

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakentamisen koulutusohjelma (Ylempi AMK)

Henna Lipiäinen

Ripalaattajärjestelmän kehittäminen parkkitalo- konseptissa –ekologinen viitekehys

Opinnäytetyö 2014

Tiivistelmä

Henna Lipiäinen

Ripalaattajärjestelmän kehittäminen parkkitalokonseptissa – ekologinen viitekehys, 88 sivua, 11 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakentamisen koulutusohjelma (Ylempi AMK)

Rakennetekniikka

Opinnäytetyö 2014

Ohjaajat: Petri Himmi DI, Saimaan ammattikorkeakoulu, Tommi Heikkinen TJ, Koskela Consulting Oy, Jouni Punkki Tkt, Consolis Technology Finland Oy

Euroopan unionin jäsenmaille asetetut ilmastostrategian 20-20-20 mukaiset tavoitteet ovat: 1.) kasvihuonepäästöjen vähentäminen 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä, 2.) uusiutuvan energian määrän lisääminen 20 %:iin käytetystä energiasta sekä 3.) energian kokonaiskulutuksen vähentäminen 20 prosenttia. Suomen rakennetulle ympäristölle asetetut maakohittaiset tavoitteet on kirjattu ERA2017-ohjelmaan. Ohjelmassa annetaan toimintasuosituksia rakennetun ympäristön CO₂-päästöjen ja energiankulutuksen pienentämiseksi. Rakennetun ympäristön CO₂-päästöjen osuus on noin 40 % kokonaispäästöistä. Rakentamisen ja materiaalityönteollisuuden osuus tästä on noin 6 prosenttia ja liikenteen 19 prosenttia. Suomen tavoitteena on täyttää EU:n ilmastostrategiset velvoitteet vuoteen 2017 mennessä.

Opinnäytetyössä mietittiin asemakaavoituksen merkitystä rakentamiseen ja sen merkitystä ilmastotavoitteiden saavuttamisessa nykytutkimuksen perusteella. Yhdyskuntarakenne ja kaavoitus vaikuttavat liikennemäärään ja edelleen päästöihin. Henkilöautoilun ympäristökuormituksen vähentämisen kannalta tärkeää on helppo liikkuvuus ja mahdollisuus julkisen liikenteen käyttöön, esimerkiksi liitännäspysäköinnin muodossa. Lisäksi mietittiin korkean ja tiiviin rakentamisen ja pysäköimisen ongelmia, eli tilanteita, joissa parkkitaloratkaisua voitaisiin käyttää. Tällaisissa tilanteissa rakentamisen tehokkuusluvun e_a tulee olla vähintään 0,5. Rakennetekniikan osalta tutkittiin, kuinka parkkitalojen CO₂-päästölukua voitaisiin materiaaliteknisesti pienentää ja kuinka voitaisiin suunnitella mahdollisimman ekotehokas parkkitalo, kun vertailumateriaaleina käytetään ripa- ja kuorilaattaa. Ekotehokkuuden mittarina käytettiin CO₂ kg/autopaikka.

Työ toimii ohjaavana materiaalina rakennesuunnittelijoille runkovaihtoehtoa valittaessa, kun ohjaavana laadullisena tekijänä on mahdollisimman pieni ympäristökuormitus. Työn tilaaja on Parma Oy.

Asiasanat: kestävä kehitys, kaupunkisuunnittelu, yhdyskuntasuunnittelu, rakennetekniikka, parkkitalo, betonin vauriomekanismi, materiaalitekniikka, CO₂-jalanjälki, ERA 2017, BREEAM -ympäristösertifikaatti

Abstract

Henna Lipiäinen

Analysis of Finnish Parking housing concept using Ribbed floor elements –
ecologic frame, Number of Pages 88, Number of Appendices 11

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Engineering

Master's Thesis 2014

Instructors: Mr Petri Himmi M.Sc. (Tech.), Lecturer at Saimaa University of Applied Sciences, Mr Tommi Heikkinen CEO, Koskela Consulting Ltd, Jouni Punkki, D.Sc. (Tech.), Consolis Technology Finland

In the year 2005 European Commission set the target to reduce greenhouse effect internationally by setting an EU climate strategy. This meant the target to limit the global average temperature increase to 2° Celsius compared with pre-industrial levels by a serious cut of greenhouse gases most importantly carbon dioxide emissions. Commission recommends taking the following measures on energy on the EU region and member countries by the year 2020: 1) improving the energy efficiency 20%, 2.) increasing the share of renewable energy 20% and 3.) developing an environmentally safe carbon geological storage policy. Finland as part of the EU has set its own goal to fulfill these aims by the year 2017. The methods are listed in the ERA2017 strategy for the built environment. The built environment is in the key role because of its consumption and use of final energy is over 40 % and the emissions of greenhouse gases are also nearly 40 % of the total gain.

This study I pondered the effect of urban city and community planning and its influence on the energy use and emissions of built environment, especially when considering high and tight building and parking sites. The importance of community structure is major on sustainable development frame, when speaking about easy mobility, interface parking and public transport systems. From the material technique point of view the study examined parking house solutions using ribbed floors and solid slabs and calculated the carbon dioxide emissions on selected sites. The aim of this study is to define solutions for "ecological" parking houses and find out the joint emissions of concrete frames and slabs. The reference unit used is CO₂-kg/parking space.

This work is used as a guiding material for construction engineers when choosing the frame considering the perspective of most mitigated environmental emissions. This study is made for Parma Ltd.

Keywords: sustainable development, urban planning theories, structural engineering, parking house, deterioration parameters of concrete, material technique, CO₂- footprint, ERA 2017 strategy, BREEAM –certificate

Sisältö

Käsitteet.....	6
1 Johdanto	7
2 Kestävyyssvaje luonnonvaroissa	8
2.1 Luonnonvarojen kapasiteetit ja käytetyt energialähteet	10
2.2 Euroopan Unionin ympäristötavoitteet.....	13
2.3 Suomen ympäristötavoitteet ja ERA 2017-ohjelma	14
3 Kaupunkisuunnittelu 1900–luvulla, johdantoa kaupunkisuunnitteluun	21
3.1 Funktionalistinen kaupunkisuunnittelu 1900-luvun alussa.....	22
3.1.1 Bauhaus 1919–1933.....	23
3.1.2 CIAM 1928–1959.....	23
3.2 Kaupunkisuunnittelu 1945 - 2000, kaupunkiteorioista systeemianalyysiin ..	25
3.3 Kaupunki ilman autoja	29
3.4 Näkökulma kotimaan autoistumiseen ja kaupunkirakenteeseen	35
4 Asemakaavoituksen tehtävät ja tavoitteet.....	37
5 Yhdyskuntarakenteen sidosrakenteiden merkitys kasvihuonekaasupäästöihin .	40
6 Ympäristösertifikaatit ja niiden ominaispiirteitä.....	42
7 Betonielementtirakentamisen ympäristövaikutukset	45
7.1 Betoni on hiilinielu	47
7.2 Rakennustuotteiden CO ₂ –ekv–laskenta	47
8 Esimerkkikohteiden esittely.....	49
8.1 Suunnittelua ohjaavat standardit ja ohjeet.....	50
8.2 Parman parkkihallikonsepti.....	50
8.3 Vertailukohteista suoritettu laskenta.....	51
8.4 Vertailussa käytetyt parkkitalokohteet	52
9 Kohteiden määrävertailu	57
10 Rungon optimointiin liittyvät rajoitteet.....	62
11 Runko ja laattavaihtoehtojen vaikutus päästöarvoihin	66
11.1 Laskentavaihtoehtojen tulokset	68
11.2 Laskennan yhteenveto	74
12 Päästöarvon vertaaminen liikenteen päästöihin.....	76
13 Yhteenveto ja pohdintaa	80
Kuvat.....	84
Taulukot.....	86
Lähteet.....	87

Liitteet

- Liite 1 Kohdekortti 89618
- Liite 2 Kohdekortti 85382
- Liite 3 Kohdekortti 88797
- Liite 4 Kohdekortti 89095
- Liite 5 Kohdekortti 86458
- Liite 6 Verrokkikohde 1
- Liite 7 Verrokkikohde 2
- Liite 8 Kokoomataulukko; kaikki kohteet; runkotuotteet
- Liite 9 Yrite1 CO₂ kokoomataulukko
- Liite 10 Yrite2 CO₂ kokoomataulukko
- Liite 11 Yrite3 CO₂ kokoomataulukko

Käsitteet

Kasvihuonekaasu	<i>Kasvihuonekaasu on kaasu, joka ilmakehässä ollessaan päästää lähes kaiken auringonsäteilyn lävitseen, mutta absorboi (sitouttaa, ei läpäise) suuren osan Maan pinnalta lähtevästä lämpösäteilystä aiheuttaen kasvihuoneilmion, eli ilmaston lämpenemisen. Kasvihuonekaasuja, eli emissioita ovat hiilidioksidi CO₂, metaani CH₄, typpioksidi NO, fluorihilivedyt HFCs, perfluorivedyt PFCs ja rikkiheksafluoridi SF₆.</i>
CO ₂ -ekv	<i>Suure, jolla kuvataan kasvihuonekaasujen yhteenlaskettua ilmastoa lämmittävää vaikutusta. Hiilidioksidiekvivalentit ilmaistaan massana. (yksikköjä; CO₂-ekv kg/a, CO₂e kg/m², kg/km)</i>
Päästöarvo	<i>Osoittaa toiminnan vaikutuksesta ympäristöön syntyvien kasvihuonekaasujen määrän hiilidioksidiksi muutettuna. (yksiköitä; kg/m², kg/km)</i>
Primäärienergia	<i>Primäärienergia on uusiutuvasta, tai uusiutumattomasta lähteistä peräisin olevaa energiaa, joka on mitattu siinä muodossa, kuin se on ennen energian tuotantoprosessia.</i>
Ripalaatta	<i>Ohutlaippainen laattapalkkielementti, jossa laatan alapuoliset palkit jäykistävät rakenteen. Leveys 3-3,6 metriä ja kokonaiskorkeus 270 mm. Palkkiosan korkeus on 200 mm ja leveys 240 mm. Kannen korkeus on 70 mm. Elementin esijännitys on 900-1200 MN/m². (lyhenne RL)</i>
Ekotehokkuus	<i>Ekotehokkuudella tarkoitetaan sitä, että vähemmästä tuotetaan enemmän ympäristöä säästäen. Tavoitteena on käyttää mahdollisimman vähän materiaaleja, raaka-aineita ja energiaa. Pyritään vähentämään tuotteen haitallisia ympäristövaikutuksia koko sen elinkaaren aikana.</i>
BREEAM	<i>BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) on brittiläinen rakennusten ympäristövaikutuksia mittaava luokitusjärjestelmä. BREEAM ohjaa rakennuksen suunnittelua, rakentamista ja käyttöä. BREEAM tarkastelee ympäristövaikutuksia esim. johtamisen, energian- ja vedenkulutuksen, käytettyjen materiaalien, maankäytön ja liikenteen osatekijöiden kautta. Tekijät pisteytetään, jonka perusteella rakennukselle voidaan myöntää BREEAM-arvosana.</i>
Matkasuorite	<i>Matkasuorite on henkilön tietyllä ajanjaksolla tekemien matkojen yhteenlaskettu pituus.</i>
Yhdyskuntarakenne	<i>Kaupunkialueen, kaupungin, kaupunginosan, tai taajaman rakenne. Yhdyskuntarakenne sisältää alueen kaikki asunto-, työpaikka-, palvelu- ja viheralueet ja rakennukset, sekä liikenteen, että kunnallistekniikan verkostot. Yhdyskuntarakenne muodostuu sekä teknisistä, että toiminnallisista verkostoista.</i>

1 Johdanto

Rakennusteollisuus on suurten muutosten äärellä. EU:n ilmastopoliittisten ja kotimaata velvoittavien ympäristötavoitteiden takia edelleen kiristyvät määräykset velvoittavat etsimään entistä ekologisempia ja vähemmän ympäristöä kuluttavia tapoja rakentaa ja liikkua. Rakentamisen ja rakennusmateriaaliteollisuuden osuus Suomen CO₂-kokonaispäästöistä on noin 6 prosenttia ja liikenteen 19 prosenttia. Suomi osana EU:ta on velvollinen pienentämään energiankulutusta ja hiilidioksidipäästötasoa 20 prosenttia vuoteen 2020 mennessä.

Tässä opinnäytetyössä vertaillaan viiden eri esimerkkikohteen avulla rakennustuoteteollisuuden ja rakentamisen aiheuttamia ympäristökuormituksia parkkitalokonseptissa. Lisäksi pohditaan yhdyskuntarakenteen ja kaupunkirakenteen merkitystä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä nykytutkimuksen perusteella.

