Hormit	78	9... 78
Portaat	6	1... 6
Ei-kantavat väliseinät	48	39... 77
Ikkunat, ovet, lasitukset	30	23... 38
Kalusteet, varusteet, pintamateriaalit	99	75... 125
Rakenteisiin kiinnittämättömät materiaalimäärät	35	26... 44
Talotekniset järjestelmät	22	14... 29
Yhteensä	4390	1870... 7370

### 3.1.2 Vaihtoehtoisten toteutustapojen vaikutus rakennuksen materiaalitaseeseen

Tässä kappaleessa esitetään rakennuksen materiaalimenekki materiaaleittain eroteltuna. Tulokset on esitetty perustapauksen massoina, sekä massan vaihteluvälinä. Massan vaihteluvälin minimiarvo kuvaa tilannetta, jossa rakenteet toteutetaan kevyinä ja rakennuspaikan pohjaolosuhteet ovat erityisen hyvät. Maksimiarvo kuvaa painavia rakenteita ja erityisen huonoja pohjaolosuhteita.

Seuraavaan taulukkoon on koottu rakentamiseen tarvittava rakenusmateriaalien kokonaismateriaalimenekki hukkieneen. Taulukossa on esitetty perustapauksen arvot tummennetulla ja massan vaihteluväli omassa sarakkeessaan.

Taulukko 59, Vaihtoehtoisten toteutustapojen materiaalienekki. Perustapauksen massat esitetty tummennetulla, vaihteluväli toisessa sarakkeessa.

Materiaali	Massa (tn)	Vaihteluväli min... max (tn)
Alumiini	14	11... 18
Betoni, laatta	0	268... 219
Betoni, ontelolaatta 200mm	72	0... 454
Betoni, ontelolaatta 250mm	34	0... 0
Betoni, ontelolaatta 265mm	143	0... 0
Betoni, ontelolaatta 300mm	21	0... 21
Betoni, ontelolaatta 370mm	772	0... 0
Betoni, paalu	146	0... 518
Betoni, paikallavalettu	412	187... 1665
Betoni, sisäkuori	530	122... 617
Betoni, ulkokuori	95	56... 392
Betoni, väliseinä	1163	166... 1163
Bitumi	6	6... 6
CLT	0	95... 0
EPS	8	6... 31
Hiekka, sora	421	140... 523
Kevytsora	37	0... 45
Kalkkihiekkatiili	16	0... 16
Kipsilevy	29	262... 55
Kosteuseriste	2	2... 3
Kupari	2	1... 3
Laasti	1	1... 1
Laatta, keraaminen	19	14... 24
Lasi	19	14... 24
Lastulevy	24	18... 30
Maali	4	3... 5
Mineraalivilla	14	47... 3
Muovimatto	7	5... 9
Murske, kivet	177	129... 225
Parketti	14	10... 18
PE-muovi	5	6... 4
Puu	22	185... 27
Puu, palkki	0	47... 0
Puu, pilari	0	18... 0
Rappaus	22	0... 0
Tasoite	102	5... 15
Teräs	37	24... 46
Täyttömaa	0	0... 1193
Vaneri	0	20... 0
Yhteensä	4390	1868... 7372

## 4 Rakennuksen käytön aikaisten korjaustoimenpiteiden vaikutus rakennuksen materiaalitaseeseen

Tässä kappaleessa tarkastellaan rakennuksen käytönaikaisten korjaustoimenpiteiden vaikutusta rakennuksen materiaalitaseeseen.

Tämän työn tarkastelujen laskentaoletukset perustuvat rakennuksen 50 vuoden suunniteltuun käyttöikään. Suunnitellun käyttöiän jälkeen rakennuksen käyttöä on mahdollista jatkaa, kunhan käyttöikänsä päähän tulleet rakennusosat korjataan tai vaihdetaan. Käytännössä tämä tarkoittaa, että rakennuksen vaikeimmin korjattavilla osilla on pidemmät käyttöiät, kuin helpommin korjattavissa olevilla. Oheiseen taulukkoon on koottu tässä työssä käytettävät rakennuksen käyttöikäoletukset, jotka edustavat normaalitasoista, tyypillistä asuinkerrostaloa<sup>32</sup>. Sekä massiiviselle että kevyelle rakennusrungolle tehdään samat käyttöikäoletukset.

*Taulukko 60, käyttöikäoletukset normaalitasoiselle asuinkerrostalolle.*

Rakennusosa	Käyttöikä, normaalitasoinen asuinkerrostalo
Rakennus	50
Perustukset	100
Kantava runko	100
Ulkoseinät	50

Tämän työn tarkastelujen osalta tehdään yksinkertaistettu laskentaoletus, jossa korjattavat rakenteet tai rakenteiden osat puretaan kokonaisuudessaan ja rakennetaan korjauksen yhteydessä uudestaan alkuperäistä vastaavaksi.

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennusosien käytönaikaisten korjaustoimenpiteiden oletettu lukumäärä rakennuksen elinkaaren aikana. Seuraavassa taulukossa on esitetty tässä tarkastelussa käytettävät korjausten lukumäärät eri rakennusosille sekä 50:n että 100 vuoden elinkaarella.

*Taulukko 61, käytönaikaiset korjaustoimenpiteet. Korjausten lukumäärä eri rakennusosille 50:n ja 100 vuoden elinkaaren aikana.*

Rakennusosa	Korjausten lukumäärä, 50 vuoden elinkaari	Korjausten lukumäärä, 100 vuoden elinkaari
Perustukset	-	-
Kantava runko	-	-
Julkisivut ja yläpohjat	-	1
Talotekniset järjestelmät	1	2
Ikkunat, ovet, lasitukset	1	2

<sup>32</sup> Punkki, Jouni, ”Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu”, Betoni-lehti 4/2004 (2004)

Kalusteet, varusteet, pintarakenteet	4	9
Märkätilat	1	2

Seuraavissa alakappaleissa on esitetty eri rakennusosien ja järjestelmien osalta tehdyt laskentaoletukset ja tarkemmat laskentatulokset.

#### 4.1.1 Pohjarakenteet, perustukset ja runkorakenteet

Tässä työssä rakennuksen pohjarakenteiden, perustusten ja rungon oletetaan kestäväen rakennuksen koko elikaaren ajan ilman korjaustoimenpiteitä, lukuun ulkoseiniä ja vesikattorakenteita.

Vesikattorakenteiden osalta oletetaan, että niiden korjaaminen tapahtuu kerran 50:n ja kaksi kertaa 100 vuoden aikana. Ulkoseinien osalta oletetaan, että korjaaminen tapahtuu yhden kerran 100 vuoden elinkaaren aikana.

Julkisivukorjauksen osalta oletetaan, että uudet seinärakenteet ovat vastaavat, kuin alkuperäisessä tapauksessa. Julkisivukorjauksessa seinän ulkokerrokset poistetaan lämmöneristeen sisäpintaan saakka ja rakennetaan uudestaan samanlaisina.

Vesikattorakenteiden korjauksen osalta oletetaan että olemassa oleva yläpohjarakenne puretaan ja uusitaan alkuperäistä vastaavana lämmöneristeen alapinnan tasoon asti.

Alkuperäiset materiaalit muuttuvat korjauksen yhteydessä poiskuljetettavaksi jätteeksi. Jättemäärä on sama, kuin korjauksen materiaalimenekki.

Oheiseen taulukoihin on koottu julkisivujen ja vesikattorakenteiden korjaustoimenpiteistä aiheutuva materiaalimenekki. Poiskuljetettavat jättemäärät vastaavat uusimisen materiaalimenekkiä. Taulukon yhteydessä on huomattava, että minimitapaukset kuvaavat kevyen julkisivun ja yläpohjan korjausta, ja maksimitapaus raskaan julkisivun ja yläpohjan korjausta. Laskennan perustapaus on esitetty tummennetuilla arvoilla.

*Taulukko 62, julkisivujen ja vesikattorakenteiden korjausten materiaalimenekki ja poiskuljetettavan jätteen määrä. Taulukon tulokset ilmoittavat materiaalimenekin sekä 50:n, että 100 vuoden elinkaarelle.*

Materiaali	Elinkaari, 50 vuotta Massa (tn)	Elinkaari, 100 vuotta Massa (tn)
Betoni, paikallavalettu	<b>0</b> 0...0	<b>26</b> 0... 32
Betoni, ulkokuori	<b>0</b> 0...0	<b>76</b> 0... 301
Bitumi	<b>0</b> 0...0	<b>6</b> 6... 6
EPS	<b>0</b> 0...0	<b>3</b> 0... 19

Kevytsora	<b>0</b> 0...0	<b>37</b> 0... 45
Kipsilevy	<b>0</b> 0...0	<b>1</b> 19... 0
Mineraalivilla	<b>0</b> 0...0	<b>11</b> 18... 0
Puu	<b>0</b> 0...0	<b>1</b> 42... 0
Rappaus	<b>0</b> 0...0	<b>22</b> 0... 0
Teräs	<b>0</b> 0...0	<b>2</b> 1... 0
Yhteensä	<b>0</b> 0...0	<b>185</b> 86... 403

#### 4.1.2 Talotekniset järjestelmät

Kaikkien taloteknisten järjestelmien osalta oletetaan, että ne joudutaan uusimaan kerran 50 vuoden ja kahdesti 100 vuoden elinkaarella. Näille rakennusosille tehdään tyypillisesti myös pieniä korjaus- ja huoltotoimenpiteitä, mutta näiden vaikutus on arvioitu tämän työn kannalta vähäiseksi.

Uusimisen osalta oletetaan, että uudet asennettavat järjestelmät ovat vastaavat, kuin alkuperäisessä tapauksessa. Taloteknisten järjestelmien uusimisesta aiheutuu siis vastaava materiaalimenekki, kuin rakentamisvaiheessa.

Talotekniset järjestelmät on esitetty tarkemmin edellisissä kappaleissa. Oheiset tiedot on koottu näiden perusteella. Taulukossa esitetään taloteknisten järjestelmien uusimisesta aiheutuva materiaalimenekki. Poiskuljetettavat jätemäärät vastaavat materiaalimenekkiä.

*Taulukko 63, Taloteknisten järjestelmien uusimisen materiaalimenekki ja poiskuljetettavan jätteen määrä*

Materiaali	Elinkaari, 50 vuotta Massa (tn)	Elinkaari, 100 vuotta Massa (tn)
Teräs	14 (6... 21)	28 (12... 42)
Kupari	2 (1... 3)	4 (2... 6)
PVC-muovi	3 (2... 3)	6 (4... 6)
PE-muovi	1 (2... 0)	2 (4... 0)
PP-muovi	1 (2... 0)	2 (4... 0)
Mineraalivilla	1	2

	(1... 2)	(2... 4)
Yhteensä	22 (14... 29)	44 (28... 58)

Taloteknisten järjestelmien uusimisen materiaalimenekki ja uusimisesta aiheutuva jätemäärä elinkaaren aikana on siis 50 vuoden elinkaaren aikana 14... 29tn, ja 100 vuoden aikana 22...58tn.

#### 4.1.3 Ikkunat, ovet ja lasitukset

Ikkunat ja ulko-ovet ovat tyypillisesti rakennusosia, joiden käyttöikä on noin 30-50 vuotta. Tässä työssä oletetaan että kaikki nämä uusitaan yhden kerran 50 vuoden aikana ja kahdesti 100 vuoden aikana.

Ikkunoiden, ovien ja lasitusten osalta oletetaan, kuten edellä, että uudet ikkunat, ovet ja lasitukset ovat vastaavat, kuin alkuperäisessä tapauksessa ja uusimisesta aiheutuu vastaava materiaalimenekki kuin rakentamisvaiheessa. Alkuperäiset materiaalit muuttuvat korjauksen yhteydessä poiskuljetettavaksi jätteeksi.

Oheisessa taulukossa esitetään ikkunoiden, ovien ja lasitusten uusimisesta aiheutuva materiaalimenekki. Poiskuljetettavat jätemäärät vastaavat uusimisen materiaalimenekkiä.