Tavoitteena on selvittää kylmän parkkitilan runko- ja laattavaihtoehtojen välinen ympäristökuormitus esimerkkikohteiden perusteella ja edelleen selvittää, voidaanko kuormitusta pienentää. Lisäksi arvioidaan betonielementtien ympäristökuormitusta ekologisessa viitekehyksessä. Ekotehokkuuden mittarina käytetään arvoa CO₂ kg/autopaikka.

Rajaukset

Opinnäytetyön sovellusosa esimerkkikohteineen rajoittuu maanpääläisiin rakenteisiin, poisluettuna jäykistävät seinät ja massiivilaatat sekä porraselementit. Näitä rakenteita ei voitu ottaa laskentaan mukaan kohteissa olevien eroavuuksien vuoksi, jolloin kohteet eivät olisi olleet keskenään vertailukelpoisia. Opinnäytetyössä ei esitetä rakenneosien erillistä mitoitusta, vaikka mitoitus on tehty, vaan työ perustuu soveltavaan osuuteen ja kohdevertailuun. Esimerkkikohteiden vertailu perustuu pelkästään runko-osiin ja laattatyypivertailuun (ripa- ja kuorilaatta). Sekundääriset rakenneosat, kuten ulkopintamateriaalit ja kaiteet eivät sisälly laskentaan. Esimerkkikohteiden tulokset sekä havainnemateriaali esitetään nimettömänä projektinumeron avulla. Materiaalikustannuksia ei esitetä. Runkovaihtoehtojen jäykistämislaskelmia ei esitetä.

2 Kestävyydevaje luonnonvaroissa

Ihmisillä on tapa ajatella asioista lokaalisti. Mietittäessä luonnonvarojen saataavuutta Suomessa voidaan helposti ajatella, että ei meillä ole mitään hätää. Suomi on melko suuri maa, jossa on paljon uusiutuvia luonnonvaroja: metsää, puhdasta vettä ja laajalti rakentamatonta maa-alaa. Pohdittavaksi jää, kuinka me voimme kansakuntana perustella sitä, että meidän ei pitäisi säästää omia luonnonvarojamme ja pyrkiä tasaamaan omaa kulutustamme kestävä kehityksen periaatteiden mukaisesti, kun mietitään globaalia näkökulmaa. Miksi meillä olisi oikeus niin sanotusti tuhlaata oma elintilamme ja rikkautemme seuraavien sukupolvien edestä ja millä perusteella meillä on oikeus päättää, että muut maat eivät saisi hyötyä meidän luonnonvaroistamme. Perusteena voivat olla globalisaation vastustus ja omaisuuden siirtyminen omista käsistämme muiden hyödyksi ja siitä seuraava, ehkä oman kansantaloutemme hetkellinen supistuminen, mutta globaalista näkökulmasta nämä perusteet ovat etupäässä kapea katseisia.

Maailman luonnonvarojen kulutus on väistämättömästi luisumassa kohti vakavaa kestävyysvajetta. Jatkuva väestönkasvu johtaa väijäämättä siihen, että maapallon kyky vastata kasvavan väestömäärän tarpeisiin (mm. ruoka, polttoaine, asuminen) ei riitä. Euroopan väestökehityksen kasvukäyrä kääntyy laskusuhdanteeseen vuoden 2015 jälkeen ja tämä johtaa eittämättä siihen, että Euroopan vaikutus maailmanpolitiikkaan ja sen painoarvo tulee pienenemään, kun toisaalla Aasiassa ja Afrikassa väestönkasvu vain kiihtyy. (1.)

YK:n World Population Prospects tietokannan mukaan Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa syntyvyys on tällä hetkellä 1,7 lasta jokaista naista kohden, kun taas Aasiassa ja Latinalaisessa-Amerikassa nämä lukemat ovat 2,8 ja Afrikassa peräti 5,7 yhtä naista kohden (1). Afrikka, Kiina, Intia ja Latinalainen-Amerikka tulevat tulevaisuudessa valtaamaan alaa monella sektorilla, ja näiden alueiden poliittinen ja sosiaaliskulttuurinen kehitys ajautuu väistämättä muutokseen. Kasvava väestö raivaa itselleen uutta elintilaa ja tarvitsee raaka-aineita elämiseen. Tämä asettaa paineita raaka-aineiden saatavuuteen, hintaan ja laatuun.

Maailman luonnonvarojen kapasiteetti ylitetään joka vuosi. Vuonna 2013 luonnonvarojen ylikulutus oli aikaistunut kuukaudella vuoteen 2009 verrattuna, jolloin päivä oli syyskuun lopussa (2). Ihmiskunta siis elää jatkuvasti velaksi. Päivämäärä merkitsee sitä, milloin ihmiskunta on ylittänyt maapallon uusiutuvien luonnonvarojen tuotannon ja fossiilisten polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjen käsittelykyvyn. Uusiutuvia luonnonvaroja ovat mm tuuli, auringonsäteily, aaltoenergia, metsät ja makea vesi. Uusiutumattomia luonnonvaroja ovat mm. öljy, kaasu ja metallit, kuten esimerkiksi uraani, rauta ja kupari.(2.)

On pyrittävä säilyttämään uusiutumattomia luonnonvaroja varastoina, eikä muutettava niitä rahaksi ja löydettävä uusia tapoja uusiutuvien luonnonvarojen tuottamiseen ja hyödyntämiseen. Vain globaalilla sitoutumisella kestäväan kehitykseen (eli lyhyesti sanottuna kehitykseen, joka täyttää kunkin yhteiskunnan taloudelliset, ekologiset ja sosiaaliset tarpeet tekemättä myönnytyksiä tulevien sukupolvien kustannuksella) ja nojaamalla YK:n esittämiin maailmanlaajuisiin ekologistaloudellisiin kestäväan kehityksen periaatteisiin voidaan kulutukseen ja energiavarantoihin vaikuttaa. Yhdistyneiden kansakuntien vuosittain asetettavat ympäristön kestävyden varmistamiseksi ovat seuraavat: 1) sitoutetaan kestäväan kehityksen tavoitteet maiden ja valtioiden poliittiseen päätöksentekoon ja hallitusohjelmiin ja käännetään luonnonvarojen vähenemistä uhkaava kehitys, 2) hillitään biodiversiteetin häviämistä (saavutettu vuonna 2010, jolloin on tapahtunut huomatta lasku häviämisyhtiin), 3) puolitetaan niiden ihmisten osuus, joilla ei ole saatavilla puhdasta juomavettä ja perussanitaatiota ja 4.) saavutetaan vuoteen 2020 mennessä huomattava parannus niiden ihmisten elämässä, jotka ovat pakotettuja asumaan slummeissa.(3.)

Suomenkin hyväksymien EU:n kestäväan kehityksen periaatteiden mukaisesti tulisi jokaisessa maassa päätöksien teossa huomioida ja panostaa seuraaviin asioihin: ilmastonmuutos ja puhtaat energiamuodot, kestävä liikenne, kestävä kulutus ja tuotanto, luonnonvarojen säilyttäminen ja hallinta, kansanterveys, sosiaalinen osallisuus, väestökehitys ja maahanmuutto sekä maailmanlaajuinen köyhyys. (4.)

2.1 Luonnonvarojen kapasiteetit ja käytetyt energialähteet

Uusiutumattomista energialähteistä ensimmäisenä on loppumassa öljy. Taulukossa 2.1. on esitetty uusiutumattomien energialähteiden riittävyys miljooniksi öljytonneiksi muutettuna.(5.)



Taulukko 2.1. Vuoden 2009 tuotannon perusteella ilmoitettu uusiutumattomien energialähteiden riittävyys öljytonneina.

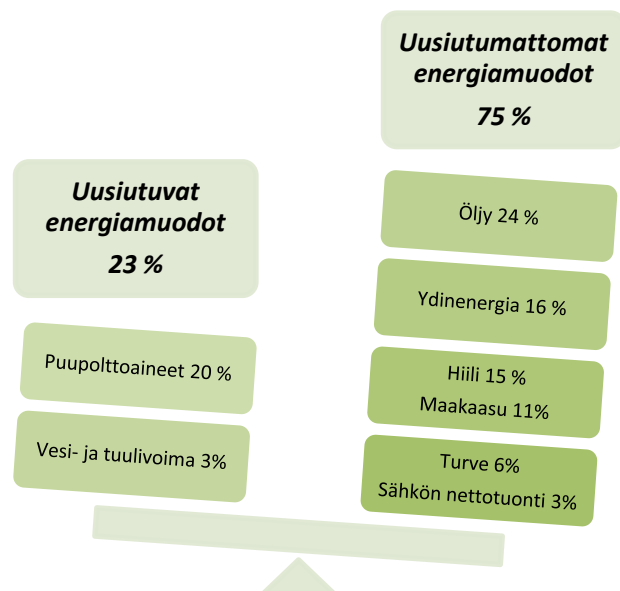
Raakaöljyn kulutus on sidonnainen väestönkasvuun. Oletettavissa on, että öljyn ja maakaasun tuotantoa ei pystytä enää merkittävästi lisäämään. Uudet esiintymät paikkaavat jo ehtyviä esiintymiä. Nykykulutuksen tasolla raakaöljyvarat hupenevat vuoteen 2050 mennessä. Maakaasuvarat loppuisivat vuoteen 2070 mennessä ja uraanin saatavuus päättyisi vuonna 2090. Kivihiilen tunnetut varannot riittävät vielä 330 vuodeksi. Voidaankin olettaa, että kivihiilen käyttö tulee jatkumaan kivihiilen CO₂-päästöistä huolimatta. Suurimmat kivihiilivarannot sijaitsevat Venäjän alueella Siperiassa ja Aasian alueella pohjois- ja koillis-Kiinassa. (5.)

Kivihiilen palamistuotteena muodostuu hiilidioksidia (CO₂), joka on yksi kasvihuoneilmiöön vaikuttavista kaasuista. Lisäksi syntyy vettä (H₂O) ja rikkidioksidia (SO). Rikkidioksidin reagoi vedellä muodostuu rikkihapoketta, joka edelleen ilmakehässä muokkaantuu rikkihapoksi. Rikkihappo kulkeutuu joko laskeutena tai sateen mukana maaperään, mikä aiheuttaa maaperän happamoitumista. Lisäksi jos kivihiilen palaminen ei ole puhdasta, voi lisätuotteena

muodostua hiilimonoksidia (CO), eli häkää. Haitoista huolimatta kivihiilen käyttö tulee edelleen kasvamaan Kiinassa, Intiassa ja Venäjällä. Huomattavaa on, että Kiina ei ole ratifioinut Kioton ympäristösopimuksen pöytäkirjaa yhdessä Yhdysvaltojen kanssa, jotka molemmat ovat suurimpia kasvihuonepäästöjen aiheuttajia maailmassa. Venäjän sitoutuminen Kioton sopimukseen on edellyttänyt CO₂-päästöjen säilyttämistä 1990-luvun tasolla, josta esimerkiksi Venäjä on taloudellisesti taantunut.

Fossiilisten polttoaineiden haittoja ovat lisäksi ilmaan poltossa pääsevät pienhiukkaset, jotka ärsyttävät hengitysteitä, sekä niiden kulkeutuminen vesistöön, mikä aiheuttaa rehevöitymistä. Liikenteestä ja energiantuotannosta vapautuvat typenoksidit (NO) muodostavat ilmakehässä haitallista otsonia. Otsoni taas vaurioittaa kasvien solukkoa ja heikentää niiden kasvua. Suurin ympäristöongelma on kuitenkin hiilidioksidin (CO₂) vapautuminen ilmakehään, koska se edesauttaa kasvihuoneilmiön pahenemista.

Fossiilisten polttoaineiden osuus maailman energiantuotannosta on noin 80 %. Suomen eri energiamuotojen osuus kokonaisenergiankulutuksesta on osoitettu alla olevassa kuvassa 2.1. (5.)



Kuva 2.1. Suomen kokonaisenergiankäyttäjakauma.

Kuvan 2.1. tiedot ovat vuodelta 2006, mutta olennaista muutosta lukuihin ei ole tapahtunut sen jälkeen. Suomessa 6 prosenttia kokonaisenergiasta tuotetaan turpeella. Turpeen käyttö energialähteenä kuitenkin rinnastetaan uusiutumattomiin energialähteisiin sen huomattavan hitaan uusiutumisen takia. Lisäksi turpeen poltossa ilmakehään vapautuu vastaavia hiukkaspäästöjä kuin fossiililla polttoaineilla. Maakaasu taas on fossiilinen polttoaine sen syntyvän ja poltossa syntyvän huomattavan CO₂ hiukkaspäästön takia (määrä vastaa noin 60 % kivihiilen CO₂-päästöstä), lisäksi tuotantoprosessissa vapautuu metaania, joka on kasvihuonekaasu. Polttoaineiden jätteitä (yleensä tuhkat) voidaan käyttää uudelleen mm. rakennusteollisuuden raaka-aineena, maanparannusaineena ja tienrakennusaineena. Tuhkan laatuun ja määrään vaikuttaa energiantuotantoprosessi ja palokaasujen puhdistuksessa käytetty tekniikka.(5.)

Suomessa uusiutumattomien energiamuotojen osuus on noin 75 prosenttia kokonaisenergiankulutuksesta ja uusiutuvien energiamuotojen osuus jää noin 23 prosenttiin. Verrattuna muihin EU-jäsenvaltioihin Suomi sijoittuu kolmanneksi Ruotsin jälkeen, jossa uusiutuvan energian osuus on noin 29,8 prosenttia.(5.)

Uusiutumattomien energialähteiden tilalla voidaan käyttää tuuli-, vesi-, aurinko-, tai metsäenergiaa ja muuta bioenergiaa, kuten teollista puutähdehaketta. Uusiutuvien energialähteiden käyttö myös lisää kansallista energiaomavaraisuutta ja edistää ilmastotavoitteiden saavuttamista. Useimmiten uusiutumattomien energiamuotojen rakentaminen ja niihin sijoitettavat investoinnit kariutuvat sopivan rakennusalueen puutteeseen, lakeihin tai säädöksiin tai muihin olosuhteisiin, kuten esimerkiksi rajavyöhykkeen läheisyyteen, tai tuuliolosuhteisiin. Toimiakseen tehokkaasti tuuliturbiini tarvitsee vähintään 5 m/s tuulen.

Suomessa erityisesti tuulivoiman käyttöönottoa ovat jarruttaneet monimutkainen byrokratia ja tuuliturbiinien ympäristövaikutuksina koetut häiriöt, kuten melu ja näköhaitta, sekä niistä aiheutuneet kaavavalitukset. Lisäksi uusiutuvien energialähteiden energiatehokkuus ei vastaa hyötysuhteeltaan fossiilisten energialähteiden tehokkuutta, eli ne eivät ole kilpailukykyisiä keskenään. Tämän takia uusiutuvien energiamuotojen käyttö edellyttää teknologian jatkuvaa kehitystä ja julkisia tukitoimia verovarojen muodossa.

2.2 Euroopan Unionin ympäristötavoitteet

EU:n energiapolitiikan periaatteet ovat kestävyys, kilpailukyky ja toimitusvarmuus. Tavoitteena on pyrkiä koko EU:n alueella kilpailukykyisiin energian hintoihin, energian riittävään ja häiriöttömään saatavuuteen ja ympäristövaikutusten vähentämiseen.

Euroopan unionin ilmastopolitiikka nojaa Kioton sopimukseen, jonka EU vuonna 1998 allekirjoitti. Tässä sopimuksessa pyritään pienentämään ilmastomuutoksen vaikutuksia kansainvälisesti. Sopimusta alettiin ajaa täytäntöön lainsäädännöllisesti EU:ssa ennen Johannesburgin kestävän kehityksen kokousta vuonna 2002. Kioton sopimuksessa asetetaan jäsenmaille velvoite pienentää ja rajoittaa kasvihuonekaasujen emissioita niin, että ilmaston lämpeneminen saadaan rajoitettua kahteen asteeseen (+2°C). (Lämpenemisellä on vakavia seurausvaikutuksia kuten merenpinnan tason vaihtelut, kuivuus sekä erilaisten sään ääri-ilmiöiden yleistymisen.) Tavoiteraja on asetettu vuoden 1990 kokonaispäästöjen tasolle ja näistä päästöistä vähennetään -5 %. Kasvihuonekaasuja eli emissioita ovat hiilidioksidi CO₂, metaani CH₄, typpioksidi NO, fluorihilivedyt HFCs, perfluorivedyt PFCs ja rikkiheksafluoridi SF₆.(6.)

EU:n ilmasto- ja energiapolitiikasta asetettiin lainsäädäntöpaketti huhtikuussa 2009. Keskeisiä säädöksiä ovat rakennusten energiatehokkuutta ohjaavat direktiivit, eli uudelleen laadittu EPBD (2010/31/EU), tuotteiden energiatehokkuus direktiivit: ecodesign (2009/125/ EY) ja energiamerkintädirektiivin (2010/30/EU), sekä EU:n ilmasto- ja energiapakettiin kuuluva direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi RES (2009/28/EY). Kansallinen säädöksenohjaus perustuu maankäyttö- ja rakennuslakiin (MRL), maankäyttö- ja rakennusasetukseen, rakentamismääräyksiin sekä lakiin energiatodistuksesta (laki 487/2007 ja asetus 765/2007). Rakentamista koskeva säädöksenohjaus kehitetään kansallisesti, ja sen osana saatetaan voimaan yhteiseurooppalaiset direktiivit. Energian huoltovarmuuden takaaminen on EU:n energiapolitiikassa keskeisellä sijalla. Öljyn varmuusvarastointidirektiivi sekä kaasun toimitusvarmuusasetus tukevat tavoitetta. Trans-European Energy Networks-ohjelmassa

rahoitetaan selvityksiä, jotka tähtäävät energiaverkkojen kehittämiseen ja energianhankinnan parantamiseen, erityisesti on painotettu huoltovarmuutta.(4;7.)

Lainsäädäntöpaketti sisältää niin kutsutun 20-20-20 tavoitteen, joka tarkoittaa, että vuoteen 2020 mennessä EU:n energiankulutuksesta 20 % tulisi saada uusiutuvista energianlähteistä, EU:n kasvihuonekaasupäästöjä tulisi vähentää 20 % sekä energiatehokkuutta lisätä 20 % vuoden 1990 tasoon verrattuna. Maat saavat itse päättää toimista, joilla tavoitteisiin yritetään päästä. Uusiutuvien energioiden käytön suhde on maakohtainen ja asetettu direktiivissä, jossa Suomen osuus uusiutuvan energian käytön suhteen on 38 prosenttia. Tämä tavoite on siis sitova. (4.)

Jokaisella jäsenvaltiolla on vuosittaiset päästökiintiönsä, jotka muodostuvat lineaarisesti vuosina 2013 – 2020. Jäsenvaltioiden kokonaispäästöjen on oltava pienempi kuin vastaavien vuosittaisten päästökiintiöiden. Kaudella 2013 - 2019 jäsenvaltio voi siirtää seuraavalta vuodelta määrän, joka on enintään 5 % sen vuosittaisesta päästökiintiöstä (4). Käyttämätön osa kiintiöstä voidaan siirtää seuraaville vuosille. On myös mahdollista siirtää osa tästä jaosta muille jäsenvaltioille, eli käymällä päästökauppaa. Päästökauppa on määritelty Suomen laissa Päästökauppalaki 8.4.2011/311 sekä EU direktiivissä 96/61/EY ja 2003/87/EY (8).

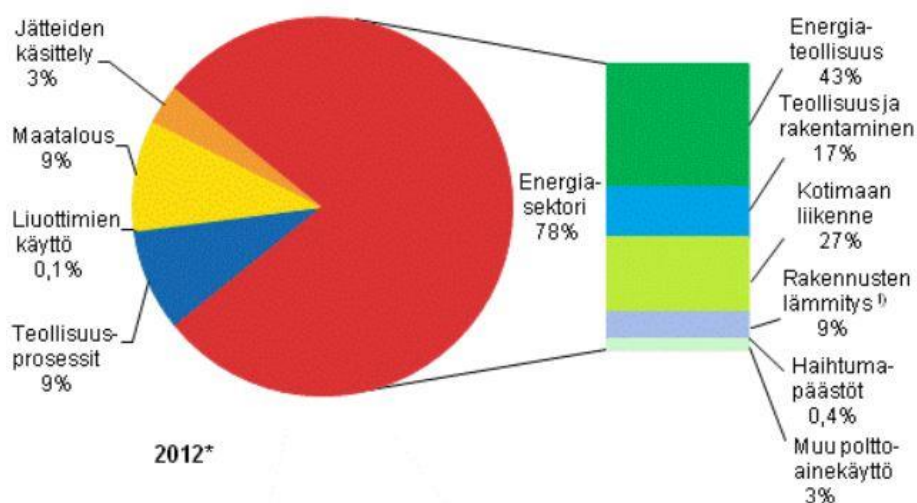
Liikenteen päästöjen rajoittamiseksi on suunnitelmissa asettaa EU-alueen lento- ja meriliikenne päästökauppajärjestelmään ja tehdä henkilöautoilun verotus riippuvaiseksi ajoneuvon CO₂-päästöarvosta. Ajoneuvojen verotuksen muutos pienentää, autokannan uusiutumisen vuoksi, CO₂-päästöjä 120 g/km (g CO₂/km). Kuluttajia kannustetaan näin leikkaamaan päästöjä ja käyttämään biopolttoaineita sekä etsimään vaihtoehtoisia kulkutapoja liikkumiseen ja tavarankuljetukseen. (4.)

2.3 Suomen ympäristötavoitteet ja ERA 2017-ohjelma

Suomen kansalliset tavoitteet pohjautuvat EU:n asettamiin 20-20-20-tavoitteisiin. Kansalliset tavoitteet on kirjattu ohjelmaan ERA 2017 – Energiavii-

saan rakennetun ympäristönaika 2017, jossa esitetään toimintalinjauksia ilmastomuutoksantorjunnan haasteisiin rakennetun ympäristön osalta. Toimintaohjelman laatimisesta ovat yhteistyössä vastanneet ympäristöministeriö, Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra sekä Tekes – teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus.(7.)

Suomi on sitoutunut kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen, uusiutuvan energian käytön lisäämiseen sekä energiatehokkuuden parantamiseen vuoden 1990 tasolle. Suomen oma tavoite on täyttää asetetut 2020 tavoitteet jo vuonna 2017. ERA 2017 -ohjelmassa korostetaan rakennetun ympäristön merkitystä tavoitteiden saavuttamiseksi. Rakennetun ympäristön parantamisella on suuri merkitys ilmastomuutoksen hillinnässä, sillä rakennuksissa ja rakentamisessa käytetään yli 40 % energiasta, joka aiheuttaa lähes 40 % kasvihuonekaasupäästöistä. Kansalaisia, yrityksiä ja kuntia halutaan aktivoida mukaan muutokseen. Tavoitteilla halutaan edistää energia- ja ekotehokkuutta ja synnyttää uutta osaamista ja menestyvää liiketoimintaa sekä kotimaassa, että ulkomailla. Kuvassa 2.2. on nähtävissä Suomen kasvihuonekaasujen osuus tuotantosektoreittain, jossa rakentamisen osuus yhdessä teollisuuden kanssa on 17 % kokonaisuudesta.



Kuva. 2.2. Suomen kasvihuonekaasujen osuus päästöistä sektoreittain vuonna 2012. (9.)

ERA 2017 -ohjelmassa esitetään maankäytön tehokkaampaa suunnittelua, eli rakentamisen, palveluiden ja liikenteen entistä parempaa yhteensovittamista. Asuinalueiden tulee olla energiatehokkaita ja yhdyskuntarakenteen hajaantumisista pitää rajoittaa. Yhdyskuntarakenteen tulee olla monipuolista ja mahdollistaa kestävä liikkuminen. Energiatehokkuusvaatimuksen asettama lähes nolla-energiataso (uudisrakentamisessa) edellyttää lähienergian tuottamista, mikä tarkoittaa yli oman tarpeen tuotetun energian siirtämistä rakennuksista sähköverkkoon. Rakentamismääräysten ja ohjauksen tulee ohjata energiatehokkaaseen rakentamiseen (uudis- ja korjausrakentaminen). Alueet ja rakennukset ympäristöluokitellaan käyttämällä standardoituja laskentamalleja (LEED, BREEAM, PromisE). Tutkimustyötä ja kehitystä halutaan edelleen kehittää rakennetun ympäristön näkökulmasta. (7.)