*Taulukko 64, Taloteknisten järjestelmien uusimisen materiaalimenekki ja poiskuljetettavan jätteen määrä*

Materiaali	Elinkaari, 50 vuotta Massa (tn)	Elinkaari, 100 vuotta Massa (tn)
Lasi	16 (12... 20)	32 (24... 40)
Alumiini	14 (11... 18)	28 (22... 36)
Yhteensä	30 (23... 38)	60 (46... 76)

#### 4.1.4 Kalusteet, varusteet, pintarakenteet

Rakennuksen sisäpintojen, kalusteiden ja keittiölaitteiden osalta oletetaan, että nämä remontoidaan tai vaihdetaan kymmenen vuoden välein. Tämä siksi, että pintaremontteja ja uusimisia tehdään tyypillisesti vuokralaisten tai omistajien vaihtuessa, tai asukkaan mieltymysten muuttuessa.

Työssä oletetaan, että pintaremontti tehdään ja kaikki kalusteet ja laitteet vaihdetaan kymmenen vuoden välein. Tämä tarkoittaa 50 vuoden tarkastelujaksolla neljää ja 100 vuoden jaksolla yhdeksää uusimiskertaa. Yleisten tilojen pintojen osalta oletetaan sama uusimisväli kuin asunnoilla.

Laskentaoletukset ovat vastaavat, kuin edellä, eli uusimisen osalta oletetaan, että uudet kalusteet, varusteet ja pintarakenteet ovat vastaavat, kuin alkuperäisessä tapauksessa ja uusimisesta aiheutuu vastaava materiaalimenekki kuin rakentamisvaiheessa. Alkuperäiset materiaalit muuttuvat korjauksen yhteydessä poiskuljetettavaksi jätteeksi.

Oheisessa taulukossa esitetään kalusteiden, varusteiden ja pintarakenteiden uusimisesta aiheutuva materiaalimenekki. Poiskuljetettavat jätemäärät vastaavat materiaalimenekkiä.

*Taulukko 65, kalusteiden, varusteiden ja pintarakenteiden uusimisen materiaalimenekki ja poiskuljetettavan jätteen määrä*

Materiaali	Massa (tn)	Massa (tn)
Lastulevy	96 (72... 120)	216 (162... 270)
Maali	16 (12... 20)	36 (27... 45)
Parketti	56 (40... 72)	126 (90... 162)
Muovimatto	28 (20... 36)	63 (45... 81)
Teräs	20 (16... 24)	45 (36... 54)
Lasi	12 (8... 16)	27 (18... 36)
Yhteensä	228 (168... 288)	513 (378... 648)

#### 4.1.5 Märkätilat

Märkätilojen uusiminen tehdään tyypillisesti vesi- ja viemäriverkoston uusimisen yhteydessä. Tässä laskennassa oletetaan, että märkätilojen pintarakenteet ja kalusteet uusitaan yhden kerran 50 vuoden elinkaaren, ja kaksi kertaa 100 vuoden elinkaaren aikana. Märkätilojen uusimisen yhteydessä uusitaan myös saunan pintarakenteet ja eristeet.

Laskentaoletukset ovat vastaavat, kuin edellä, eli uusimisen osalta oletetaan, että uudet märkätilat ovat vastaavat, kuin alkuperäisessä tapauksessa ja uusimisesta aiheutuu vastaava materiaalimenekki kuin rakentamisvaiheessa. Alkuperäisten märkätilojen materiaalit muuttuvat korjauksen yhteydessä poiskuljetettavaksi jätteeksi.

Oheisessa taulukossa esitetään märkätilojen uusimisesta aiheutuva materiaalimenekki. Poiskuljetettavat jätemäärät vastaavat materiaalimenekkiä.



Taulukko 66, Märkätilojen uusimisen materiaalimenekki ja poiskuljetettavan jätteen määrä.

Materiaali	Elinkaari, 50 vuotta Massa (tn)	Elinkaari, 100 vuotta Massa (tn)
Laatta	17 (13... 21)	34 (26... 42)
Laasti	1 (1... 1)	2 (2... 2)
Kosteuseriste	2 (2... 3)	4 (4... 6)
Puu	18 (14... 23)	36 (28... 46)
Mineraalivilla	1 (1... 1)	2 (2... 2)
Posliini	2 (1... 3)	4 (2... 6)
Kivi	1 (1... 1)	2 (2... 2)
Yhteensä	42 (33... 53)	84 (66... 106)

#### 4.1.6 Rakennuksen käytön aikaisten korjaustoimenpiteiden vaikutus rakennuksen materiaalitaseeseen, tulosten yhteenveto

Tässä kappaleessa tehdään yhteenveto rakennuksen korjaustoimenpiteiden vaikutuksesta rakennuksen materiaalitaseeseen. Tulokset on koottu edellisten alakappaleiden laskentatuloksista. Laskennassa on oletettu, että kaikki korjattavat rakenteet puretaan ja rakennetaan vastaavina rakenteina ja vastaavilla materiaaleilla uudestaan. Purun yhteydessä olemassaolevat rakenteet muuttuvat rakennusjätteeksi, joten taulukon arvot kuvaavat sekä korjausten materiaalimenekkiä, että korjausten yhteydessä syntyvän jätteen määrää.

Seuraavaan taulukkoon on koottu käytönaikaisten korjaustoimenpiteiden kokonaisuusmateriaalimenekki ja syntyvän jätteen määrä materiaaleittain eriteltynä. Taulukossa on esitetty perustapauksen arvot tummennetulla ja massan vaihteluväli omassa sarakkeessaan. Taulukon yhteydessä on huomattava, että suluissa esitetyt vaihteluvälit kuvaavat ratkaisuja, joilla korjaustoimenpiteiden materiaalimenekki saavuttaa kokonaisuutena miniminsä, tai maksiminsa. Vaihteluvälit eivät siis kuvaa yksittäisen materiaalin menekin minimi- ja maksimiarvoja.

Taulukko 67, Käytönaikaisten korjaustoimenpiteiden materiaalimenekki ja korjauksista syntyvän rakennusjätteen määrä. Perustapauksen massat esitetty tummennetulla. Korjaustoimenpiteiden massa on esitetty taulukossa sekä 50:n että 100 vuoden elinkaarelle.

Materiaali	Elinkaari 50 vuotta	Elinkaari 100 vuotta
------------	---------------------	----------------------

	<b>Massa (tn)</b>	<b>Vaihteluväli, min... max (tn)</b>	<b>Massa (tn)</b>	<b>Vaihteluväli, min... max (tn)</b>
Alumiini	14	11... 18	28	22... 36
Betoni, paikallavalettu	0	0... 0	26	0... 32
Betoni, ulkokuori	0	0... 0	76	0... 301
Bitumi	0	0... 0	6	6... 6
EPS	0	0... 0	3	0... 19
Kevytsora	0	0... 0	37	0... 45
Kipsilevy	0	0... 0	1	19... 0
Kosteuseriste	2	2... 3	4	4... 6
Kupari	2	1... 3	4	2... 6
Laasti	1	1... 1	2	2... 2
Laatta, keraaminen	19	14... 24	38	28... 48
Lasi	28	20... 36	59	42... 76
Lastulevy	96	72... 120	216	162... 270
Maali	16	12... 20	36	27... 45
Mineraalivilla	2	2... 3	15	22... 6
Muovimatto	28	20... 36	63	45... 81
Murske, kivet	1	1... 1	2	2... 2
Parketti	56	40... 72	126	90... 162
PE-muovi	5	6... 3	10	12... 6
Puu	18	14... 23	37	70... 46
Rappaus	0	0... 0	22	0... 0
Teräs	34	22... 45	75	49... 96
<b>Yhteensä</b>	<b>322</b>	<b>238... 408</b>	<b>886</b>	<b>604... 1291</b>

## 5 Rakennuksen elinkaarenaikainen materiaalityrve

Edellisissä kappaleissa määritettiin massat ja massan vaihteluvälit rakentamisen ja käytönaikaisten korjaustoimenpiteiden materiaalityrveille. Tässä kappaleessa tulokset yhdistetään kuvaamaan rakennuksen koko elinkaaren aikaista materiaalityrveä.

Oheiseen kuvaajaan on koottu perustapauksen materiaalityrve sekä rakentamisen, että elinkaarenaikaisten korjausten osalta. Perustapauksessa rakennuksen materiaalityrven kokonaismassa on noin 4390 tonnia. Elinkaarenaikaisten korjausten materiaalityrve on 50 vuoden elinkaarella noin 322 tonnia, ja 100 vuoden elinkaarella noin 886 tonnia.

Perustapauksessa korjausten materiaalityrve muodostaa noin 7% osuuden rakennuksen elinkaarenaikaisesta materiaalityrvestä 50 vuoden elinkaaren aikana. 100 vuoden elinkaarella korjaukset muodostavat noin 17% osuuden kokonaismateriaalityrvestä.

Seuraavaan taulukkoon on koottu rakennuksen elinkaarenaikainen materiaalityrve, sisältäen sekä rakentamisen että käytönaikaisten korjaustoimenpiteiden materiaalityrveet. Taulukossa on esitetty perustapauksen arvot tummennetulla ja massan vaihteluväli omassa sarakkeessaan. Taulukon

yhteydessä on huomattava, että vaihteluvälit kuvaavat ratkaisuja, joilla elinkaarenaikainen materiaalienekki saavuttaa kokonaisuutena miniminsä, tai maksiminsa. Vaihteluvälit eivät siis kuvaa yksittäisen materiaalin menekin minimi- ja maksimiarvoja. Tulokset on esitetty sekä 50:n että 100 vuoden elinkaarelle.

Taulukko 68, Rakennuksen elinkaarenaikainen materiaalimenekki. Perustapauksen massat esitetty tummennetulla. Massat on esitetty taulukossa sekä 50:n että 100 vuoden elinkaarelle.

Materiaali	Elinkaari 50 vuotta		Elinkaari 100 vuotta	
	Massa (tn)	Vaihteluväli, min... max (tn)	Massa (tn)	Vaihteluväli, min... max (tn)
Alumiini	28	22... 36	42	33... 54
Betoni, laatta	0	268... 219	0	268... 219
Betoni, ontelolaatta 200mm	72	0... 454	72	0... 454
Betoni, ontelolaatta 250mm	34	0... 0	34	0... 0
Betoni, ontelolaatta 265mm	143	0... 0	143	0... 0
Betoni, ontelolaatta 300mm	21	0... 21	21	0... 21
Betoni, ontelolaatta 370mm	772	0... 0	772	0... 0
Betoni, paalu	146	0... 518	146	0... 518
Betoni, paikallavalettu	412	187... 1665	438	187... 1697
Betoni, sisäkuori	530	122... 617	530	122... 617
Betoni, ulkokuori	95	56... 392	171	56... 693
Betoni, väliseinä	1163	166... 1163	1163	166... 1163
Bitumi	6	6... 6	12	12... 12
CLT	0	95... 0	0	95... 0
EPS	8	6... 31	11	6... 50
Hiekka, sora	421	140... 523	421	140... 523
Kevytsora	37	0... 45	74	0... 90
Kalkkihiekkatiili	16	0... 16	16	0... 16
Kipsilevy	29	262... 55	30	281... 55
Kosteuseriste	4	4... 6	6	6... 9
Kupari	4	2... 6	6	3... 9
Laasti	2	2... 2	3	3... 3
Laatta, keraaminen	38	28... 48	57	42... 72
Lasi	47	34... 60	78	56... 100
Lastulevy	120	90... 150	240	180... 300
Maali	20	15... 25	40	30... 50
Mineraalivilla	16	49... 6	29	69... 9
Muovimatto	35	25... 45	70	50... 90
Murske, kivet	178	130... 226	179	131... 227
Parketti	70	50... 90	140	100... 180
PE-muovi	10	12... 7	15	18... 10
Puu	40	199... 50	59	255... 73
Puu, palkki	0	47... 0	0	47... 0
Puu, pilari	0	18... 0	0	18... 0
Rappaus	22	0... 0	44	0... 0
Tasoite	102	5... 15	102	5... 15
Teräs	71	46... 91	112	73... 142

Täyttömaa	0	0... 1193	0	0... 1193
Vaneri	0	20... 0	0	20... 0
Yhteensä	4712	2106... 7780	5276	2472... 8663

Seuraavassa taulukossa on esitetty massan jakautuminen rakennusosittain.