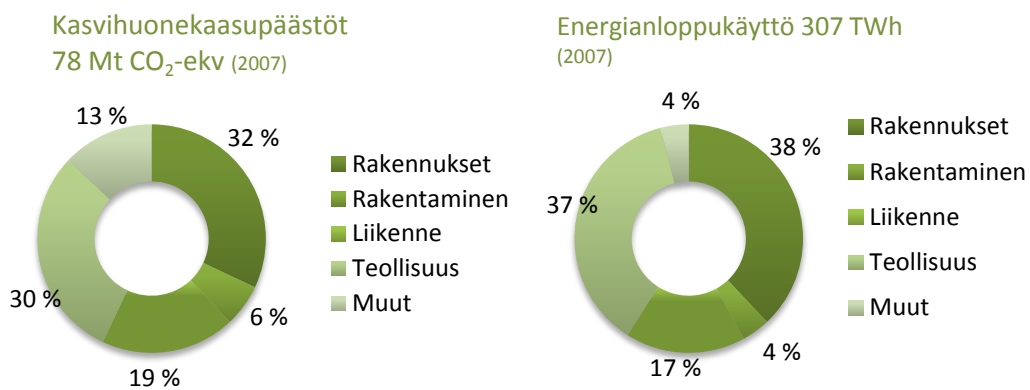
Rakennettu ympäristö sisältää yhdyskuntarakenteen, rakennukset, liikennejärjestelmät ja energiaratkaisut. Tässä opinnäytetyössä keskitytään rakennusmateriaalien ja liikenteen aiheuttamiin ympäristökuormituksiin ja pohditaan kaava-suunnittelun merkitystä. Kaavasunnittelun merkityksen korostaminen päästöjen syntymiseen on yksi ERA 2017 lähtökohdista. Hyvällä suunnittelulla voidaan minimoida rakentamisesta ja liikenteestä aiheutuvaa ympäristökuormaa. Liikkumiseen vaikuttaa se, miten eri toiminnot ja tilat sijoittuvat ja miten suuria matkoja joudutaan eri toimintojen välillä siirtymään ja millä kulkuvälineellä. Korkean ja tiiviin (tehokkuusluku $e_a > 0,5$) rakentamisen tulee mahdollistaa yksilön joustava liikkuminen eri kulkuvälineillä. Huomattava on, että autopaikkamäärä on kirjattu asemakaavaan ja säännökseen YM-20582, joka edellyttää vähintään yhden autopaikan rakentamista per 95 k-m². Tämä tarkoittaa sitä, että tilanpuutteen takia (kaupunkialueilla, kuten Helsinki) voidaan harkita yhteisten pysäköintitilojen rakentamista esimerkiksi juuri parkkitaloihin. (7;10.)

Rakennetun ympäristön vaikutus ilmastoon

Rakennetun ympäristön merkitys on keskeinen kasvihuonekaasujen muodostumiseen ja sitoutetun energian käyttöön (rakennustuoteteollisuus, rakennusten lämmittäminen rakentamisvaiheessa ja käytön aikana, elementtien kuljettaminen rakentamispaikalle jne). Suomessa suurin osa energiankäytöstä kuluu ra-

kennetussa ympäristössä. Kuvassa 2.4. on esitetty vuoden 2007 energian loppukäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt. Rakennuksissa käytetyn energian määrä on tuolloin ollut noin 42 %. (7.)

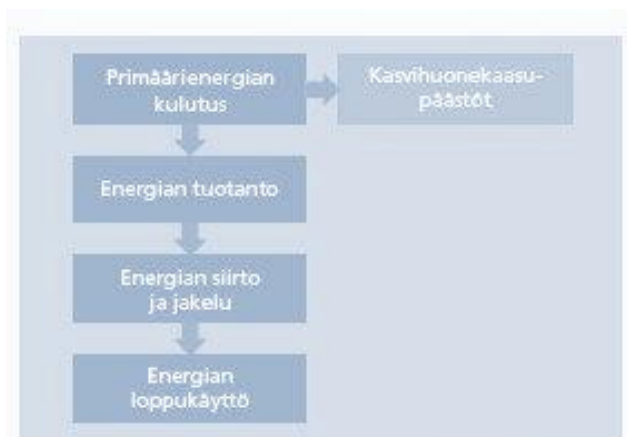
Talo- ja yhdyskuntarakentamisen osuus on noin 4 % energian loppukäytöstä ja liikenteen osuus noin 17 %. Vuonna 2012 (kuva 2.3.) verrattuna vuoden 2007 tasoon Suomen kasvihuonekaasupäästöt ovat vähentyneet 11 Mt CO₂-ekv, eli 12 prosenttia. Suurinta pudotus on ollut energiasektorilla, johon rakentaminenkin kuuluu. Tällä osa-alueella laskua päästömäärässä vuoteen 2011 verrattuna on ollut 10 %. Maankäyttö ja sen muutos, sekä metsätalous laskivat päästökeritymää 7 prosentilla. Edellä mainitut toimivat hiilidioksidinieluna, eli ne sitovat enemmän päästöjä kuin mitä tuottavat ilmakehään. Nettonielun osuus vuonna 2012 oli 26 Mt CO₂-ekv. Suurin hiilidioksidin sitoja on puuston nettokasvu. (7;9.)



Kuva 2.3. Suomen loppuenergiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt ERA 2017 tietojen perusteella. (7.)

Rakennetun ympäristön energian suhteellinen osuus päästöistä (38 %) on pienempi kuin energianloppukäytöstä, koska päästöjä aiheutuu välillisesti myös rakennetun ympäristön ulkopuolella. Rakentamisen ja liikenteen osuus kokonashiilidioksidipäästöistä taas on 25 prosenttia. Tämä luku on suurempi kuin energiankäyttö (21 %), koska liikenteen päästöt aiheutuvat pitkälti fossiilisten polttoaineiden käytöstä. (7.)

Energiankulutusta vastaava energiamäärä tuotetaan joko sähköllä (ydinenergia, vesi- ja tuulivoima jne), lämpönä (kauko-, maalämpö jne) tai polttoaineena (benssiini, diesel). Energiantuotannon energianlähteet ja polttoaine muodostavat yhdessä primäärienergiankulutuksen. Tuotanto ja valmistusprosesseissa hukkaantuu energiaa, joten primäärienergiankulutus on tämän takia suurempi kuin loppuenergiankäyttö. Primäärienergiankulutus on esitetty vaikutusketjussa kuvassa 2.4., jossa on kuvattu energian käytön ja kasvihuonekaasujen yhteys yksinkertaisesti.(7.)

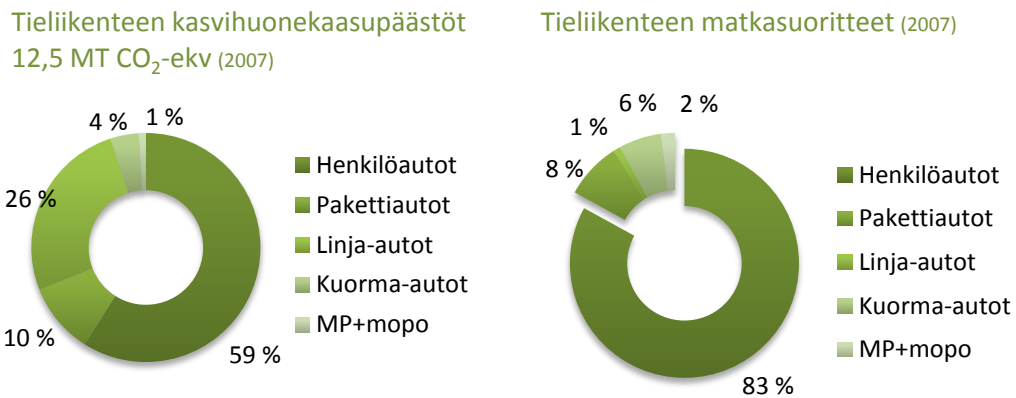


Kuva 2.4. Energiankulutuksen päästö ja loppuenergiankäytön yhteys. (7.)

Rakennetun ympäristön kasvihuonepäästöjen osuudet vaihtelevat vuosittain 36–47 Mt CO₂-ekv (7). Päästön määrän vaihtelu riippuu käytetyistä energiamuodoista ja määrästä. Mitä vähemmän tuotetaan, sitä vähemmän sitoutetaan energiaa ja aiheutetaan päästöjä.

Rakentamistuoteteollisuuden osuus käytetystä energiamäärästä on noin 10 TWh, eli 3,3 %. Rakentamisen ja rakennusmateriaalien valmistuksen kasvihuonepäästöt ovat noin 5 Mt CO₂-ekv ja sementin valmistuksen osuus tästä määrästä on 12 % eli 0,6 Mt CO₂-ekv. Verrattuna koko rakennustuoteteollisuuden osuuteen on sementin valmistuksen osuus peräti 30 % kokonaispäästömäärästä. Sähkön kulutuksen ja polttoainekulutuksen osuus kokonaispäästöarvosta on 60 %.(7.)

Tie-, raide- ja lentoliikenteen osuus kokonaisenergiankulutuksesta on noin 51 TWh, tästä lukemasta 91 prosenttia aiheutuu tieliikenteestä. Liikenteen päästöt aiheutuvat polttoaineen käytöstä. Raideliikenteen sähkönkäyttö on hyvin vähäistä, vain alle 0,33 % kokonaiskulutuksesta. Tieliikenne on pääsääntöisesti henkilöliikennettä ja tavaraliikennettä. Kuvassa 2.5. on havainnollistettu Suomessa vuonna 2007 esiintyneen tieliikenteen osuutta matkasuoritteiden ja liikenteestä aiheutuneiden kasvihuonekaasupäästöjen osalta. (7.)

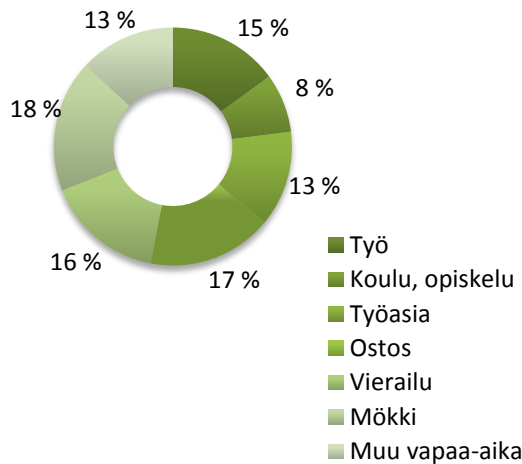


Kuva 2.5. Liikennesuoritemäärät ja kasvihuonepäästöosuudet vuonna 2007 ERA 2017 tietojen perusteella. (7.)

Suurin osa henkilöliikenteestä tapahtuu henkilöautolla. Henkilöautojen osuus liikennesuoritteesta on noin 83 % ja kasvihuonepäästöistä noin 59 %. Huomatavaa on, että peräti 26 prosenttia kasvihuonekaasuista aiheutuu rahtiliikenteestä ja kuljetuksessa käytettävästä kalustosta. Tavaraliikenteen suhteellisen suureen päästömäärään vaikuttaa myös toiminnan luonne (esim. matkasuoritteet alkutuotannossa, ja teollisuudessa). (7.)

Henkilöautoilun osuus päästöistä (59 %) on vähäisempi kuin käyttöaste (83 %) huolimatta Suomen verrattain vanhasta ja paljon polttoainetta kuluttavasta autokannasta. Päästölukuun vaikuttanee Suomessa ajoneuvoissa pakollisena olevan katalysaattorin päästöjä pienentävä vaikutus sekä se, että henkilöautolla tehtävien matkojen pituudet eivät välttämättä ole suuria. Henkilöautolla tehdyis-

tä matkoista 36 % on työmatkoja tai työhön liittyviä matkoja sekä koulutukseen tai opiskeluun liittyviä matkoja, kuten kuvassa 2.6. on havainnollistettu.



Kuva 2.6. Matkasuoritteet matkan tarkoituksen mukaan. (7.)

Kuvasta 2.6. voidaan myös päätellä, että autolla tapahtuva liikkuminen on suhteellisesti yhtä suurta kaikilla osa-alueilla, paitsi muun vapaa-ajan ja opiskelu tms. matkojen osalla. Näillä matkoilla siis käytetään myös muita kulkuvälineitä kuin autoa. Suoritteen osuutta selittänee matkojen lyhyys ja toisaalta ikäjakama erityisesti koulu ja opiskelumatkojen suhteen.

Liikenteen energiankulutukseen vaikuttaa siis liikkumisen tarve ja valittu kulku-tapa. Liikenteen päästöjen ohjaamiseen pyritään vaikuttamaan EU-tasolla esim. polttoaineverotuksella (ks. kohta 2.2) sekä Suomessa yhdyskuntarakenteen tehostamisella (ks. kohta 3.6). Yksilötasolla liikenteen päästöihin voi vaikuttaa vähentämällä ajomatkoja ja käyttämällä kestäviä liikkumismuotoja, kuten jouk-koliikennettä, kävelemällä tai pyöräilemällä.

Rakentamisen ja rakennusmateriaalien valmistamisen osalta merkittävät tekijät kasvihuonekaasupäästöjen syntymiseen ovat valmistamisen päästöt ja polttoai-neiden käyttö. Näitä voidaan pienentää käyttämällä kierrätysmateriaaleja val-mistuksessa, mahdollisimman lähellä rakennuspaikkaa tapahtuvalla tuotannolla ja valmistusmateriaaleilla, jolloin kuljetusmatkat jäävät pieniksi, sekä käyttämäl-lä biopolttoaineita (ks. kohta 7 ja 11).

3 Kaupunkisuunnittelu 1900–luvulla, johdantoa kaupunkisuunnitteluun

Onko rakennus kone? Näin väittää ehkä tunnetuin urbanisti Le Corbusier. Vaikka uskoisimmekin tähän väittämään, on ehdottomasti esitettävä jatkoväittäjä: jos kaupunki, tai rakennus on kone, mikä on sen substanssi nykyisessä 2010-luvun maailmassa ja nykyihmisen maailmankatsomuksessa? Le Corbusierin kaupunkisuunnittelun teorioista ei enää ehkä ole jäljellä muuta kuin villejä visioita puutarhakaupunkeineen, mutta voidaan kuitenkin huomioida se, että periaatteessa suurten rakennuskompleksien ja avoimen tilan ideaali voisi jopa olla ihanteellinen, jos tällaisia voitaisiin vapaasti toteuttaa. Pois lukien se, että toiminnot olisivat täysin eriytetyt ja arkkitehtuuri standardoitua ja monotonista. Tällaisesta arkkitehtuurista ja yhteiskunnasta tulee enemmänkin mieleen dystopiat, kuin monipuolinen ja osallistumiseen mahdollistava nykyaikainen kaupunkirakenne.

Tosiasia kuitenkin on, että nykyihmisen maailma on jo pitkälle rakennettu edellisten sukupolvien ihanteiden ja tulevaisuuden visioiden perusteella. Kaupunkiympäristö on kahlittu asemakaavoihin, sääntöihin ja määräyksiin ja jo toteutettuihin rakennuksiin. Olemassa olevaa kaupunkikuvaa voidaan visuaalisesti ja toiminnallisesti muokata oikeastaan vain arkkitehtisuunnittelulla uudisrakennusten ja korjausrakentamisen osalta. Vain täysin uusien asuinalueiden suunnittelussa voidaan ottaa huomioon pyrkimykset tuoda asuminen, työ ja kaupankäynti lähemmäs toisiaan, panostamalla joukkoliikenteeseen, jalankulkuyhteyksiin sekä erilaisten asumismuotojen sekoittamiseen (omistusasuminen, vuokra-asuminen).

Kaupunki- ja yhdyskuntasuunnittelu mahdollistaa alueellisiin ongelmakohtiin puuttumisen, kuten suurien lähiöiden muodostamat sosiaalitaloudelliset ja yhteiskunnalliset ongelmat (väestön ikärakenne ja sosiaalinen asema, mahdollisuudet liikkuvuuteen työn perässä, palvelurakenteiden puutteet ja rakennusten laatu ja määrä). Kaupunkirakenteen harkittu muodostaminen ehkäisee parhaimmassa tapauksessa syrjäytymistä ja mahdollistaa osallistumisen yhteiskunnalliseen toimintaan riippumatta henkilökohtaisista lähtökohdista.

Rakennetun ympäristön hyvällä suunnittelulla on oleellista merkitystä myös rakentamisen ja liikenteen aiheuttamien päästöjen hallintaan sekä hillitsemiseen. Liikennesuoritteiden määrää voidaan huomattavasti vähentää, jos yhdyskuntarakennetta voidaan tiivistää.

Suomessa asumiseen ja rakentamiseen kuluvan energian osuus energian kokonaisenergiankäytöstä on yli 40 % ja kasvihuonekaasupäästöistä lähes 40 %. Luvut ovat vielä suurempia, jos niihin lisätään liikenteen vaikutukset, eli yhteensä noin 60 % (7). Tämä summa on huomattavan suuri. Yhdyskuntarakenteen kehitys ja muoto heijastuu eittämättä Suomen energiankulutuksen ja päästöjen kertymään. Hajanaisen kaupunki/yhdyskuntarakenteen edellyttämien laajempien palveluverkostojen, esimerkiksi kunnallistekniikan, rakentaminen ja ylläpito kuluttavat enemmän energiaa verkoston käyttöiän aikana verrattuna ehyeen (tiiviseen) yhdyskuntarakenteeseen. Kaavoitettujen tonttien pitäminen tyhjänä investointipäätösten puuttuessa, tai muusta syystä, pitävät koko alueen verkoston vajaakäytössä. Tällöin verkostojen ja palveluiden rakentamisesta ja käytöstä aiheutuvat päästöt suhteessa käyttäjämäärään kasvavat.(7;11.)

Jotta ymmärtäisimme nykyistä kaupunkirakennetta, tulee ymmärtää historiaa. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi kaupunkisuunnittelun historiaa ja esitellään muutamia niin sanottuja kaupunkiteorioita.

3.1 Funktionalistinen kaupunkisuunnittelu 1900-luvun alussa

Länsimaisen yhteiskunnan nopea teollistuminen 1800-luvulla ja jälkiteollistuminen 1900-luvun alussa johti moniin yhteiskunnallisiin muutoksiin. Työn perässä tapahtuva muutto kaupunkeihin johti tarpeeseen muuttaa kaupunkirakennetta. Väestön kasaantuminen tietyille alueille kasvatti rakentamisen tarvetta. Pyrittiin tehokkaaseen yhteiskuntaan ja maksimaaliseen tuottavuuteen, tämä koski myös maankäyttöä. Kasvavan väestön tarpeisiin tuli tarjota parempia liikkumis- ja kommunikaation välineitä. Tuli tarve rakentaa paljon, tiiviisti ja korkealle ja nopeasti. Teknologian kehittyminen tarjosi mahdollisuudet tähän. Elementtirakentaminen kehitettiin rakennustuotannon tarpeisiin. 1900-lukulainen kaupunki-

suunnittelu tähtäsi tarkoituksenmukaisuuteen ja käytännöllisyyteen asuinalue-suunnittelussa sekä yksinkertaistettuihin riisuttuihin rakennuksiin ja julkisivuihin (ei art nouveau). Tunnetuimpia funktionalismin puolestapuhujia olivat CIAM (Congres Internationaux d`Architecture), Bauhaus ja de Stijl.

3.1.1 Bauhaus 1919–1933

Bauhaus oli arkkitehtuurin ja taiteen yhdistetty oppilaitos Saksan Weimarissa. Koulun perustaja oli Walter Gropius. Bauhausilainen kaupunkisuunnittelu voidaan tiivistää seuraavasti: suorakaidemalli, eriytyt toiminnot ja satelliittikaupunki. Satelliittikaupunki on muunnelma Ebenezer Howardin puutarhakaupungista (ks. kuva 3.4.).

Satelliittikaupunki muodostuu sarjasta asuinblokkeja, jotka noudattavat xy-koordinaatistoa suorakulmaisella alueella ja joita erottaa ns. bulevardit, tai pitkät kadut pohjois-eteläakselilla. Blokit on yhdistetty toisiinsa rautatiellä. Palvelut kuten kaupat sijaitsevat itä-länsisuuntien kaduilla ja julkiset rakennukset sijoitetaan kaupungin laidalle. Mallin tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman tiivis ja tehokas kaupunkirakenne verrattuna väkimäärään. Bauhausille tyypillisiä materiaaleja ovat lasi-, teräs- ja betonirakenteet.

3.1.2 CIAM 1928–1959

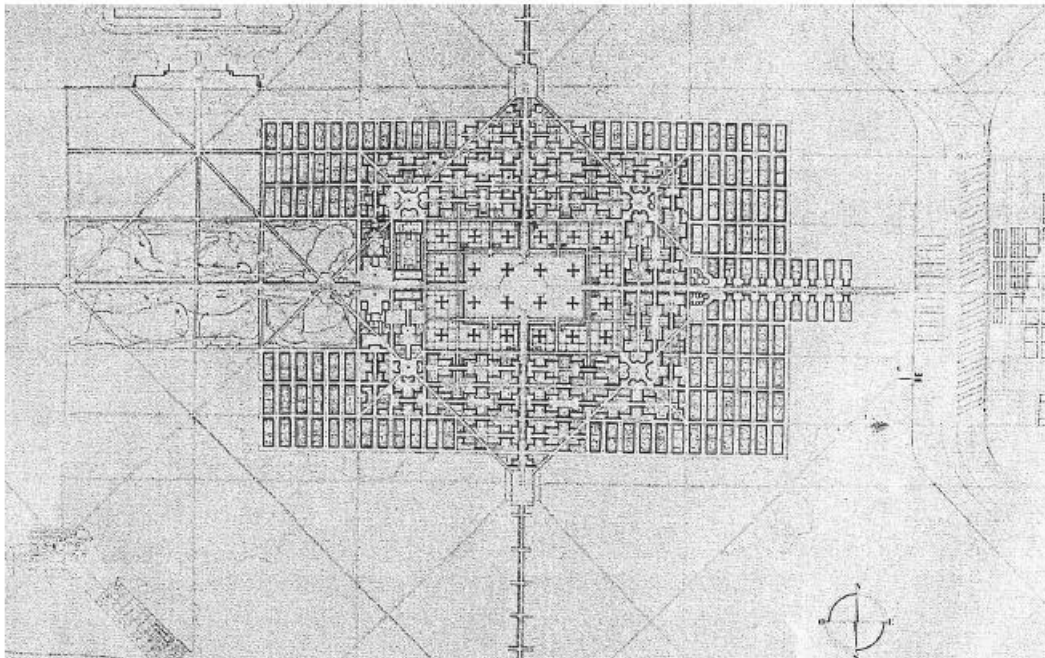
CIAM oli Sveitsissä 1928 perustettu arkkitehtijärjestö, mutta myös kokoussarja, joissa laadittiin ohjeita moderniin kaupunkisuunnitteluun. Kokouksissa käsiteltiin mm. arkkitehtuurin ilmaisua, koulutusta sekä hallinnollisia yhteyksiä. Suunnittelun pääpiirteet olivat toiminnallinen vyöhykkeistäminen (eriyttävät viheralueet) ja standardisoidut talotyypit kasvavan väestön tarpeisiin.

Tunnetuin CIAM:ssa vaikuttanut arkkitehti oli Le Corbusier. Hänen ideansa oli kaupunkirakenteen muokkaaminen sosiaalisista lähtökohdista. Kaiken lähtökohdista oli muoto eli geometria vastaan kaaos. Arkkitehtuurin tuli olla suorakulmaista, korkeaa, kontrolloitua ja tiivistä. Kaupunkirakenteen tuli toimia kuin ko-

ne. Liikkumisen tuli olla mahdollisimman helppoa. Pilvenpiirtäjät olivat Le Corbusierin kaupungin ydin. Keskustornit olivat valtavia työpaikkojen ja toiminnan keskittymiä, joiden ympärille sijoitettiin 60-kerroksisia asuintorneja. Tornien väliin jäivät laajat puistoalueet rauhoittivat ympäristön melulta. Puistoalueille ei myöskään saanut rakentaa. Urbaanin kaupungin ulkopuolelle sijoitettiin puutarhakaupunkeja, joista asukkaat kävivät keskustorneissa työssä hyödyntäen joko junaa tai autoa.

Arkkitehtuuri oli mahdollisimman standardoitua ja perustui teräsbetonirunkoon. Toiminnan tuli tapahtua rakennusten sisällä, tällöin ympäröivä puistotila voitiin maksimoida. Kaupunkia siis rakennettiin vertikaalisesti, horisontaalisen laajenemisen sijaan (12). Asemakaavoitusta on hyödynnetty monissa maissa esim. Sao Paulossa, Brasiliassa, mutta kokonaista asemakaavaa ei ole ilmeisesti missään hyödynnetty.

Alla olevassa kuvassa 3.1. on esitetty yksi Le Corbusierin tunnetuimmista asemakaavoista Villa Contemporaire.



Kuva 3.1. Villa Contemporaire. Keskellä ovat toimistotornit, joita ympäröivät asuintornit. Teiden risteyskohdassa on lentokenttä ja metrojen/ junien maanalainen liittymäkohta. (12.)