	Perustapaus (tn)	Vaihteluväli min... max (tn)
Maa-ainekset	252	0... 1508
Paalutus	146	0... 518
Perustukset	292	164... 460
Alapohjat	286	232... 407
Erillinen, kantava rakennusrunko	0	60... 0
Ulkoseinät	664	302... 1028
Väliseinät	624	213... 624
Välipohjat	1143	529... 1611
Yläpohjat	204	51... 358
Parvekkeet	461	130... 461
Hormit	78	9... 78
Portaat	6	1... 6
Ei-kantavat väliseinät	48	39... 77
Ikkunat, ovet, lasitukset	30	23... 38
Kalusteet, varusteet, pintamateriaalit	99	75... 125
Rakenteisiin kiinnittämättömät materiaalimäärät	35	26... 44
Talotekniset järjestelmät	22	14... 29
Yhteensä, rakenteet	4390	1868... 7372
Korjaukset, 50 vuoden elinkaari	322	238... 408
Korjaukset, 100 vuoden elinkaari	886	604... 1291
Yhteensä, 50 vuoden elinkaari	4712	2106... 7780
Yhteensä, 50 vuoden elinkaari	5275	2472... 8663

## 6 Rakennusmateriaalien ympäristöprofiilit ja laskentatulokset rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksille

Tässä kappaleessa esitetään rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset, sekä niiden laskennassa käytetyt ympäristöprofiilit.

Kappaleen laskennat perustuvat edellisissä kappaleissa esitettyihin massamääriin ja materiaalimenekkeihin. Rakennusmateriaalien massat on kerrottu kutakin massaa vastaavalla ympäristöprofiililla, jolloin rakennuksen ympäristövaikutukset on saatu laskettua.

Laskennassa käytetään ILMARI-tietokannan ympäristöprofiileja<sup>33</sup>. Kyseisessä tietokannassa on jokaiselle materiaalille laskettu tietty ympäristöprofiili, sisältäen raaka-aineiden hankinnan, materiaalien valmistuksen, kuljetuksen työmaalle, sekä työmaa-aikaisen hukan.

Tietokannan mukaiset ympäristöprofiilit on esitetty seuraavassa taulukossa.

*Taulukko 69, laskennassa käytetyt materiaalityydyt ja ympäristöprofiilit.*

Materiaali	Tiheys kg/m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> - equ kg/kg
Alumiini	2700	<b>3,25</b>
PE-muovi	910	<b>2,27</b>
CLT	500	<b>0,31</b>
Bitumi	2000	<b>0,80</b>
EPS	40	<b>3,41</b>
Hiekka, sora	1800	<b>0,00</b>
Kevytsora	270	<b>0,40</b>
Kalkkihiekkatiili	1600	<b>0,16</b>
Kipsilevy	730	<b>0,42</b>
Betonipaalu	2400	<b>0,15</b>
Kosteuseriste	910	<b>2,38</b>
Laasti	540	<b>0,36</b>
Laatta, keraaminen	2000	<b>0,70</b>
Laatta, klinkkeri	1900	<b>0,70</b>
Laminaatti	630	<b>0,61</b>
Lasi	2500	<b>0,54</b>
Lastulevy	630	<b>0,61</b>
Maali, lattia	1000	<b>2,60</b>
Mineraalivilla	35	<b>1,03</b>
Muovimatto	1300	<b>1,40</b>
Murske, kivet	1600	<b>0,01</b>
Parketti	450	<b>0,64</b>
Puu	450	<b>0,09</b>
Paikallavalettu betoni	2400	<b>0,15</b>
Rappaus	800	<b>2,05</b>
Rappausverkko	7850	<b>1,10</b>
Suodatinkangas	910	<b>2,27</b>
Tasoite	1500	<b>0,36</b>
Sinkitty teräs	7850	<b>1,10</b>
Betoniulkokuori	2426	<b>0,21</b>
Betonisisäkuori	2448	<b>0,19</b>
Betoniväliseinä	2400	<b>0,20</b>
Maali	1000	<b>0,71</b>
Tasoite	1500	<b>0,36</b>
Ontelolaatta 200	1250	<b>0,18</b>
Ontelolaatta 250	1311	<b>0,18</b>
Ontelolaatta 265	1360	<b>0,18</b>

<sup>33</sup> <http://www.vtt.fi/sites/ilmari/index.jsp>

Ontelolaatta 300	1240	<b>0,18</b>
Ontelolaatta 370	1150	<b>0,18</b>
Betonilaatta	2472	<b>0,14</b>
Vaneri	450	<b>0,64</b>
Puupalkki	450	<b>0,36</b>
Puupilari	450	<b>0,36</b>
Täyttömaa	1800	<b>0,00</b>
Kupari	8960	<b>1,92</b>

### 6.1.1 Rakennusmateriaalien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt

Rakennusmateriaalien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt on laskettu edellisissä kappaleissa esitettyjen massamäärien, sekä edellisessä alakappaleessa esitettyjen ympäristöprofiilien perusteella.

Perustapauksessa rakennuksen rakenteiden tuotannon kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärä on 955tn, vaihteluvälin ollessa kevyimmistä rakenteista raskaimpiin 530... 1265tn. Laskennassa on käytetty edellä esitettyjä ILMARI-tietokannan ympäristöprofileja.

Ensimmäisessä taulukossa on esitetty päästöjen jakautuminen rakennusosittain ja toisessa materiaaleittain. Perustapauksen päästöt on esitetty taulukoissa tummennetuilla arvioilla. Päästöt on ilmoitettu CO<sub>2</sub>-ekvivalenttitonneina rakennusta kohden.

*Taulukko 70, Rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöt rakennusosittain. Perustapaus esitetty tummennettuna. Vaihteluväli kuvaa kevyimmän ja raskaimman toteutusvaihtoehdon päästöjä.*

	<b>CO<sub>2</sub>-ekv (tn)</b>	Vaihteluväli min... max (tn)
Maa-ainekset (sis. pois kuljetettavat maamassat)	1	0... 7
Paalutus	21	0... 75
Perustukset	34	19... 54
Alapohjat	23	21... 45
Erillinen, kantava rakennusrunko	0	21... 0
Ulkoseinät	185	83... 267
Väliseinät	126	59... 126
Välipohjat	212	121... 256
Yläpohjat	59	25... 83
Parvekkeet	93	35... 93
Hornit	16	4... 16
Portaat	1	0... 1
Ei-kantavat väliseinät	17	14... 30
Ikkunat, ovet, lasitukset	54	42... 69
Kalusteet, varusteet, pintamateriaalit	65	49... 82
Kiinnittämättömät materiaalit	18	13... 22

Talotekniikka	31	23... 38
Yhteensä	955	530... 1265



*Taulukko 71, Rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöt materiaaleittain. Perustapaus esitetty tummennettuna. Vaihteluväli kuvaa kevyimmän ja raskaimman toteutusvaihtoehdon päästöjä.*

Materiaali	CO <sub>2</sub> -ekv (tn)	Vaihteluväli, min... max (tn)
Alumiini	46	36... 59
Betoni, laatta	0	38... 31
Betoni, ontelolaatta 200mm	13	0... 81
Betoni, ontelolaatta 250mm	6	0... 0
Betoni, ontelolaatta 265mm	25	0... 0
Betoni, ontelolaatta 300mm	4	0... 4
Betoni, ontelolaatta 370mm	137	0... 0
Betoni, paalu	21	0... 75
Betoni, paikallavalettu	64	29... 258
Betoni, sisäkuori	102	24... 119
Betoni, ulkokuori	20	12... 83
Betoni, väliseinä	234	33... 234
Bitumi	5	5... 5
CLT	0	29... 0
EPS	26	19... 104
Hiekka, sora	2	1... 3
Kevytsora	15	0... 18
Kalkkihiekkatiili	3	0... 3
Kipsilevy	12	110... 23
Kosteuseriste	5	5... 7
Kupari	4	2... 6
Laasti	0	0... 0
Laatta, keraaminen	13	10... 17
Lasi	10	8... 13
Lastulevy	15	11... 18
Maali	3	2... 4
Mineraalivilla	15	48... 3
Muovimatto	10	7... 13
Murske, kivet	1	1... 1
Parketti	9	6... 12
PE-muovi	12	15... 9
Puu	2	16... 2
Puu, palkki	0	17... 0
Puu, pilari	0	6... 0
Rappaus	45	0... 0
Tasoite	37	2... 5
Teräs	41	27... 51
Täyttömaa	0	0... 6
Vaneri	0	13... 0
Yhteensä	955	530... 1265

## 6.1.2 Käytönaikaisten korjaustoimenpiteiden materiaalien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt

Käytönaikaisten korjaustoimenpiteiden materiaalien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt on laskettu edellisissä kappaleissa esitettyjen massamäärien, sekä edellä esitettyjen ympäristöprofiilien perusteella.

Ympäristöprofiileina on käytetty ympäristöprofiilien minimiarvoja, koska voidaan olettaa että tulevaisuudessa rakennusmateriaali- ja energiantuotannossa tapahtuva kehitys johtaa päästöjen alenemiseen. Näin korjauksissa käytettävät materiaalit tuotetaan tulevaisuudessa todennäköisesti vähäpäästöisemmillä menetelmillä kuin nykyään.

Oheiseen taulukkoon on koottu käytönaikaisten korjaustoimenpiteiden rakennusmateriaalien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt rakennustasolla. Kasvihuonekaasupäästöt on ilmoitettu tonneina rakennusta kohden.

Taulukossa on esitetty laskennan perustapaus tummennettuina arvoina ja kasvihuonekaasupäästöjen vaihteluväli omassa sarakkeessaan.

*Taulukko 72, Käytönaikaisten korjaustoimenpiteiden materiaalien aiheuttamat elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt, tn. Laskennat on tehty 50 ja 100 vuoden elinkaarelle.*

Materiaali	<b>Elinkaari 50 vuotta, Perustapaus (tn)</b>	Elinkaari 50 vuotta, vaihteluväli min...max (tn)	<b>Elinkaari 100 vuotta, Perustapaus (tn)</b>	Elinkaari 100 vuotta, vaihteluväli min...max (tn)
Alumiini	46	36... 59	91	72... 117
Betoni, paikallavalettu	0	0... 0	4	0... 5
Betoni, ulkokuori	0	0... 0	16	0... 64
Bitumi	0	0... 0	5	5... 5
EPS	0	0... 0	10	0... 65
Kevytsora	0	0... 0	15	0... 18
Kipsilevy	0	0... 0	0	8... 0
Kosteuseriste	5	5... 7	10	10... 14
Kupari	4	2... 6	8	4... 12
Laasti	0	0... 0	1	1... 1
Laatta, keraaminen	13	10... 17	27	20... 34
Lasi	15	11... 20	32	23... 41
Lastulevy	59	44... 74	133	99... 166
Maali	11	8... 14	25	19... 32
Mineraalivilla	2	2... 3	15	23... 6
Muovimatto	39	28... 50	88	63... 113
Murske, kivet	0	0... 0	0	0... 0
Parketti	36	26... 46	81	58... 104
PE-muovi	11	14... 7	23	27... 14

Puu	2	1... 2	3	6... 4
Rappaus	0	0... 0	45	0... 0
Teräs	38	24... 50	83	54... 106
Yhteensä	281	211... 354	715	490... 919

Tulosten perusteella nähdään, että co2-ekv päästöt ovat perustapauksessa 50 vuoden elinkaarella noin 281 tonnia, vaihteluvälin ollessa 211...354tn.

100 vuoden elinkaarella päästöt ovat perustapauksessa 715 tonnia, vaihteluvälin ollessa 490...919 tonnia.

### 6.1.3 Rakennusmateriaalien aiheuttamat elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt

Edellisissä kappaleissa määritettiin rakennusmateriaalien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt sekä rakentamiselle että käytönaikaisille korjaustoimenpiteille.

Rakentamisen kasvihuonekaasupäästöiksi saatiin edellä perustapauksessa 950 tonnia, vaihteluvälin ollessa minimi- ja maksimitapauksen välillä 530... 1265 tonnia.

Korjaustoimenpiteiden materiaalien kasvihuonekaasupäästöiksi saatiin edellä 50 vuoden elinkaarella 281 tonnia perustapauksessa, vaihteluvälin ollessa 211... 254 tonnia. 100 vuoden elinkaarelle kasvihuonekaasupäästöt ovat 715 tonnia, vaihteluvälillä 490...919 tonnia.

Rakentamisen ja korjausten aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt on koottu oheiseen taulukkoon. Tulokset on esitetty sekä 50:n että 100 vuoden elinkaarelle.

*Taulukko 73, Rakentamisen ja korjausten rakennusmateriaalien aiheuttamat elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt 50:n ja 100 vuoden elinkaarelle*

	<b>Perustapaus CO2-ekv (tn)</b>	Vaihteluväli min...max (tn)
Rakentamisen materiaalien kasvihuonekaasupäästöt	<b>955</b>	530... 1265
Korjaustoimenpiteiden materiaalien kasvihuonekaasupäästöt (elinkaari 50 vuotta)	<b>281</b>	211... 354
Korjaustoimenpiteiden materiaalien kasvihuonekaasupäästöt (elinkaari 100 vuotta)	<b>715</b>	490... 919
Yhteensä, 50 vuotta	<b>1236</b>	741... 1619
Yhteensä, 100 vuotta	<b>1670</b>	1020... 2184

Rakentamisen ja korjausten aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt on koottu oheiseen taulukkoon. Päästöt on esitetty rakentamisen osalta rakennusosittain ja korjausten osalta kokonaissummana 50:n ja 100 vuoden elinkaarelle.

*Taulukko 74, Rakentamisen kasvihuonekaasupäästöt rakennusosittain ja korjaustoimenpiteiden päästöt 50:n ja 100 vuoden elinkaarelle.*

	<b>CO2-ekv (tn)</b>	Vaihteluväli min... max (tn)
Maa-ainekset	1	0... 7
Paalutus	21	0... 75
Perustukset	34	19... 54
Alapohjat	23	21... 45
Erillinen, kantava rakennusrunko	0	21... 0
Ulkoseinät	185	83... 267
Väliseinät	126	59... 126
Välipohjat	212	121... 256
Yläpohjat	59	25... 83
Parvekkeet	93	35... 93
Hormit	16	4... 16
Portaat	1	0... 1
Ei-kantavat väliseinät	17	14... 30
Ikkunat, ovet, lasitukset	54	42... 69
Kalusteet, varusteet, pintamateriaalit	65	49... 82
Kiinnittämättömät materiaalit	18	13... 22
Talotekniikka	31	23... 38
Korjausten osuus, 50 vuotta	<b>281</b>	211... 354
Korjausten osuus, 100 vuotta	<b>715</b>	490... 919
Yhteensä, korjaukset huomioiden 50 vuotta	<b>1231</b>	741... 1619
Yhteensä korjaukset huomioiden, 100 vuotta	<b>1665</b>	1020... 2184

Tuloksista nähdään, että viidenkymmenen vuoden elinkaarella rakennuksen kokonaiskasvihuonekaasupäästöt ovat noin 1231 tonnia (CO<sub>2</sub>-ekv), vaihteluvälin ollessa 741...1619tn kevyimmästä raskaimpaan rakennukseen.

Sadan vuoden elinkaarella rakennuksen kasvihuonekaasupäästöt ovat noin 1665 tonnia (CO<sub>2</sub>-ekv), vaihteluvälin ollessa 1020... 2184tn.

*Taulukko 75, Rakennuksen elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt materiaaleittain. Perustapaus esitetty tummennettuna. Vaihteluväli kuvaa kevyimmän ja raskaimman toteutusvaihtoehdon päästöjä.*

Materiaali	<b>Elinkaari 50 vuotta, Perustapaus CO2-ekv (tn)</b>	Elinkaari 50 vuotta, vaihteluväli min...max (tn)	<b>Elinkaari 100 vuotta, Perustapaus CO2-ekv (tn)</b>	Elinkaari 100 vuotta, vaihteluväli min...max (tn)

Alumiini	92	72... 118	137	108... 176
Betoni, laatta	0	38... 31	0	38... 31
Betoni, ontelolaatta 200mm	13	0... 81	13	0... 81
Betoni, ontelolaatta 250mm	6	0... 0	6	0... 0
Betoni, ontelolaatta 265mm	25	0... 0	25	0... 0
Betoni, ontelolaatta 300mm	4	0... 4	4	0... 4
Betoni, ontelolaatta 370mm	137	0... 0	137	0... 0
Betoni, paalu	21	0... 75	21	0... 75
Betoni, paikallavalettu	64	29... 258	68	29... 263
Betoni, sisäkuori	102	24... 119	102	24... 119
Betoni, ulkokuori	20	12... 83	36	12... 147
Betoni, väliseinä	234	33... 234	234	33... 234
Bitumi	5	5... 5	10	10... 10
CLT	0	29... 0	0	29... 0
EPS	26	19... 104	36	19... 169
Hiekka, sora	2	1... 3	2	1... 3
Kevytsora	15	0... 18	30	0... 36
Kalkkiehkekatili	3	0... 3	3	0... 3
Kipsilevy	12	110... 23	12	118... 23
Kosteuseriste	10	10... 14	15	15... 21
Kupari	8	4... 12	12	6... 18
Laasti	0	0... 0	1	1... 1
Laatta, keraaminen	26	20... 34	40	30... 51
Lasi	25	19... 33	42	31... 54
Lastulevy	74	55... 92	148	110... 184
Maali	14	10... 18	28	21... 36
Mineraalivilla	17	50... 6	30	71... 9
Muovimatto	49	35... 63	98	70... 126
Murske, kivet	1	1... 1	1	1... 1
Parketti	45	32... 58	90	64... 116
PE-muovi	23	29... 16	35	42... 23
Puu	4	17... 4	5	22... 6
Puu, palkki	0	17... 0	0	17... 0
Puu, pilari	0	6... 0	0	6... 0
Rappaus	45	0... 0	90	0... 0
Tasoite	37	2... 5	37	2... 5
Teräs	79	51... 101	124	81... 157
Täyttömaa	0	0... 6	0	0... 6
Vaneri	0	13... 0	0	13... 0
Yhteensä	1236	741... 1620	1670	1022... 2186

## 7 Rakentamisen aikainen materiaalitehokkuus

### 7.1.1 Rakennusmateriaalien hävikin ehkäisy

Edellisessä kappaleessa määritettiin massat rakennusmateriaaleille. Tässä työssä ei ole käsitelty erikseen työmaa-aikaista hukkaa, sillä rakennustyön aikaisen hävikin vaikutus on laskettu mukaan laskennassa käytettyihin ympäristöprofiileihin.

### 7.1.2 Rakennusjätteen määrä

Rakennustyömaiden jätemäärissä voi olla huomattaviakin eroja samankaltaisten kohteiden välillä. Jos jätemääriin kiinnitetään huomiota, voivat jätemäärät olla huomattavan alhaisia. Muussa tapauksessa ne voivat olla huomattavan paljon keskimääräistä kohdetta suuremmat. Aiemmassa tutkimuksessa<sup>34</sup> kerrostalotyömaiden jätemääräksi on mitattu 2...20 kg/brm<sup>3</sup>. Arvoa 2 kg/brm<sup>3</sup> käytetään tässä yhteydessä kuvaamaan erityisen materiaalitehokasta työmaata, ja arvoa 20 kg/brm<sup>3</sup> poikkeuksellisen materiaalitehotonta työmaata.

Rakennusliikkeillä on olemassa omia, sisäisiä ohjeita rakennushankkeiden jätemäärille. Tässä työssä asuinkerrostalotyömaan yhteydessä syntyvän jätemäärän hyvää perustasoa on arvioitu kahden suuren rakennusliikkeen kerrostalotuotannon jätemäärätavoitteisiin perustuen<sup>35</sup>. Uudisrakentamisen jätemäärän hyvän perustason oletetaan tässä työssä olevan välillä 3,0...5,0 kg/brm<sup>3</sup>. Laskennassa käytetään tämän vaihteluvälin keskiarvoa, 4kg/brm<sup>3</sup>.

Rakennusaikaisen jätteen määrä arvioidaan siis kolmella eri skenaariolla?

- materiaalitehokas työmaa 2 kg/brm<sup>3</sup>
- normaalitasoinen työmaa 4 kg /brm<sup>3</sup>
- materiaalitehoton työmaa 20 kg/brm<sup>3</sup>.

#### **Rakennustasoiset jätemäärät eri skenaarioille**

Tarkasteltavan rakennuksen bruttoala on 3056brm<sup>2</sup> ja rakennustilavuus noin 9200brm<sup>3</sup>.

Minimitapauksessa (2kg/brm<sup>3</sup>) rakennusjätteen kokonaismäärä on noin 18,4tn, normaalitapauksessa (4kg/brm<sup>3</sup>) noin 36,8tn ja maksimitapauksessa (20kg/brm<sup>3</sup>) 184tn.

### 7.1.3 Syntyvän jätteen tyyppi

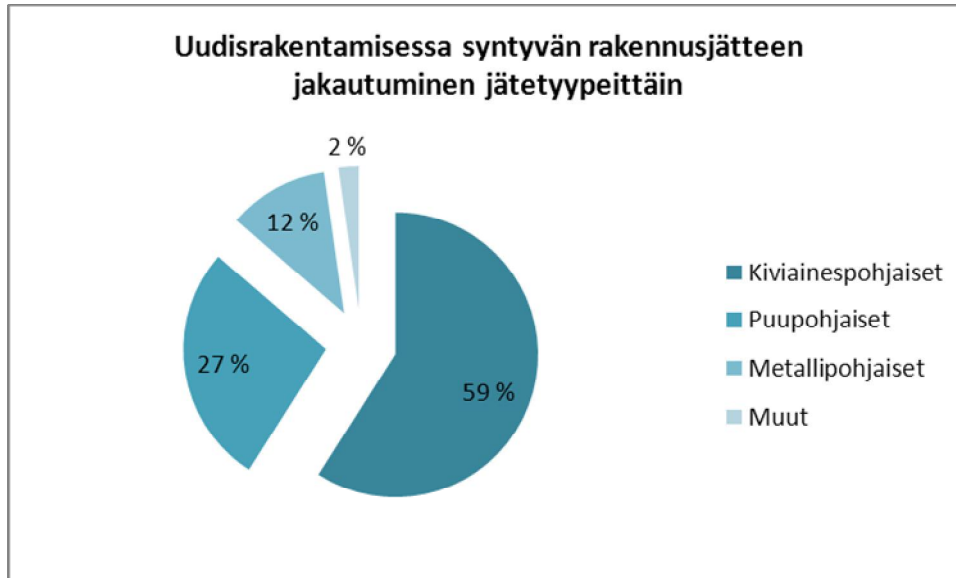
Eri tyyppisissä rakennushankkeissa syntyvän jätteen tyyppi riippuu pääasiassa yksittäisen rakennushankkeen ominaisuuksista, kuten suunnitteluratkaisuista ja rakenteissa käytetyistä materiaaleista. Syntyvän jätteen osalta käytetään

<sup>34</sup> VTT Rakennustekniikka, Rakentamisen jätteet ja niiden hyötykäyttö. Perälä, A.-L., Nippala, E. (1998)

<sup>35</sup> Ympäristöministeriön raportteja 21 | 2011, ”Talonrakentamisen materiaalitehokkuuden edistäminen” Riitta Kojo & Raimo Lilja, 2011. (Myöhemmin YM2011)

perustapauksena uudisrakentamisen jätekoostumuksesta aiemmin tehtyjä arvioita<sup>36</sup>.

Oheinen kuva esittää uudisrakentamisessa syntyvän rakennusjätteen keskimääräistä jakautumista jätetyypeittäin.



Kuva 1, Uudisrakentamisessa syntyvän rakennusjätteen jakautuminen jätetyypeittäin. Muokattu lähteestä.<sup>37</sup>

### Rakennustasoiset jätemäärät eri skanaarioille

Edellä määritettiin rakennuksen jätemäärälle bruttoneliökohtainen arvio. Normaalityypukselle jätemääräksi arvioitiin  $4\text{kg}/\text{brm}^3$ , vaihteluvälin ollessa  $2\text{...}20\text{kg}/\text{brm}^3$ . Kun huomioidaan edellä esitetty jätteen suhteellinen jakauma, voidaan arvioida jätteen määrää jätetyypeittäin, rakennuskuutiota kohden.

Tulokset on koottu oheiseen taulukkoon yksikössä  $\text{kg}/\text{brm}^3$  (kilogrammaa jätettä rakennuskuutiota kohden). Tummennetut arvot kuvaavat normaalia jätemäärää ( $4\text{kg}/\text{brm}^3$ ) ja vaihteluväli jätemäärän minimi- ja maksimiarvoa.

Taulukko 76, tarkasteltavan kohteen rakennusaikaisen jätteen määrä jätetyypeittäin tarkasteltavalle rakennukselle. Vaihteluvälinä jätemäärän minimi- ja maksimitasot, jakaumana uudisrakentamisen keskimääräinen jätejakauma.