Pohdintaa

Kadut ja katutilojen toimivuus on kaupungeissa tärkeää. Funktionalistisen kaupunkisuunnittelun ongelma on siinä, että teiden ja väylien merkitys on määritetty niin, että niillä oleva toiminta perustuu liikkeen mahdollistavuuteen (autoistuminen). Katutilan ja yhteistilan määrittely on supistettu niin, että käyttäjien mahdollisuus sosiaaliseen kontaktiin ei toteudu.

Puistoalueet ja väylät ovat valtavia. Asuinkompleksit ovat valtavia. Vyöhykkeittäin suunniteltu kaupunki johtaa siihen, että asuinalueen ja toimintojen pakottamina asukkaiden kanssakäyminen rajoittuu vain tälle alueelle ja kyseisen alueen toimintoihin. Tämä taas johtaa helposti slummiutumiseen, kun yhteiskunnan sosiaaliluokat lokeroidaan eri alueille ja ryhmien välistä kanssakäymistä ei tapahdu (lähiö vs. keskusta) Tämä taas voi johtaa kiinteistöjen arvon alenemiseen tai toisaalla arvon nousuun.

Suuren ihmismäärän tiivistäminen pienelle alueelle ilman mahdollisuutta vapaaseen oleskeluun ympäröivässä - ei jäsennellyssä - tilassa on mahdoton ajatus, koska tiet ja kadut ovat eriytetty omilla vyöhykkeillään. Väliin jäävät suuret alueet, joiden toimintoja ei ole määritetty. Korkea rakentaminen aiheuttaa ongelman henkilöautoilulle, koska pysäköintitilaa ei ole. Maata ei omisteta, vaan se on yhteistä, mutta sillä ei voi tehdä mitään. Lisäksi monotoninen ja standardoitu rakentaminen tappaa lopunkin yksityisyyden.

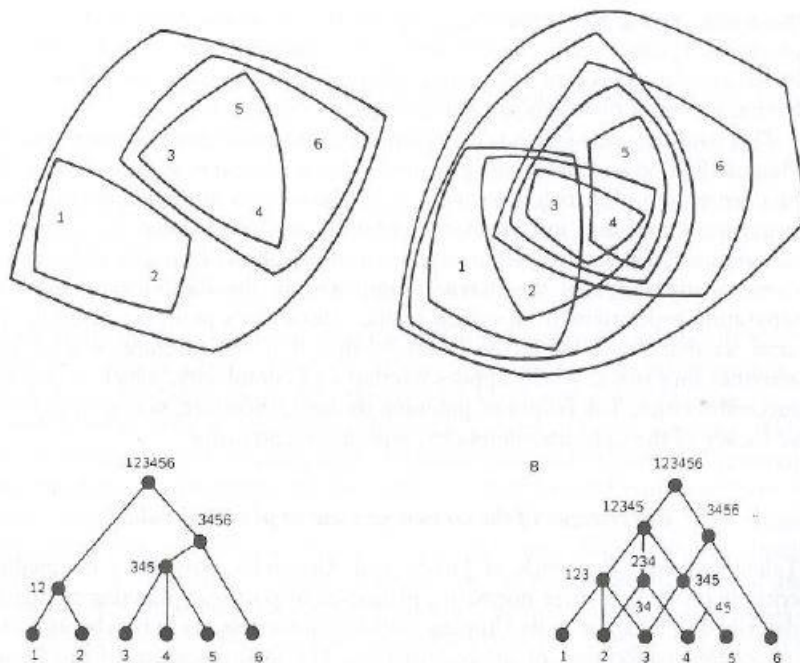
Tehdasalueiden ja nukkumalähiöiden elämä toimii aikataulun mukaan. Kaupunki ei elä vaan ajoittain kuolee. Vaikka mahdollisimman nopeat liikenneratkaisut, kuten rauta- ja maantiet, mahdollistaisivat siirtymisen paikasta toiseen, ei se ratkaise ongelmaa eri alueiden tasapuolisuudesta.

3.2 Kaupunkisuunnittelu 1945 - 2000, kaupunkiteorioista systeemianalyytiin

Kaupunkisuunnittelu alkoi kehittyä toisen maailmansodan jälkeen pois päin urbanistisista mallikaupungeista. Kaavasunnittelussa suuntauduttiin pois päin

tiukoista muodon, eli rakenteen, sanelemista kaupunkiympäristöistä, kohti moniulotteista, toimintalähtöistä ekosysteemiä. Oleellista oli, että tajuttiin, tai ainakin yritettiin tajuta, mistä kaupungeissa itse asiassa oli kyse.

Alla olevassa kuvassa 3.2. on osoitettu kaupungin eri rakenteiden yhteydet ns sipulimallilla. Mallissa oleellista on huomata, että alueiden yhteydet ovat moninaisempia ja ns. sosiaalinen ohjautuminen paljon monipuolisempaa kuin tiukkaan määritellyssä eritellyssä kaupunkirakenteessa. Kaupunkirakenteet eivät ole irrallisia vaan niiden yhteydet ovat moninaiset, ja ne ovat toisistaan riippuvaisia esimerkiksi tiestön tai palveluiden suhteen. Kaupungit ovat siis yksinkertaistettuna systeemejä ja niitä tulee tarkastella systeemiteorian avulla. Kuten Brian Mc Loughlin on todennut; ” The components of the urban system are land uses and locations which interact through and with the communication networks” (13). Puutarhakaupunkimalli (vasen puoli) perustuu eriytettyyn rakenteeseen.



Kuva 3.2. Kaupunkirakenteiden riippuvuussuhteet toisiinsa nähden, vasemmalla on ”lehtimalli” ja oikealla ”sipulimalli”. (13.)

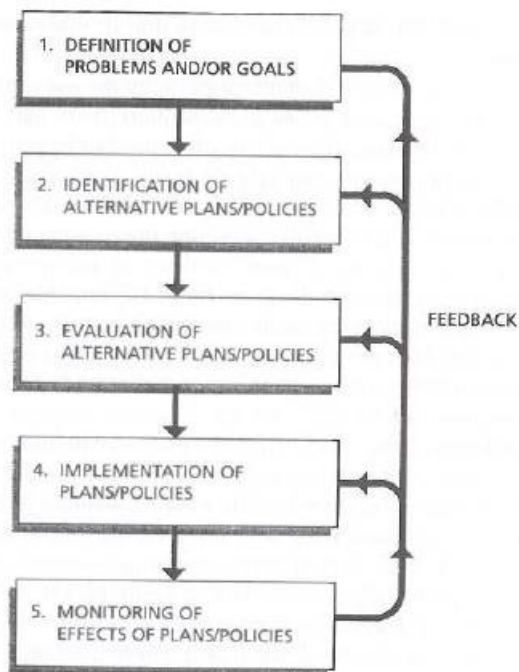
Toisen maailmansodan jälkeisen ajan tarpeisiin tarvittiin nopeaa suunnittelua kasvavan väestön tarpeeseen. Lisäksi haluttiin parantaa huonoja asuinoloja varsinkin teollistuneissa suurkaupungeissa. Demokratialiikkeen vahvistuttua vaatimukset parempien elinolosuhteiden saamiseksi lisääntyivät nopeasti. Kaupunkien väestömäärän kasvua täytyi joko hillitä tai kontrolloida ja tähän pystyttiin vastaamaan juuri kaupunkisuunnittelulla. Kulkuyhteyksien parantaminen oli oleellista autoistumisen kasvaessa. Eri alueiden välisen liikenteen tuli tapahtua helposti ja nopeasti, kuitenkin kaupunkirakenteen yhtenäisyyttä rikkomatta. Ongelmana olivat juuri vanhat kaupunkirakenteet, jotka eivät mahdollistaneet auto-liikennettä mm. katujen leveyden ja jalkakäytävien puutteen takia. Maaseudun eheyttä pyrittiin takaamaan sillä, että kaupunkirakenteelle pyrittiin asettamaan rajat, toisin sanoen urbaania laajentumista maaseudulle pyrittiin hillitsemään. Korkeamman ja tiiviin ja matalan ja harvan rakentamisen yhdistämiselle haettiin sopivaa muotoa. Puutarhakaupunkien suosiminen oli osoitus vanhan kylämäisen ja matalan rakentamisen suosimisesta. (13.)

Ennen ja jälkeen toisen maailmansodan eurooppalainen kaupunkikaavasuunnittelu ei ollut kovin kehittynyttä. Suunnittelu oli eriytetty yleensä arkkitehdeille, joiden tuli rakennuksia suunnitellessaan toteuttaa ohella myös kaupunkirakenteen suunnittelu, toisin sanoen sanella kaupunginmalli omalla ”pääsuunnitelmaltaan”. Kaupunkisuunnittelu oli lähennä fyysisen tilan harjoitelma rakennuksista ja asumuksista, joita tulee suunnitella, eli tekninen suoritus.

Kaavasuunnittelussa ei kiinnitetty huomiota kaupunkitekniikkaan, yhteistoimintaan ja liikkuvuuteen eri alueiden välillä eikä asuin-, työpaikka-, ja teollisuusalueiden poliittissosiaaliseen toimintaan, saati eri resurssien saatavuuteen alueille. Uusien ja tulevien asukkaiden mielipiteitä ei juurikaan kysely, mikä johti ongelmiin esimerkiksi Isossa-Britanniassa, jossa vanhoja asuinalueita raivattiin kylmästi maantasalle uusien liikenneyhteyksien ja lähiöiden tieltä. Asukkaiden sopeuttamisessa epäonnistuttiin totaalisesti, mikä johti sosiaalisiin ongelmiin esimerkiksi Sunderlandissa ja Bethnal Greenissä. Suunnittelijat toteuttivat edelleen siistiä, järjestäytyneitä ja eriytettyä kaupunkirakennetta vaikka pyrkivätkin omasta mielestään parempaan suunnitteluun. (13.)

Suunnittelua kohtaan osoitettu kriittisyys johti kaupunki- ja yhdyskuntasuunnittelun laadun kehittymiseen ja systeemiteoreettisen tarkastelumallin syntyyn. Systeemiteoreettinen malli asiayhteyksien tutkimiseen perustuu asiayhteyksien selvittämiseen ja analysointiin. Alla olevassa kuvassa 3.3. on selkeästi osoitettu toimintatapa, jolla asioita voidaan tutkia. Nykyaikaisempi Mindmap–tekniikka on sovellus tästä mallista.

Jotta voidaan parantaa nykyistä tai tehdä uutta joudutaan vastaamaan esitettyyn tarpeeseen tai ongelmatilanteeseen. Tilanne tulee analysoida ja sen perusteella voidaan esittää toimenpiteitä tai ratkaisuja joiden perusteella voidaan arvioida suunnitelmien toteutettavuutta eri malleilla tai simulaatioilla. Analysoinnit tulee arvioida joka vaiheessa ja niihin tulee pystyä suhtautua kriittisesti. Analysointityön perusteella voidaan päättää, mikä toteutusmalli tai ratkaisu valitaan käyttöön ja miten se toteutetaan konkreettisesti. Toiminnan tulee olla julkista ja suunnittelussa tulee ottaa huomioon kansalaismielipide esim. tiedottamalla, haastatteluilla tai kuulemisilla. Kuvassa 3.3. on systeemiteoreettisen prosessin analysointikaavio.



Planning as a process of rational action

Kuva 3.3. Suunnittelun kulku ja vaikutussuhteet- analysointikaavio.(13.)

Urbanismikriittisyys ja kaupunkisuunnitteluun kohdistunut arvostelu johtivat systeemiteoreettisen ajattelun kautta kaupunki- ja kaavasuunnittelun tarkkaan ohjaukseen määräysten ja lakien (Maankäyttö ja rakennuslaki, MRL) avulla. Kaavasuunnittelun tulee olla joustavaa ja päivitettävissä olevaa, sekä sen tulee mahdollistaa muutokset. Kehitettiin kaavamennettely yleiskaava-, maakunta-, asema- ja asuinaluekaavatasolle. Sääntelyn tavoitteena on taata, että kaavasuunnittelun tulee olla jatkuva prosessi, jota pystytään tarkkailemaan, analysoidaan ja valvomaan.

3.3 Kaupunki ilman autoja

Yhdysvaltalainen kirjailija ja toimittaja J.H. Crawford esittää erilaisen tulkinnan kaupunkirakenteesta ja sen toimivuudesta. Crawfordin ideologia on kaupunki ilman autoliikennettä. Autoistuminen olisi viety minimiin niin, että logistiikka määrittelee maksimiliikennemäärän ja henkilöautoilu olisi korvattu mahdollisimman paljon joko julkisella liikenteellä (junat, metrot, bussit), tai pyöräilyllä ja kävelyllä.