Jätetyyppi	Rakennusaikaisen jätteen määrä, perustapaus (tn)	Rakennusaikaisen jätteen määrän vaihteluväli min...max (tn)
Kiviainespohjaiset	22	11... 109
Puupohjaiset	10	5... 50
Metallipohjaiset	4	2... 22

<sup>36</sup> YM2011

<sup>37</sup> YM2011

Muut	1	0... 4
Yhteensä	37	18... 184

## 8 Rakentamisen aikainen energiankulutus

### 8.1.1 Rakennustyömaan energiankulutus

Rakennustyömaan energiankulutus vaihtelee merkittävästi eri kohteiden välillä. Kulutukseen vaikuttavat esimerkiksi rakennuksen tyyppi, laajuus, runkoratkaisu, tuotantotekniset ratkaisut, rakentamisen ajankohta, sekä rakennushankkeen kesto.

Suomessa Sitra on julkaissut selvityksen kerrostalon ilmastovaikutuksista. Tutkimuksessa on esitetty arvio todellisen rakennuksen rakentamisaikaisesta energiankulutuksesta. Selvityksessä tarkastellaan viisikerroksista, elementtirakenteista puukerrostaloa, jonka kantava rakennusrunko on pilaripalkkirunko ja välipohjissa on käytetty betonin ja puun yhdistelmä-rakennetta. Lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan vastaavaa, betonirunkoista rakennusta.

Rakennustyömaan energiankulutus on jaettu maansiirtotöihin kuluvaan (32%) ja muuhun dieseliin (24%), sekä sähköenergiaan (43%). Rakennuksen energiankulutus oli yhteensä 207585 kWh. Rakennuksen bruttoala on 2065brm<sup>2</sup>, joten rakentamisen energiankulutus bruttoneliötä kohden on luokkaa 100kWh/brm<sup>2</sup>. Maansiirtotöiden dieselin osuus on noin 32kWh/brm<sup>2</sup>, muun dieselin 24kWh/brm<sup>2</sup> ja sähköenergian 43kWh/brm<sup>2</sup>.

Myös eräässä ruotsalaistutkimuksessa<sup>38</sup> tarkasteltiin uudisrakennustyömaan rakentamisaikaista energiankulutusta. Tässä tutkimuksessa kerrostalotyömaan rakennusaikaisesta sähköenergiankulutuksesta noin 70% aiheutui työmaan valaistuksesta ja työmaaparakkien lämmityksestä. Loppuosa kuluu mm. nostoihin, hisseihin, rakennusimureihin, lämmittimiin ja sähkötyökalujen käyttöön. Tässä tutkimuksessa tutkittiin erästä 44 asunnon asuinkerrostalotyömaata ja verrattiin sitä kahteen muuhun työmaahan. Tutkimuksessa ei ole huomioitu maansiirtotöiden aiheuttamaa dieselin kulutusta.

Tutkitun työmaan osalta rakennusaikainen sähköenergiankulutus oli 41,1 kWh/brm<sup>2</sup>. Tästä 41% kului työmaaparakkien lämmitysenergiaan, 28% rakennuksen valaistukseen, 4% nostoihin ja 27% muuhun sähkönkulutukseen. Kahden vertailutyömaan sähköenergiankulutus oli 42,1 ja 46,0 kWh/brm<sup>2</sup>.

Lisäksi työmaanaikaiseen lämmitykseen käytettiin kaukolämpöä 21,8 kWh/brm<sup>2</sup>. Kahden vertailutyömaan kaukolämmönkulutus oli 32,5 ja 57,7 kWh/brm<sup>2</sup>. Tuloksista ei pystynyt päättelemään syitä poikkeaviin kulutuslukemiin, mutta lämmönkulutukseen on saattanut vaikuttaa esimerkiksi poikkeavat rakennusaikaiset sääolosuhteet (esim kylmä vs. leuto talvi).

<sup>38</sup> Hatami, V. 2007: Kartläggning av energianvändning under byggfasen vid nyproduktion av flerbostadshus, Examensarbete vid Uppsala universitet.



Tutkimuksen perusteella rakennustyömaan energiankulutus oli noin 63kWh/brm<sup>2</sup>, verrokkityömaiden energiankulutuksen ollessa 75kWh/brm<sup>2</sup> ja 104kWh/brm<sup>2</sup>. Näistä luvuista puuttuu kuitenkin maansiirtotöiden energiankulutuksen osuus.

Jos edellä määritettyä 100kWh/brm<sup>2</sup> energiankulutusta tarkastellaan ilman maansiirtotöiden osuutta, saadaan rakennustyön energiankulutukselle arvoksi 68kWh/brm<sup>2</sup>. Tämä asettuu samalle vaihteluvälille (63...104kWh/brm<sup>2</sup>) edellä esitettyjen tutkimustulosten kanssa.

Rakennustyömaan energiankulutuksen oletetaan tässä yhteydessä olevan suuruusluokaltaan noin 100kWh/brm<sup>2</sup>, vaihteluvälin ollessa energiatehokkaasta energiatehottomaan työmaahan 50...150 kWh/brm<sup>2</sup>.

Tämän tutkimuksen osalta rakennustyömaan energiankulutukselle oletetaan seuraava jakauma:

- maanrakennustöiden dieselin kulutus 15...50kWh/brm<sup>2</sup>
- muiden dieselkoneiden dieselin kulutus 15...35kWh/brm<sup>2</sup>
- sähköenergian kulutus 20...65kWh/brm<sup>2</sup>.

Laskettaessa työmaa-aikaista energiankulutusta koko rakennuksen osalta (3056brm<sup>2</sup>), saadaan tulokseksi 305600 kWh/rakennus.

## 8.1.2 Työmaa-aikaiset hiilidioksidipäästöt

Edellä määritettyjen energiankulutustietojen perusteella voidaan määrittää työmaatoimintojen hiilidioksidipäästöt. Maanrakennustöiden ja muiden dieselkoneiden CO<sub>2</sub>-ekv päästöiksi arvioidaan 0,8kg/kWh<sup>39</sup>, sähköenergian 0,23kg/kWh<sup>40</sup>. Näillä laskentaoletuksilla rakennustyömaan energiankulutuksen päästöille saadaan arvioksi 30...80kg CO<sub>2</sub>-ekv/brm<sup>2</sup>. Päästöistä noin 60% aiheutuu dieselkoneiden 40% sähköenergian käytöstä.

P. Hellsten (2012) on tutkinut diplomityössään<sup>41</sup> toimistorakennustyömaan hiilijalanjälkeä. Työssä työmaa-aikaisten päästöjen määräksi saatiin 61...109 kgCO<sub>2</sub>ekv/brm<sup>2</sup>. Päästölaskennan osana huomioitiin myös materiaalien kuljetukset työmaalle ja laskelma käsitti kolme toimistorakennuskohdetta, joten tulokset eivät ole vertailukelpoiset tässä esitettyjen kanssa. Voidaan kuitenkin havaita, että päästöt asettuvat samaan suuruusluokkaan tässä esitettyjen arvioiden kanssa.

Laskettaessa työmaa-aikaisia päästöjä koko rakennuksen osalta (3056brm<sup>2</sup>), saadaan tulokseksi 90...240 tn CO<sub>2</sub>-ekv/rakennus.

<sup>39</sup> VTT LIPASTO-tietokanta, Työkoneiden keskimääräinen päästö ja energiankulutus tehonkäyttöä kohden Suomessa vuonna 2011, kaivukoneet, tela-alustaiset.

<sup>40</sup> kts kappale "Elinkaarenaikaisen energiankulutuksen kasvihuonekaasupäästöt"

<sup>41</sup> Hellsten, P. 2012 Modeling the carbon footprint of construction processes, diplomityö.

### 8.1.3 Purkutyö

Purkutyön vaatiman energiankulutuksen ja päästöjen arviointi on hankalaa, sillä purku tehdään jopa 100 vuotta rakennuksen rakentamisen jälkeen. Kehitys käytettävissä työmenetelmissä, -koneissa ja polttoaineissa tekee tarkan laskennan haastavaksi. Lisäksi purkumenetelmiä ja uusiokäyttöä on vaikea arvioida: puretaanko rakennus kierrätysmateriaaleiksi, vai käytetäänkö purettuja rakennusosia uudestaan sellaisenaan?

Purkutyön osalta voidaan kuitenkin arvioida, että materiaalien talteenottoon, lajitteluun ja puhdistukseen tullaan kiinnittämään jatkuvasti enemmän huomiota ja materiaalit tullaan hyödyntämään tulevaisuudessa nykyistä tarkemmin.

#### **Purettavat rakennusosat**

Tässä tarkasteltavan esimerkkikerrostalon purkamisesta ajatellaan syntyvän jätettä saman verran kuin siihen on rakentamisvaiheessa käytetty materiaalia. Purkujättemäärään on sisällytetty anturat, alapohja, runko, rakennusrunkoon liittyvät osat sekä talotekniset järjestelmät, joiden yhteismassa perustapauksessa on noin 4 140 t (min 1 870 t, max 5860 t). Rakennusvaiheessa kaivantoihin ja täyttöön käytetyt maa-ainemäärät on jätetty arvion ulkopuolelle. Myös rakennuksen purun yhteydessä käytöstä poistetut kodinkoneet on jätetty arvion ulkopuolelle, sillä niiden osuus rakennuksen kokonaismassasta on vain pienen osan ja ne kierrätetään erikseen sähkö- ja elektroniikkaromuna.

#### **Paalutuksen purku**

Paalutuksen osalta purkutyö on erityisen haastavaa, sillä paalut voivat ulottua jopa 20 metrin syvyyteen perustusrakenteiden alapinnasta. Jos purettavan rakennuksen tilalle ollaan rakentamassa uutta rakennusta, olemassaoleva paalutus poistetaan käytännössä ainoastaan siinä laajuudessa, kuin on välttämätöntä uuden rakennuksen perustusten kannalta.

Paalujen poisto aiheuttaa suuren kustannus- ja aikatauluriskin rakennushankkeeseen. Paalujen poistaminen voi myös aiheuttaa häiriöitä maaperässä ja muutoksia maaperän kantavuudessa poistetun paalun läheisyydessä. Paalujen poiston sijaan yleisimmin käytetty ratkaisu on uusien paalujen asentaminen olemassa olevien paalujen lomaan. Uusi rakennus voidaan myös perustaa olemassa olevien paalujen varaan, mutta olemassa olevan paalutuksen kantokyvyn ja ominaisuuksien tutkiminen ja varmistaminen aiheuttavat myös huomattavia kustannuksia.

Tässä työssä oletetaan, että rakennuspaikalle tehtävän uuden rakennuksen perustukset voidaan paaluttaa olemassa olevien paalujen lomaan, tai että olemassa olevat paalut voidaan hyödyntää uuden rakennuksen perustuksissa. Toisin sanoen, paalujen purkua ei huomioida rakennuksen purun yhteydessä.

#### **Purkutyön energiankulutus**

Tässä yhteydessä purkutyön merkityksellisyydestä kokonaisuuden kannalta tehdään yleistasonen arvio. Arvion taustalla on tutkimus, jossa on tarkasteltu geneerisen, 4600brm<sup>2</sup> laajuisen, kolmikerroksisen toimistorakennuksen purkutyöhön tarvittavaa energiaa. Tutkimuksessa tarkasteltiin puu- ja

betonirakenteisen rakennuksen rakennusrungon purkuun tarvittavaa energiaa, kun rakennus puretaan kierrätyskäyttöön.

Tulokset sisältävät rakennusrungon purkamiseen, osien pilkkomiseen ja työmaalla tehtävien siirtojen energiankulutuksen. Tulosten perusteella betonirunkoisen rakennuksen purkutyöhön kuluu massayksikköä kohden vähemmän energiaa, kuin puurunkoisen rakennuksen purkamiseen. Betonirakenteisen rakennuksen purkuenergiaksi saatiin tutkimuksessa 0,107 MJ/kg ja puurakenteisen rakennuksen 0,42MJ/kg.<sup>42</sup>

Kulutusarvot on ilmaistu lähteenä käytetyssä tutkimuksessa laite- ja polttoainekohtaisesti, joten energiankulutus voidaan muuttaa kasvihuonekaasupäästöiksi VTT:n LIPASTO-tietokannan avulla. LIPASTO:n päästöarvoilla purkutyön kasvihuonekaasupäästöiksi saadaan betonirungolle 7,7kg/tn ja puurungolle 30,5 kg/tn.

Oheiseen taulukkoon on koottu rakennusrungon ja runkoa täydentävien rakenteiden massa perustapauksessa, sekä massan minimi- ja maksimitapauksessa. Massan minimitapaus edustaa pilarirakenteista puurakennetta ja maksimitapaus paikallavalettua betonirakennetta.

*Taulukko 77, Purettavien rakenteiden massat*

	Perustapaus (tn)	Kevyet rakenteet (tn)	Raskaat rakenteet (tn)
Perustukset	292	164	460
Alapohja	286	232	407
Runko	2635	1155	3621
Liittyvät rakenteet	757	303	829
	<i>3970</i>	<i>1854</i>	<i>5317</i>

Purkulaskelmissa perustukset ja alapohja oletetaan kaikissa tapauksissa betonisiksi. Runko on perustapauksessa ja maksimitapauksessa betonia, minimitapauksessa puuta. Runkoa täydentävät rakenteet mallinnetaan kaikissa tapauksissa puoliksi betonisiksi, puoliksi puisiksi rakenteiksi. Oheiseen taulukkoon on koottu purkumäärät edellä esitetyillä laskentaoletuksilla jaoteltuna.

*Taulukko 78, Purettavien rakenteiden purkumäärät materiaaleittain*

	Perustapaus (tn)	Kevyet rakenteet (tn)	Raskaat rakenteet (tn)
Purkutyö, puu	379	152	414
Purkutyö, betoni	3592	1703	4903

<sup>42</sup> Demolition energy analysis of office building structural systems, The Athena Sustainable Materials Institute, 1997

	3970	1854	5317
--	------	------	------

### **Purkutyön kasvihuonekaasupäästöt**

Kun edellisen taulukon purkutyömäärät kerrotaan puurakenteiden (30,5kg/tn) ja betonirakenteiden (7,7kg/tn) purkutyön päästöillä, saadaan tarkasteltavan kohteen purkutyön kasvihuonekaasupäästöiksi perustapauksessa 40tn, päästöjen ollessa kevyimmälle ja raskaimmalle rakenteelle noin 50tn.

Purkutyön aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt voivat siis vaihdella noin välillä 40tn...50tn, jos materiaalit puretaan kierrätyskäyttöön.

### **Purku uusiokäyttöön**

Edellä tarkastellussa purkuvaihtoehdossa purettavat materiaalit lajitellaan toisistaan, käsitellään ja lastataan kuljetusta varten. Edellä mainitussa tutkimuksessa on tarkasteltu myös purkua uusiokäyttöön, jolloin rakennusosat puretaan kokonaisina, varastoidaan työmaalle, ja lastataan kuljetusta varten. Tässä vaihtoehdossa betoni murskataan työmaalla uusiokäyttöä varten.

Puurakennuksen osalta purku uusiokäyttöön aiheuttaa 20% pienemmän energiankulutuksen, kuin purku kierrätyskäyttöön. Betonirakennuksella tilanne on päinvastainen, johtuen pääosin betonin murskaamisesta työmaalla, purun uusiokäyttöön aiheuttaessa noin 15% kierrätyskäyttöä suuremman energiankulutuksen.

Näin edellä mainitut purkutyön päästöt olisivat uusiokäytölle perustapauksessa noin 50tn, vaihteluvälin ollessa minimitapauksesta maksimiin noin 30...70tn.

### **Yhteenveto purkutöistä**

Purkutöiden kasvihuonekaasupäästöiksi määritettiin edellä 30...70tn, riippuen purkutavasta ja purettavasta rakenteesta. On kuitenkin huomattava, ettei tuloksissa ole huomioitu erikseen työmaan ja työmaatilojen sähköistystä, valaistusta ja mahdollista lämmitystä.

Edellä esitettiin uudisrakentamisen osalta, että nämä voivat muodostaa merkittävän (jopa 80% osuuden) rakentamisen energiankulutuksesta. Näin ollen voidaan perustellusti olettaa, että myös purkutöihin tulee näistä merkittävä lisä. Tässä yhteydessä oletetaan että purkutöiden kokonaispäästöt, työmaatilojen ja työmaan lämmitys ja valaistus, sekä työmaatilojen sähköistys huomioon ottaen, ovat noin kolmanneksen edellä esitettyjä lukuja suuremmat.

Näin purkutöiden kasvihuonekaasupäästöjen arvioidaan olevan välillä 40...90tn/rakennus.

## **8.1.4 Korjausrakentamisen energiankulutus**

Tässä työssä korjausten energiankulutusta elinkaaren aikana arvioidaan yksinkertaisella arviolla, jossa korjausrakentamisen energiankulutuksen arvona käytetään edellä määritettyjä arvoja purkutyön ja rakentamisen energiankulutukselle ja päästöille. Todellisuudessa tarkkojen arvioiden tekeminen

korjausrakentamisesta on hyvin haastavaa, sillä tulevaisuudessa tapahtuvien korjausten työsisältö, sekä niissä käytettävät materiaalit ja työmenetelmät ovat hankalia määrittää.

Edellä määritettiin uudisrakentamisen päästöiksi rakennustasolla 90...240tn, josta noin 40% on sähköenergian kulutuksen päästöjä. Dieselkäyttöisten koneiden osuuden 50...140tn arvioidaan pysyvän tulevaisuudessa samana, mutta sähköenergian päästöjen oletetaan laskevan tulevaisuudessa 80% nykytasosta (kts. kappale ”elinkaarenaikaisen energiankulutuksen kasvihuonekaasupäästöt). Näin tulevaisuudessa tapahtuvalle uudisrakentamiselle saadaan päästöarvioksi noin 60...160tn/rakennus. Tätä lukua käytetään arvioitaessa korjausrakentamisen energiankulutusta.

Korjausrakentamiseen liittyy myös olemassa olevien rakenteiden purku. Edellä esitetyissä korjausarvioissa oletettiin purkutyön kasvihuonekaasupäästöjen olevan suuruusluokkaa 40... 90tn/rakennus. Tätä arviota käytetään apuna korjausrakentamisen purkutöiden päästöjen arvioinnissa.

Korjausten kokonaismassaksi laskettiin edellä 470tn (50 vuoden elinkaari) ja 990tn (100 vuoden elinkaarella), rakennuksen massan ollessa 4390tn. Korjausten massa on siis noin 10%:a rakennuksen massasta 50 vuoden elinkaarella ja 20% rakennuksen massasta 100 vuoden elinkaarella.

Tässä yhteydessä arvioidaan, että korjausrakentamisen energiankulutus vastaa uudisrakentamisen ja purkutyön energiankulutusta, suhteessa näiden massoihin. Näin korjausrakentamisen energiankulutukseksi arvioidaan 10% uudisrakentamisen ja purkutyön energiankulutuksesta 50 vuoden elinkaarella ja 20% 100 vuoden elinkaarella.

Korjausrakentamisen energiankulutukselle saadaan siis arvoksi 50 vuoden elinkaarelle: purkutyö 4... 9tn, korjaustyö 6... 16tn, yhteensä 10... 15tn (CO<sub>2</sub>-ekv). Arvio 100 vuoden elinkaarelle on vastaavasti yhteensä 20... 30tn (CO<sub>2</sub>-ekv).

Korjausrakentamisen energiankulutuksesta aiheutuvien päästöjen suuruusluokaksi arvioidaan tässä yhteydessä 10... 15tn (CO<sub>2</sub>-ekv) 50 vuoden elinkaarella ja 20... 30tn (CO<sub>2</sub>-ekv) 100 vuoden elinkaarella.

### 8.1.5 Yhteenveto, rakentamisen ja korjausten elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt

Edellä määritettiin rakentamisen CO<sub>2</sub>-ekv päästöiksi 90... 240tn, korjausrakentamisen CO<sub>2</sub>-ekv päästöiksi 10... 15tn (50v) ja 20... 30tn (100v) ja elinkaaren lopussa tapahtuvan purkutyön päästöiksi 40... 90tn.

Yhteensä rakentamisen, korjaamisen ja purkutyön päästöiksi arvioidaan tässä, edellisten perusteella 50 vuoden elinkaarella 140... 345tn (CO<sub>2</sub>-ekv) ja 100 vuoden elinkaarella 150... 360tn (CO<sub>2</sub>-ekv).

## 9 Yhteenveto rakennuksen elinkaarenaikaisten päästöjen muodostumisesta

Edellisissä kappaleissa määritettiin rakentamisen ja korjausten materiaalituotannon, sekä rakentamisen, korjausten ja purun aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. Tuloksissa ei ole huomioitu jätteiden kuljetuksen ja käsittelyn aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä.

Tulokset on koottu oheiseen taulukkoon.

*Taulukko 79, rakennuksen elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt 50:n ja 100 vuoden elinkaarella, tn CO<sub>2</sub>-ekv.*

	<b>Perustapaus (tn)</b>	Vaihteluväli min...max (tn)
Rakentamisen materiaalien kasvihuonekaasupäästöt	955	530... 1265
Korjausrakentamisen materiaalien kasvihuonekaasupäästöt (elinkaari 50 vuotta)	281	211... 354
Korjausrakentamisen materiaalien kasvihuonekaasupäästöt (elinkaari 100 vuotta)	715	490... 919
Rakentamisen, korjausten ja purun energiakulutuksen päästöt (elinkaari 50 vuotta)	240	140... 345
Rakentamisen, korjausten ja purun energiakulutuksen päästöt (elinkaari 100 vuotta)	255	150... 360
Yhteensä (elinkaari 50 vuotta)	1476	881... 1964
Yhteensä (elinkaari 100 vuotta)	1925	1170... 2544

## 10 Rakennuksen energiatehokkuuden ja sijainnin vaikutus elinkaarenaikaiseen energiankulutukseen

Tässä tarkastelussa tutkitaan A-energialuokan, passiivitason, lähes nolla-energiatason, nollaenergiatason ja plusenergiatason rakennuksia.

Kaikkien rakennusten osalta tarkastellaan myös tilannetta, joissa ne sijaitsevat maantieteellisesti eri paikoissa, eli Suomen etelä-, keski- tai pohjoisosassa.

### 10.1.1 Rakennuksen sijainnin huomiointi laskelmissa

Rakennusten energiatodistusten laskennassa rakennusten energiankulutus lasketaan aina käyttäen RakMk osan D5/2007 Liite 1 säävyöhyke III (Jyväskylän-Luonetjärvi) mukaisia säätietoja. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että

energiatodistuksen sisältämä energiatehokkuusluku on aina suhteutettu Jyväskylän sähkään, jolloin eri puolilla Suomea olevat rakennukset ovat vertailtavissa.<sup>43</sup>

Tässä kohdassa tarkastellaan sijainnin vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen. Laskenta tehdään sijoittamalla sama rakennus Helsinkiin, ja Jyväskylään ja laskemalla kullekin tapaukselle energiankulutus. Laskenta tehdään soveltamalla energiatodistusoppaassa ja KH-kortissa ”Lämmitystarveluku”<sup>44</sup> esitettyä energiankulutuksen normituksen laskentakaavaa.

KH-kortiston kaava 2 kuvaa laskentatavan, jolla voidaan verrata eri puolilla Suomea sijaitsevien rakennusten kulutuksia sijoittamalla ne Jyväskylän säävyöhykkeelle.