Nykyisiin olemassa oleviin rakennettuihin ympäristöihin Crawfordin malli ei kuitenkaan sovi, sillä koko maankäyttö tulisi suunnitella juuri liikenteen ja ihmisten liikkuvuuden (kulku työpaikalle, kaappoihin, palveluihin) ehdoilla. Liikkuvuuden (mobility) ja liikenteen (transportation) tulee olla mahdollista samalla, kun kustannuksia ja haittavaikutuksia pyritään pienentämään.

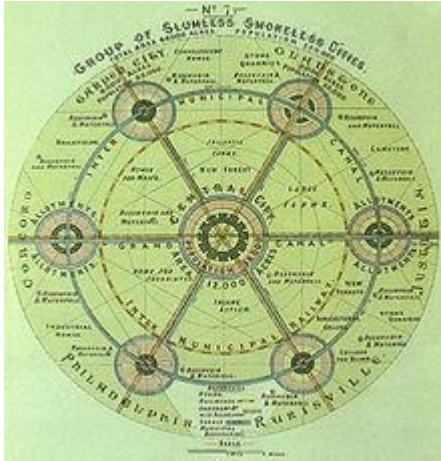
Vaihtoehtona autoilulle voidaan pitää julkista joukkoliikennettä, kuten bussiliikennettä. Syitä siihen miksi joukkoliikennettä ei kuitenkaan käytetä, on sen riippuvuus nykykalustosta, tiestöstä, matkustamisen hinnasta ja matka-ajasta sekä siitä, että mahdollisuus päästä paikasta A paikkaan B ei välttämättä mene juuri sitä optimoiduinta mahdollista reittiä, eli periaatteessa kyse on kokonaan henkilön omasta mukavuudenhalusta. Miten sitten turvataan liikkuvuus ja toiminnot kaupunkisuunnittelussa, jos pyritään eroon henkilöautoilusta? Crawford esittää ratkaisuksi seuraavia standardeja: rapid transport, nearby stations, nearby green space, four-story buildings, economical freight transport. Termejä on havainnollistettu taulukossa 3.1. (14.)

Rapid transport	Nearby stations	Nearby green space	Four story buildings	Economical freight transport
<ul style="list-style-type: none"> • nopeat yhteydet kaikkialle kaupunkialueella • siirtymä alle tunnissa (1 h) <ul style="list-style-type: none"> • (kaupungit >1 milj asukasta) • ei vaihtoja liikennejärjestelmän välillä • liikutaan jalan ja pyörällä ja edelleen junalla, tai metrolla 	<ul style="list-style-type: none"> • jotta nopea liikkuvuus taataan tulee mahdollisuus liitännäliikenteelle olla mahdollisimman lähellä • kulku pysäkille saa maksimissaan kestää 5 minuuttia • huomioitava ikäjakama ja asukasrakenne liikennejärjestelyissä 	<ul style="list-style-type: none"> • mahdollisuus päästä luontoon viiden minuutin kävelymatkan etäisyydeltä omalta kotiovelta • mahdollisuus ekologiseen pienviljelyyn 	<ul style="list-style-type: none"> • rakennukset alle 5 kerrosta <ul style="list-style-type: none"> • valoisuus • avoin tilakokemus • paljon rakennuksia • oleskelutila laajennettu sisätiloista kaduille • yhteisöllisyys • kadut ihmisille 	<ul style="list-style-type: none"> • nopea logistinen liikenne • keskitetty logistiikka-alue • keskitetty teollinen toiminta • tehostettu logistinen järjestelmä • kuljetus junalla rekkojen sijaan • pienet siirtomatkat

Taulukko 3.1. Carfree cityn suunnitteluperiaatteet.

J. H. Crawfordin väittää autoistumisen olleen teollistuneen yhteiskunnan hirvittävä virhe, joka paitsi tappaa luonnollisen yhteisöllisyyden ja sosiaalisen kanssakäymisen, hävittää kauneuden kaupungeista ja asuinalueista paitsi saasteilla ja hiukkaspäästöillä, myös melulla. Liikenteen vaikutukset luonnonvarojen ja energiankulutukseen ovat merkittävät. Nykyisten kaupunkien rakenne on hänen mielestään pitkälti muodostunut autojen ja raskaan liikenteen ehdoilla (14). Samanmuodolla varmaankin viitataan jälkiteollistuneeseen (1900-luvun jälkeiseen) yhteiskuntaan ja 1900–2000-vuosisatojen arkkitehtuuriin, mutta väittämä sotii kuitenkin kaupunkisuunnittelun yleisiä perusperiaatteita vastaan (kaupungin kehittäminen, suojelu ja säilyttäminen).

On huomattava, että Crawfordin kaupunkimallissa on selviä yhtymäkohtia esimerkiksi Ebenezer Howardin puutarhakaupunkimallin kanssa (kuva 3.4.), kuten puistojen ja viheralueiden suuri määrä ja mahdollisuus päästä luontoon melkein pä kotiovelta sekä eri osien vyöhykkeisyys (lehtimalli) sekä näiden yhtymät toisiinsa. Mallit eivät ideaalirakenteellaan poikkea juuri toisistaan. Crawfordin mallissa kuitenkin liikenteen määrä on työstetty niin, että autoliikennettä ei juuri lainkaan ole.



Kuva 3.4. Ebenezer Howardin puutarhakaupungin kuusilohkoinen lehtimallia muistuttava kaupunkialueen asemakaava. (7.)

Lohkotettu kaupunkimalli

Crawfordin autoton kaupunkimalli perustuu kuuden lohkon yhdistelmästä muodostuvaan kaupunkimalliin. Lohkotetun kaupunkimallin järjestelmä on suunniteltu toteutettavaksi kaupungeissa, joissa asukkaita on noin 300.000 - 3.000.000. Mallissa rakennuskanta muodostaa 20 % ja viheralueiden osuus 80 % kokonaisalasta. Jokainen lohko jakaantuu alueisiin, joiden halkaisija on noin 800 metriä. Alueet noudattavat samaa klassista ympyrämuotoa kuin kaupunkiasemakaavakin. Jokaisen alueen uloimman puoliskon kolmannes muodostaa huoltoalueen, joka on varattu teollisuudelle ja pysäköintialueeksi (ks. kuva 3.5.). Huoltoalueille ei sijoiteta asutusta. (14.)

Lehtimalli mahdollistaa tehokkaat liikennejärjestelyt, ja siirtymät jäävät ajallisesti lyhyiksi. Tavoitteena on mahdollistaa mahdollisimman suuri viheralueen määrä verrattuna rakennettuun ympäristöön. Kuitenkaan mahdollisuutta laajentaa aluerakennetta ei suljeta pois, joten alueet voidaan tarvittaessa rakentaa yhteen. Alueiden määrää ei myöskään rajoiteta kuuteen, vaan se on sovellettavissa kaupungin tarpeen mukaan, kuitenkin, jos alueita on alle 50, pitää aluetiheyttä muuttaa, tai muuttaa lohkomallista asemakaavaa, koska alueen yhdyskuntarakenteen käyttöaste muuttuu alimitoitetuksi. Yli 200 alueen muodostama lohko taas venyttää matkustusaikoja lohkolta toiselle yli 50 minuuttiin, joka on liikaa,

jos tavoite on nopeasti paikasta toiseen liikkumisen mahdollistava kaupunkirakenne (ks. kuva 3.6.).(14.)

Lohkojen muodostamille alueille on annettu suunnittelustandardeja, jotka jokainen alue tulee täyttää. Jokaisen alueen asukaslukumäärän tulee olla vähintään 12.000. Alueen alan tulee olla vähintään 45 hehtaaria ja halkaisija 760 metriä. Alueet kaavoitetaan ympyräkaavaan. Alueiden ominaispiirteet määräävät sen arkkitehtuurin, kuitenkin kortteille sijoittuvien rakennuksien arkkitehtuuria ei muuten rajoiteta. Tavoitteena on mahdollisimman monipuolinen aluerakenne keskieurooppalaiseen tyyliin, eli esim. väritystä ja julkisivumateriaalia ei rajoiteta. Liitäntäliikenne sijoitetaan alueen keskelle, jolloin kävelymatkan kesto jää lyhyeksi maksimissaan 5 minuuttia reunalta keskelle. Kaupalliset toiminnot sijoitetaan myös alueen keskelle. (14.)

Alueilla sijaitsevien kortteiden kaavoitusta ei tarvitse sitoa ruutukaavaan, mikä mahdollistaa viheralueiden ja asuinrakennusten vaihtelun ja monipuolisen kaupunki-ilmeen. Tavoitteena on sijoittaa pieni puistoalue teiden risteyskohtiin, jos se on mahdollista. Rakennusten korkeus on rajoitettu neljään kerrokseen. Matala rakentaminen mahdollistaa päivänvalon kulkeutumisen sisätiloihin ja korttialueiden sisäpihat mahdollistavat pääsyn luontoon alle viidessä minuutissa.



Kuva 3.5. Yhden lohkon aluemalli. Reunalla huoltoalue P. Asemakaava muodostuu kuudesta lohkosta ja kokoavasta keskustasta. (14.)

	Customary Units	Metric
Population	1,000,000	
Site Size	100 sq. mi.	250 sq.km
Developed Area	20% of total site	
Green Area	80% of total site	
Districts	100	
District Population	12,000	
District Diameter	2500 ft.	760 m
District Density	FAR = 1.5	
Longest Journey	35 minutes	
Automobile Traffic	None	

Kuva 3.6. Lohkomallin avainluvut yhteenvetona. (14.)

Tavaroiden ja ihmisten vapaa liikkuminen on toimivan autovapaan kaupungin suurin haaste. Lohkojen välinen liikkuminen hoidetaan joko metrolla tai paikallisjunalla. Logistiset toiminnot keskitetään huoltoalueille, jotka sijaitsevat lohkojen reunoilla. Huoltoalueet toimivat nykyisten logistiikka-alueiden tapaan (varastot ja satamaterminaalit). Tavaroiden edelleenjakelu hoidetaan raideliikenteellä, eli rekkaliikennettä ei tarvita niin paljon kuin nykyisin. Tehdastoiminta, tai tuonti/vienti keskitetään raideliikenteen läheisyyteen. Suurtuotanto sijoitetaan huoltoalueelle. Asuinalueiden sisäinen kuljetus hoidetaan sähköautoilla tai muilla sähkökäyttöisillä kuljetusvälineillä. Asukkaat liikkuvat joko jalan tai polkupyörällä. Metrot ja junat varustetaan niin, että pyörien kuljettaminen mukana on mahdollista. (14.)

Pohdintaa

Vaikka tavoitteena ei olisikaan mallin orjallinen noudattaminen, on kaupunkimalli kutakuinkin idealistinen. Ympyräkaavamallin toteuttaminen käytännössä lie-nee aika kankeaa ja kustannuksiltaan kallista (kaartuvat muodot vs. arkkitehtuuri).

Autottoman kaupungin mallia ei kokonaisuena voitane koskaan toteuttaa todellisesti missään, johtuen pitkälti siitä, että suurin osa rakennetusta ympäristöstä on jo luotu. Kaupungin luominen tyhjästä on absurdi ajatus. Vaikka tällainen tilanne olisikin käsillä, täytyy hyödyntää jo olemassa olevaa tiestöä ja muuta yhdyskuntatekniikkaa (edellyttäen, että sellainen on olemassa), mikä blokkaa osan mallin hyödyistä pois, esimerkiksi huoltoalueen osalta. Liikenteen muodon ja määrän muuttaminen ei enää vastaa alkuperäisen mallin hyötyjä eikä ideaa.

Oletetaan, että mallista otettaisiin vain yksi lohko ja jätetään siitä huoltoalue pois. Tämä tarkoittaa sitä, että kuljetuslogistiikka ei enää toimi alkuperäisen tarkoituksensa mukaisesti. Lohkon muoto voi olla joko silmukka tai kaksi haaraa. Oli sitten kyse kummasta vaan, on molemmissa tapauksissa suuri vaara, että lohkon alueet alkavat lähiöistyä eli slummiutua, koska alueet ovat irrallaan muista kaupunkirakenteista. Ainoastaan 20 prosenttia kokonaisalasta on rakennetua alaa, joten eriyttävät alueet - joiden idea on toimia väestöä palvelevana virkistysalueena - voivat alkuperäisideasta poiketen toimia juuri päinvastoin, jolloin normaalia kanssakäymistä ja toimintaa ei ole tai sitä ei saada järjestettyä.