$Q_{\text{norm}} = k_2 * S_{N \text{ vpkunta}} / S_{\text{tot vpkunta}} * Q_{\text{tot, tilat}} + Q_{\text{lämmin kv}}$ , jossa:

$Q_{\text{norm}}$  = rakennuksen toteutunut lämmitysenergiankulutus muunnettuna vastaamaan Jyväskylän säävyöhykkeen normaalivuoden mukaista lämmitystarvelukua (kWh /vuosi)  
 $k_2$  = paikkakunta-kohtainen korjauskerroin Jyväskylään  
 $S_{N \text{ vpkunta}}$  = normaalivuoden (1971-2000) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla °Cd  
 $S_{\text{tot vpkunta}}$  = toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla °Cd  
 $Q_{\text{tot, tilat}}$  = toteutunut tilojen lämmitysenergian kulutus (kWh /vuosi)  
 $Q_{\text{lämmin kv}}$  = lämpimän käyttöveden energiankulutus (kWh /vuosi)

Tässä yhteydessä kaavaa yksinkertaistetaan olettamalla, että vertailupaikkakunnan toteutunut lämmitystarveluku vastaa normaalivuotta, jolloin kaava supistuu muotoon:

$$Q_{\text{norm}} = k_2 * Q_{\text{tot, tilat}} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$$

Kun lisäksi huomioidaan, että  $Q_{\text{norm}}$  sisältää sekä tilojen lämmityksen  $Q_{\text{norm, tilat}}$ , että käyttöveden lämmityksen  $Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$ , voidaan kaava kirjoittaa lyhyesti muotoon:

$$Q_{\text{norm, tilat}} = k_2 * Q_{\text{tot, tilat}}$$

Koska tässä yhteydessä ei muunneta rakennuksia vastaamaan Jyväskylän säävyöhykettä, vaan rakennuksia muutetaan Jyväskylän vyöhykkeen mukaisista laskelmista muille paikkakunnille, voidaan kaava kirjoittaa muotoon:

$$Q_{\text{tot, tilat}} = Q_{\text{norm, tilat}} / k_2$$

kaavassa ” $Q_{\text{tot, tilat}}$ ” on siis laskettavan paikkakunnan tilojen lämmitykseen tarvittava energia, ” $Q_{\text{norm, tilat}}$ ” on tilojen lämmitykseen Jyväskylän säävyöhykkeellä kuluva energia ja  $k_2$  on paikkakunta-kohtainen kerroin.

<sup>43</sup>Energiatodistusopas 2007, Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuusluvun määrittäminen, Ympäristöministeriö, 2.7.2007

<sup>44</sup>KH 20-00477, Lämmitystarveluku, Rakennusten energiankulutuksen seuranta. Rakennustietosäätiö RTS 2001.

Kaavan paikkakunta-kohtaiset  $k_2$ -arvot ovat seuraavat<sup>45</sup>:

- Helsinki 1,24
- Jyväskylän säävyöhyke 1,00.

Kaavaa käytetään myöhemmissä kohdissa, laskettaessa tilojen lämmityksen energiatarvetta eri paikkakunnilla sijaitsevalle rakennukselle.

### 10.1.2 Lämpimän käyttöveden energiankulutus ja rakennuksen sähköenergiankulutus

Rakennuksen lämpimän käyttöveden ja sähköenergian kulutus oletetaan Suomen rakentamismääräyskokoelmassa esitettyjen laskenta-arvojen mukaisiksi.

Kerrostalon oletetaan kuluttavan lämmintä käyttövettä  $600 \text{ dm}^3/\text{brm}^2$  vuodessa ja tämän lämmitykseen oletetaan kuluvan energiaa vastaavasti  $35 \text{ kWh}/\text{brm}^2$ .<sup>46</sup>

Rakennuksen vuotuinen sähköenergiankulutus valaistuksen, ilmanvaihdon ja muiden laitteiden osalta arvioidaan rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennasta annetun ohjeen<sup>47</sup> mukaisesti olevan  $50 \text{ kWh}/\text{brm}^2$  vuodessa. Valaistusjärjestelmän osuus tästä on  $7 \text{ kWh}/\text{brm}^2$ , ilmanvaihtojärjestelmän  $10 \text{ kWh}/\text{brm}^2$  ja muiden laitteiden  $33 \text{ kWh}/\text{brm}^2$ .

Asuinhuoneistojen sähköenergiankulutuksen arviointiin käytetään yksittäisen kerrostalokohteen tietoja kodinkoneista ja laitteista, sekä SRMK D5:n mukaisia, laitekohtaisia kulutuksia. Näiden perusteella laskettu asuinhuoneistojen laitesähkön kulutus on tarkasteltavalle kohteelle  $62700 \text{ kWh}$  vuodessa, joka vastaa rakennustasolla noin  $21 \text{ kWh}/\text{brm}^2$  suuruista kulutusta. Edellä määritettiin rakennustasolla ”muiden laitteiden” sähköenergiankulutukselle arvoksi  $33 \text{ kWh}/\text{brm}^2$ , sisältäen huoneistosähkön kulutuksen ja kiinteistösähkön. Kun tästä vähennetään huoneistosähkön osuus ja loppu oletetaan kiinteistösähköksi, saadaan kiinteistösähkön vuosikulutukselle arvoksi  $12 \text{ kWh}/\text{brm}^2$ .

Asuinhuoneistojen valaistuksen arviointiin käytetään SRMK D5:n mukaista laskentaohjetta. Tämän mukaisesti asuinhuoneistojen valaistukseen kuluu kohteessa vuositasolla  $14100 \text{ kWh}$  sähköenergiaa, joka vastaa rakennustasolla noin  $5 \text{ kWh}/\text{brm}^2$  suuruista kulutusta. Edellä määritettiin rakennustason valaistusenergian kulutukselle arvoksi  $7 \text{ kWh}/\text{brm}^2$ . Kun tästä vähennetään huoneistojen valaistuksen osuus, ja loppu oletetaan kiinteistösähköksi, saadaan kiinteistösähkön valaistuksen osuuden vuosikulutukselle arvoksi  $2 \text{ kWh}/\text{brm}^2$ .

Ilmanvaihdon osalta oletetaan, että koko ilmanvaihdon energiankulutus on kokonaisuudessaan kiinteistösähköä. Näin kiinteistösähkön ilmanvaihdon sähkökulutuksen osuus on  $10 \text{ kWh}/\text{brm}^2$ .

<sup>45</sup> KH 20-00477, Lämmitystarveluku, Rakennusten energiankulutuksen seuranta. Rakennustietosäätiö RTS 2001. Taulukko 2.

<sup>46</sup> D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma: -Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012, Ympäristöministeriö. Taulukko 5.

<sup>47</sup> D5 –Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet 2007, Ympäristöministeriö. Taulukko 7.1



Sähkön kulutustiedot rakennuksen osalta on koottu oheiseen taulukkoon.

*Taulukko 80 Sähkön kulutus*

Energian käyttökohde	Kiinteistösähkö kWh/brm <sup>2</sup>	Huoneistosähkö kWh/brm <sup>2</sup>
Ilmanvaihdon energia	10	-
Valaistus	2	5
Muut laitteet	12	21
Yhteensä	24	26

### 10.1.3 A-energialuokan rakennus

A-energialuokan asuinkerrostalo on energiatodistusoppaan<sup>48</sup> luokitusperusteiden mukaan korkeintaan 100 kWh/brm<sup>2</sup> vuodessa. Tässä laskennassa oletetaan, että A-energialuokan kerrostalon kulutus on maksimiarvoa vastaava, 100kWh/brm<sup>2</sup> vuodessa.

Energiatodistuksen mukaisen energiatehokkuusluvun laskennassa huomioidaan paitsi kiinteistön lämmitysenergiankulutus, myös kiinteistösähkö ja jäähdytysenergia.

Tarkasteltavan kohteen kiinteistösähkön kulutusarvona käytetään arvoa, 24 kWh/brm<sup>2</sup> ja käyttöveden lämmityksen energiatarpeena arvoa, 35 kWh/brm<sup>2</sup>. Tarkasteltavassa kohteessa ei ole jäähdytystä.

Kiinteistön lämmitysenergiatarve muodostuu tilojen ja käyttöveden lämmitystarpeesta. Vähentämällä A-energialuokan rakennuksen energian kokonaiskulutuksesta, 100kWh/brm<sup>2</sup>, kiinteistösähkön ja lämpimän käyttöveden kulutusarvot, saadaan tilojen lämmitykselle maksimiarvoksi 41 kWh/brm<sup>2</sup>.

Tilojen lämmityksen arvo 41 kWh/brm<sup>2</sup> kuvaa tilannetta Jyväskylän säävyöhykkeellä. Kappaleessa 15.1 esitetyn mukaisesti tilojen lämmitykseen kuluva energia on vastaavasti Helsingissä 33 kWh/brm<sup>2</sup>.

Oheiseen taulukkoon on koottu A-energialuokan kerrostalon energiankulutustiedot.

*Taulukko 81 A-energialuokan kerrostalon energiankulutustiedot*

Energian käyttökohde	Energiatarve vuodessa (Helsinki) kWh/brm <sup>2</sup>	Energiatarve vuodessa (Jyväskylä) kWh/brm <sup>2</sup>
Tilojen lämmitys	33	41
Lämmin käyttövesi	35	35
Kiinteistösähkö	24	24

<sup>48</sup> Energiatodistusoppas 2007, Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuusluvun määrittäminen, Ympäristöministeriö, 2.7.2007

Yhteensä	92	100
Huoneistösähkö	26	26
Yhteensä ml. huoneistösähkö	118	126

#### 10.1.4 Passiivitasoinen kerrostalo

Passiivitasoinen kerrostalo määritellään tilojen lämmityksen vaatiman lämmitysenergiatarpeen, kokonaisprimäärienergiatarpeen ja ilmatiiveyden avulla. Suomi on jaettu kolmeen säävyöhykkeeseen, joilla on myös poikkeavat passiivitalon määritelmät.

Seuraavaan taulukkoon on listattu suomalaisen passiivitalon kriteerit<sup>49</sup>.

*Taulukko 82 Passiivitalon kriteerit*

	etelärannikko	maan keskiosassa	maan pohjoisosassa
lämmitysenergiatarve (kWh/brm <sub>2,a</sub> )	≤ 20	≤ 25	≤ 30
kokonaisprimäärienergiatarve (kWh/brm <sub>2,a</sub> )	≤ 130	≤ 130	≤ 130
ilmavuotoluku n <sub>50</sub> (1/h)	≤ 0.6	≤ 0.6	≤ 0.6

Tässä yhteydessä oletetaan että passiivitasoinen kerrostalo kuluttaa etelässä (Helsinki) 20 kWh/brm<sup>2</sup> ja maan keskiosassa (Jyväskylä) 25 kWh/brm<sup>2</sup>. Primäärienergia- ja ilmanvuotovaatimuksia ei oteta tässä kohdassa erikseen huomioon.

Lisäksi oletetaan, että passiivitasoinen kerrostalo kuluttaa kiinteistö- ja huoneistösähköä ja käyttöveden lämmityksen energiaa saman verran kuin A-energialuokan kerrostalo.

Oheiseen taulukkoon on koottu passiivikerrostalon energiankulutustiedot.

*Taulukko 83 Passiivikerrostalon energiankulutustiedot*

Energian käyttökohde	Energiatarve vuodessa (Helsinki) kWh/brm <sup>2</sup>	Energiatarve vuodessa (Jyväskylä) kWh/brm <sup>2</sup>
Tilojen lämmitys	20	25
Lämmin käyttövesi	35	35
Kiinteistösähkö	24	24
Yhteensä	79	84
Huoneistösähkö	26	26

<sup>49</sup> Suomalaisen passiivitalon määritelmä on saatavilla osoitteesta: [www.passiivi.info/download/passiivitalon\\_maaritelma.pdf](http://www.passiivi.info/download/passiivitalon_maaritelma.pdf)

Yhteensä ml. huoneistosähkö	105	110
-----------------------------	-----	-----

### 10.1.5 Lähes nollaenergiatasoinen kerrostalo

Lähes nollaenergiatasoinen kerrostalo tarkoittaa tässä yhteydessä ratkaisua, jossa rakennus on passiivitasoinen, ja sen lisäksi rakennuksessa tuotetaan mahdollisimman suuri määrä uusiutuvaa energiaa. Uusiutuva energia tuotetaan katolle ( $334\text{m}^2$ ) ja eteläjulkisivulle ( $354\text{m}^2$ ) sijoitettavilla aurinkokeräimillä ja – paneeleilla.

Aurinkolämmön mitoituksen osalta oletetaan, että:

- aurinkolämmöllä voidaan tuottaa 50% lämpimän käyttöveden vaatimasta energiasta
- aurinkoenergialla tuotettavan energian kokonaismäärä rakennuksessa on noin  $53480\text{kWh/a}$  (laskettu kaavalla  $0,5 \cdot \text{bruttoala} \cdot \text{lämpimän käyttöveden tarve bruttoneliölle}$ )
- tätä vastaava energia voidaan tuottaa  $153\text{m}^2$  kattokeräimillä, keräimen tehon ollessa noin  $350\text{kWh/m}^2/\text{a}$ .
- lisäksi tarvitaan  $4\text{ m}^3$ -kokoinen varaaja lämpimälle vedelle.

Aurinkolämmöllä voidaan siis tuottaa lämpimän käyttöveden energiaa noin  $17,5\text{kWh/brm}^2, \text{ a}$ .

Aurinkosähkön osalta oletetaan, että:

- katon pinta-alasta 50% ( $167\text{m}^2$ ) voidaan käyttää aurinkokeräin- ja paneeliasennuksiin
- aurinkolämpöasennusten viedessä  $153\text{m}^2$ , jää aurinkopaneeliasennuksille tilaa noin  $14\text{m}^2$
- eteläjulkisivulle voidaan asentaa aurinkopaneelia koko julkisivu-alalle ( $354\text{m}^2$ )
- näillä oletuksilla aurinkopaneelin kokonaispinta-alaksi tulee noin  $368\text{m}^2$ , ja vuosituotoksi  $36800\text{kWh}$ .

Aurinkosähköllä voidaan siis tuottaa sähköenergiaa noin ( $368000\text{kWh}/3056\text{brm}^2$ )  $12,0\text{ kWh/brm}^2, \text{ a}$ .

Oheiseen taulukkoon on koottu passiivikerrostalon energiankulutustiedot, joista on vähennetty edellä esitetty aurinkolämmön tuottama lämpimän käyttöveden energia, sekä aurinkosähköllä tuotettu osuus on vähennetty kiinteistösähkön määrästä.

Energian käyttökohde	Energiatarve vuodessa (Helsinki) $\text{kWh/brm}^2$	Energiatarve vuodessa (Jyväskylä) $\text{kWh/brm}^2$
Tilojen lämmitys	20	25
Lämmin käyttövesi	17,5	17,5
Kiinteistösähkö	12	12
Yhteensä	49,5	54,5
Huoneistosähkö	26	26

Yhteensä ml. huoneistosähkö	75,5	80,5
-----------------------------	------	------

### 10.1.6 Energian kokonaiskulutus elinkaaren aikana

Tässä kappaleessa tarkastellaan rakennuksen energian kokonaiskulutusta sen elinkaaren aikana, energiatehokkuuden vaihdellessa A-energialuokasta lähes passiivitasoon ja elinkaaren ollessa 50 ja 100 vuotta.

Tilojen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden vaatiman energian tarve on laskettu tässä yhteen. Samoin kiinteistö- ja huoneistosähkötarpeet on yhdistetty.

Seuraavaan taulukkoon on koottu rakennusten bruttoneliökohtaiset energiankulutustiedot eri rakennuksille.

*Taulukko 84, Bruttoneliökohtaiset energiankulutukset eri rakennustyypeille. Tulokset ilmoitettu yksikkönä kWh/brm<sup>2</sup>, rakennuksen sijaitessa Helsingissä tai Jyväskylässä*

A-energialuokka		
Tilojen lämmitys	33	41
Lämmin käyttövesi	35	35
Sähkö	50	50
Yhteensä	118	126
Passiivitaso		
Tilojen lämmitys	20	25
Lämmin käyttövesi	35	35
Sähkö	50	50
Yhteensä	105	110
Lähes nollaenergiataso		
Tilojen lämmitys	20	25
Lämmin käyttövesi	17,5	17,5
Sähkö	38	38
Yhteensä	75,5	80,5

Taulukosta nähdään, että rakennuksen bruttoneliökohtainen energiantarve voi vaihdella välillä 75,5...126 kWh/brm<sup>2</sup>, a, paikkakunnan vaihdellessa Helsingistä Jyväskylään ja energiatehokkuuden passiivitasosta A-luokkaan.

Seuraavaan taulukkoon on koottu rakennustasoinen, vuotuinen energiankulutus eri rakennuksille (bruttoalan ollessa 3056brm<sup>2</sup>).

*Taulukko 85, Rakennuskohtaiset energiankulutukset eri rakennustyypeille. Tulokset ilmoitettu yksikkönä MWh/rakennus, rakennuksen sijaitessa Helsingissä tai Jyväskylässä*

	Energiatarve (Helsinki)	Energiatarve (Jyväskylä)
Energian käyttö	MWh/rakennus	MWh/rakennus

A-energialuokka		
Tilojen lämmitys	101	125
Lämmin käyttövesi	107	107
Sähkö	153	153
Yhteensä	361	385
Passiivitaso		
Tilojen lämmitys	61	76
Lämmin käyttövesi	107	107
Sähkö	153	153
Yhteensä	321	336
Lähes nollaenergiataso		
Tilojen lämmitys	61	76
Lämmin käyttövesi	53	53
Sähkö	116	116
Yhteensä	231	246

Taulukosta nähdään, että rakennuskohtainen energiantarve voi vaihdella välillä 230... 385 MWh/a, paikkakunnan vaihdellessa Helsingistä Jyväskylään ja energiatehokkuuden passiivitasosta A-luokkaan.

Elinkaarilaskelmia varten rakennuksen käyttöiäksi määritellään 50 ja 100 vuotta. Ensimmäinen taulukko kuvaa rakennuksen koko elinkaarenaikaista energiankulutusta 50:n vuoden ja jälkimmäinen 100 vuoden elinkaarella.

*Taulukko 86, Rakennuksen energiantarve 50 vuoden elinkaaren aikana*

Energian käyttö	Rakennuksen energiantarve, elinkaari 50 vuotta (Helsinki) MWh/rakennus	Rakennuksen energiantarve, elinkaari 50 vuotta (Jyväskylä) MWh/rakennus
A-energialuokka		
Tilojen lämmitys	5050	6250
Lämmin käyttövesi	5350	5350
Sähkö	7650	7650
Yhteensä	18050	19250
Passiivitaso		
Tilojen lämmitys	3050	3800
Lämmin käyttövesi	5350	5350
Sähkö	7650	7650
Yhteensä	16050	16800

Lähes nollaenergiataso		
Tilojen lämmitys	3050	3800
Lämmin käyttövesi	2650	2650
Sähkö	5800	5800
Yhteensä	11550	12300

Taulukosta nähdään, että rakennuskohtainen energiantarve voi vaihdella 50 vuoden elinkaarella välillä 11550...19250 MWh, paikkakunnan vaihdellessa Helsingistä Jyväskylään ja energiatehokkuuden passiivitasosta A-luokkaan.

*Taulukko 87, Rakennuksen energiantarve 100 vuoden elinkaaren aikana*

	Rakennuksen energiantarve, elinkaari 100 vuotta (Helsinki) MWh/rakennus	Rakennuksen energiantarve, elinkaari 100 vuotta (Jyväskylä) MWh/rakennus
Energian käyttö		
A-energialuokka		
Tilojen lämmitys	10100	12500
Lämmin käyttövesi	10700	10700
Sähkö	15300	15300
Yhteensä	36100	38500
Passiivitaso		
Tilojen lämmitys	6100	7600
Lämmin käyttövesi	10700	10700
Sähkö	15300	15300
Yhteensä	32100	33600
Lähes nollaenergiataso		
Tilojen lämmitys	6100	7600
Lämmin käyttövesi	5300	5300
Sähkö	11600	11600
Yhteensä	23100	24600

Taulukosta nähdään, että rakennuskohtainen energiantarve voi vaihdella 100 vuoden elinkaarella välillä 23100...38500 MWh, paikkakunnan vaihdellessa Helsingistä Jyväskylään ja energiatehokkuuden passiivitasosta A-luokkaan.

## 11 Elinkaarenaikaisen energiankulutuksen kasvihuonekaasupäästöt

Edellisessä kappaleessa määritettiin tarkasteltavan rakennuksen elinkaarenaikainen energiatarve. Tässä kappaleessa määritetään energiantuotannosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt 50 vuoden elinkaarelle.

Tarkastelujakson pituutta ei ole järkevää kasvattaa 100 vuoteen, tulevaisuuden energiantuotantomenetelmiin ja hajautettujen ratkaisujen hyödyntämiseen liittyvän suuren epävarmuuden vuoksi. Sadan vuoden tarkastelujakson laskentajakson tulokset on kuitenkin esitetty tässä kappaleessa.

Tämän kappaleen laskelmat perustuvat TEM:in tekemään arvioon sähkön- ja lämmöntuotannon kasvihuonekaasupäästöistä vuosina 2010, 2020 ja 2030<sup>50</sup>. Elinkaaren (50 vuotta) loppujakso lasketaan vuoden 2030 päästöprofiililla.

*Taulukko 88, Sähkön ja lämmön kasvihuonekaasupäästöt vuosille 2010, 2020 ja 2030, energiamenetelmään perustuen<sup>51</sup>.*

Kasvihuonekaasupäästöt g CO <sub>2</sub> /kWh	2010	2020	2030
Sähkö	230	179	36
Kaukolämpö	243	216	191

Keskimääräiset kasvihuonekaasupäästöt 50 vuoden ajalle (2013-2053) ovat edellisen taulukon perusteella 92g/kWh sähkölle ja 203,3g/kWh kaukolämmölle.

Edellisessä kappaleessa määritettiin tarkasteltavan rakennuksen elinkaarenaikainen energiankulutus 50 vuoden elinkaarelle. Kun elinkaarenaikaiset kulutukset kerrotaan edellä esitetyillä päästöprofileilla, saadaan elinkaarenaikaisen energiankulutuksen kasvihuonekaasupäästöt määritettyä.

Tulokset on koottu oheiseen taulukkoon.

*Taulukko 89, Elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt energiankulutuksesta 50 vuoden elinkaarelle. Tonnia kasvihuonekaasupäästöjä/rakennus.*

Energian käyttö	Khk-päästöt (Helsinki) tn/rakennus	Khk-päästöt (Jyväskylä) tn/rakennus
A-energialuokka		
Tilojen lämmitys	1027	1271
Lämmin käyttövesi	1088	1088
Sähkö	702	702
Yhteensä	2817	3061
Passiivitaso		

<sup>50</sup> preliminary information received from TEM 13.4.2012 (Bettina Lemström).

<sup>51</sup> preliminary information received from TEM 13.4.2012 (Bettina Lemström).

Tilojen lämmitys	620	772
Lämmin käyttövesi	1088	1088
Sähkö	702	702
Yhteensä	2410	2562
Lähes nollaenergiataso		
Tilojen lämmitys	620	772
Lämmin käyttövesi	539	539
Sähkö	532	532
Yhteensä	1691	1843

Taulukon perusteella nähdään, että tarkasteltavan rakennuksen käytönaikaisen energiankulutuksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ovat 50 vuoden elinkaarella 1691...1843 tonnia/rakennus, energialuokan vaihdellessa lähes nollaenergiatasosta A-energialuokkaan, ja paikkakunnan Helsingistä Jyväskylään.

Passiivitasoinen rakennus aiheuttaa noin 14% (407tn) pienemmät kasvihuonekaasupäästöt 50 vuoden elinkaaren aikana, A-energialuokan rakennukseen verrattuna.

Lähes nollaenergiatasoinen rakennus aiheuttaa puolestaan noin 33% (791tn) pienemmät kasvihuonekaasupäästöt 50 vuoden elinkaaren aikana, passiivitasoiseen rakennukseen verrattuna.

Seuraavassa taulukossa on esitetty elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt energiankulutuksesta sadan vuoden elinkaaren aikana. On kuitenkin huomattava, että sadan vuoden tarkastelujakson tuloksiin liittyy huomattava epävarmuus, sillä energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöjen määrittämistä 100 vuoden ajanjaksolla ei voida tehdä luotettavasti.

*Taulukko 90, Elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt energiankulutuksesta 100 vuoden elinkaarelle. Tonnia kasvihuonekaasupäästöjä/rakennus.*

Energian käyttö	Khk-päästöt (Helsinki) tn/rakennus	Khk-päästöt (Jyväskylä) tn/rakennus
A-energialuokka		
Tilojen lämmitys	1992	2465
Lämmin käyttövesi	2110	2110
Sähkö	977	977
Yhteensä	5079	5552
Passiivitaso		
Tilojen lämmitys	1203	1497
Lämmin käyttövesi	2110	2110
Sähkö	977	977
Yhteensä	4290	4584



Lähes nollaenergiataso		
Tilojen lämmitys	1203	1497
Lämmin käyttövesi	1045	1045
Sähkö	741	741
Yhteensä	2989	3283

Taulukon perusteella nähdään, että tarkasteltavan rakennuksen käytönaikaisen energiankulutuksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ovat 100 vuoden elinkaarella 2990...3280 tonnia/rakennus, energialuokan vaihdellessa lähes nollaenergiatasosta A-energialuokkaan, ja paikkakunnan Helsingistä Jyväskylään.