Malli perustuu liikkeeseen. Liikkeen syy ja kohde sen sijaan on jäänyt hieman epäselväksi. Jokainen alue on itse asiassa pieni kaupunki kaupungissa. Näiden minikaupunkien logistiikka perustuu asukkaiden liikkeeseen, mitä tapahtuu sitten jos liikkeeseen pakottavaa toimintaa ei ole?

3.4 Näkökulma kotimaan autoistumiseen ja kaupunkirakenteeseen

Urbanismin tavoitteena oli kaupunkialueen toiminnallinen jäsentäminen ja liikenneolojen kehittäminen (12). Vaikka tekninen vallankumous ja ryntäys kaupunkiin on jo (kaukaista) historiaa, se ei muuta sitä seikkaa, että maailmassa on miljardeja ihmisiä, joilla ainoa mahdollisuus parempaan elämään on muuttaminen työn perässä kohti suurempia asutuskeskuksia.

Suomen näkökulmasta absoluuttinen köyhyys ei ehkä ole ensimmäinen tekijä, jos harkitaan muuttoa kohti pääkaupunkiseutua, mutta tosiasia on, että kärjistettynä mahdollisuudet työhön ja toimeentuloon ovat reaalisesti paremmat Uudellamaalla kuin syrjäisemmillä alueilla. Muuttoliike kohti etelää ei ole pysähtynyt, eikä myöskään tule pysähtymään niin kauan, kunnes työssäkäyntialueita (=työpaikkoja) saadaan lisättyä tai elinoloja parannettua niissä osin maata, joissa uhkana on väestön ikääntyminen, väestöpohjan kapeneminen ja niin edelleen palveluiden näivettyminen.

Koska tulijamäärä ei vähene, ei vähene myöskään liikenteen määrä, koska yksityisautoilu on Suomessa edelleenkin suosittumpaa ja subjektiivisesti ajatellen helpompaa - joukkoliikenteen laatu ja määrä eivät kaikilta osiltaan edelleenkään ole riittäviä tai saatavuus ei kohtaa asiakasta - tulisi suhtautumista matalan ja tiiviin rakentamisen toteuttamiseen muuttaa ja hyväksyä se, että jatkuva kaupungistuminen aiheuttaa pakolla tarpeen korkeampaan ja keskitetympään rakentamiseen suurkaupunkialueilla, kuten esimerkiksi Helsingissä, Vantaalla ja Espoossa.

Lähiöitymisen uhkakuviin ja haasteisiin voidaan vastata tehokkaalla ja sosiaaliset tarpeet tyydyttävällä asuinaluesuunnittelulla. Kaavoittamisessa tulisi antaa tilaa korkeiden rakennusten suunnittelulle kaupunkialueilla. Kaupunkialueiden yhdyskuntatekniset järjestelmät ovat yleensä sellaiset, että mahdollisuudet joukkoliikenteen käyttämiseen (junat, bussit, raitiovaunuliikenne) ovat hyvät ja palvelut ovat paremmin saatavilla. Asuinaluesuunnittelu on sidonnaista paikkaan ja alueen rakennusmääräyksiin, sekä potentiaaliin (liike-elämä, investoinnin kannattavuus, houkuttavuus, alueen identiteetti), siksi Luumäen keskustaan

harvaan asutetulle pienpaikkakunnalle ei kannata rakentaa 18-kerroksista kerros- tai liikerakennusta, mutta Helsinkiin sitä voisi jopa suositella. Tätä pääsee jo todistamaan Pasilan uuden asema-alueen toteuduttua käytännössä.

Ajateltaessa pelkkiä rakennusprojektiin osallistuvia toimijoita, on pelkkä hankeprosessi jo eräänlainen toimiva kone, elävä ekosysteemi, joka toimii sen mukaan, miten sen osat toimivat keskenään. Koneen tekemä työ muodostaa joko toimivan lopputuloksen, eli rakennuksen, yhteisön ja kontekstin, mikä toimii ja elää niissä puitteissa, jotka sille on annettu. Tai sitten muodostuu jotain, mikä toimii tilana, mutta ei niinkään funktionaalisesti siinä määrin kuin mitä sillä olisi paremmalla suunnittelulla voitu saavuttaa.

Kaupunkisuunnittelun tärkeys korostuu edelleen nykyisessä tilanteessa, jossa ihmiskunta elää jatkuvasti yli varojensa. Maailman uusiutuvien luonnonvarojen kapasiteetti ylitetään joka vuosi (2). Nykymaailmassa tarvittaisiin 1.2–5 maapaltoa (riippuen maanosasta) tämänhetkisen väestön ja kulutuksen tarpeisiin (2). On löydettävä uusia tapoja uusiutuvien luonnonvarojen tuottamiseen ja hyödyntämiseen. Tämä edellyttää kestäväkehityksen periaatteita myös rakentamisessa koko rakennusprosessin osalta.

Rakennusteollisuudessa tuotettavien tarvikkeiden tuotanto, valmistus ja kuljetusprosessi kuluttavat energiaa ja raaka-aineita ja koko prosessia tulisi säätää niin, että materiaalien kierrättäminen ja uudelleenkäyttö tuotannon eri vaiheissa olisi mahdollista ja uusien materiaalien (pintakäsittelyt, lisäaineet) mahdollisuudet rakennusosien valmistamisessa voitaisiin testata ja hyödyntää erityisesti siitä syystä, että tällä voidaan vähentää materiaalihukkaa ja menekkiä.

4 Asemakaavoituksen tehtävät ja tavoitteet

Asemakaavoitus ja sen tehtävät on kirjattu maankäyttö- ja rakennuslakiin (MRL). Pykälässä 5 on asetettu tavoitteet suunnittelulle. Nämä tavoitteet koskevat kaikkia kaavatasoja. Kuvassa 4.1 on listattu alueiden käytön suunnittelun tavoitteet.

MRL §5 alueiden käytön suunnittelulle asetetut tavoitteet	1) turvallisen, terveellisen, viihtyisän ja sosiaalisesti toimivan elin - ja toimintaympäristön luominen
	2) edistää yhdyskuntarakenteen ja alueiden käytön taloudellisuutta
	3) rakennetun ympäristön estetiikan ja kulttuuriarvon säilyttäminen
	4) luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen, ympäristönsuojelu, ympäristöhaittojen ehkäiseminen, sekä luonnonvarojen kestävä käyttö
	5) yhdyskuntarakenteen toimivuus ja taloudellisuus
	6) elinkeinoelämän toiminnan edistäminen
	7) palvelujen saatavuuden edistäminen (erityisesti kevyt ja joukkoliikenne)

Kuva 4.1. Asemakaavoituksen tehtävät. (16.)

Asemakaavoituksen tarkoitus on ohjata alueiden kehittymistä, ympäristön suunnittelua ja rakentamista kestäväällä tavalla. Kaavassa määritellään, mitä ja minne rakennetaan sekä millä tavalla voidaan rakentaa. Määräykset osoitetaan kaavamerkinnöillä esim. tontin tehokkuuden, rakennusten pinta-alan ja käyttötarkoituksen mukaan. Asemakaavoituksen tehtävät kuuluvat kunnalle, poikkeuksena ranta-asemakaava, jonka laatii tontin omistaja. Asemakaavaan kuuluu myös selostusosa, jossa kerrotaan kaavan laatimisesta ja sen ominaisuuksista.(17.)

Kaavoitus tulee laatia niin, että kuvassa 4.1 asetetut edellytykset täyttyvät. Alueen toteutus ei välttämättä vastaa asemakaavassa asetettua suunnitelmaa. Ympäristökuormitukseen ja päästöjen vaikutuksiin voidaan vaikuttaa yleiskaavavaiheessa. Maakunta- ja yleiskaava asettavat alueiden käyttötavoitteet, jolloin

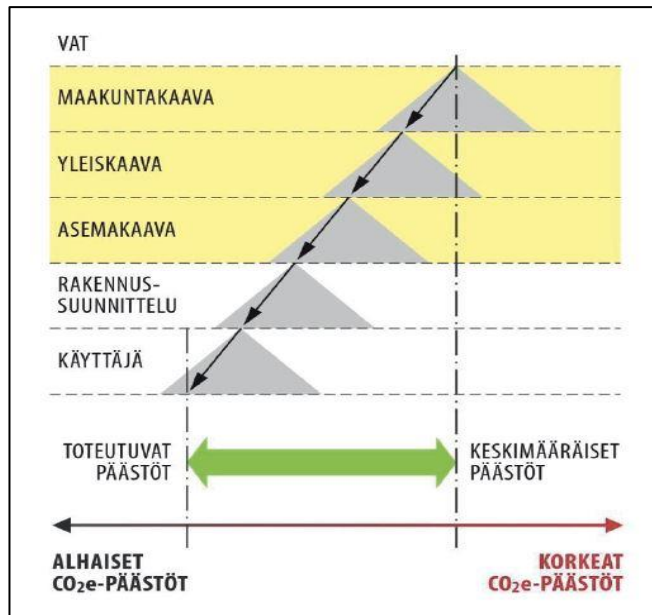
päästöjen merkitys alueelle voidaan jo tässä vaiheessa luotettavasti arvioida. MRL ei tosin edellytä CO₂-ekv tarkastelujen liittämistä kaavatarkasteluun nykytilanteessa. Asemakaavoituksessa ei voida sanella rakennusten suunnitteluratkaisuja, joilla on suurin merkitys rakennuksen CO₂-ekv päästöarvoihin.(17.)

Vuonna 2009 astuivat voimaan tarkastetut VAT-tavoitteet (valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet). Näissä tavoitteissa korostetaan alueiden käytön suunnittelun entistä painotetumpaa tavoitetta hillitä ilmastonmuutosta. Kaavoituksessa tulee pyrkiä energiaa säästäviin, uusiutuvia energiamuotoja hyödyntäviin, aluekäyttöratkaisuihin, eli ns kestäväan aluerakenteeseen. Yhdyskuntarakenteen tulee olla tiivis, eli henkilöautoilun määrä tulisi olla mahdollisimman vähäinen. Lisäksi joukkoliikenteen, kävelyn ja pyöräilyn edellytyksiä tulee parantaa, jotta edellä mainittu tavoite voidaan saavuttaa.(17.)

Asemakaavoitus ohjauksena päästöjen pienentämisessä

Rakentamismääräysten päästöohjaus poikkeaa kaavaohjauksesta, sillä rakentamismääräykset ohjeistavat uudisrakentamista asettamalla vähimmäisvaatimukset sille, mitkä rakennusten pitää täyttää, kun taas kaavaohjaus koskee laajempaa kokonaisuutta, johon kuuluu koko elinympäristö suunniteltavalla kaava-alueella. Näkökulma on siis huomattavasti laajempi kuin pelkästään yksittäisiin rakennuksiin asetettavat rajoitteet. Rakentamismääräysten ohjaus perustuu teknisiin ominaisuuksiin eikä ota huomioon alueellisia erityispiirteitä, kuten maantieteellistä sijaintia, väestönkehitystä ja kuntien ja kaupunkien erilaisia strategioita suhteessa ilmastonmuutokseen ja kestäväan kehitykseen.(17.)

Asemakaavassa alueiden välisiä eroja voidaan tarkastella laskemalla mukaan kaikki ne muuttujat, jotka vaikuttavat merkittävästi kokonaispäästötasoon. Varioimalla laskentaa eri kaavaratkaisujen välillä löydetään ne painoarvot, jotka eniten vaikuttavat alueiden ilmastokehitykseen ja kasvihuonekaasupäästöihin. Rakennussuunnittelu tehdään asemakaavan ohjaamana, joten vaikutusmahdollisuudet tätä kautta ovat suuret. Kuvassa 4.2. on osoitettu edellytykset vaikuttaa kertyväan päästömäärään eri kaavavaiheissa ideaalitalanteessa.(17.)



Kuva 4.2. VAT tavoitteet sisällyttävä ohjaava kaavaprosessi.(17.)

Ylempi kaavataso antaa edellytykset seuraavan kaavatason valinnoille. Päästöjen määrän toteutuvuus tarkentuu mitä pidemmälle suunnittelussa mennään. Lähtötaso voidaan kuitenkin määrittää maakuntakaavan perusteella, aleten niin, että lopputilanteessa käyttäjä vaikuttaa eniten CO₂-ekv päästöosuuteen omilla valinnoillaan. Tämän kuvassa 4.2. osoitetun mallin toteutuminen edellyttää johdonmukaista ja päämäärätietoista yhteistyötä eri suunnitteluvaiheissa, jolloin edellisen rajapinnan tiedot ja painotukset päästöjen rajoittamisessa on kyettävä välittämään eteenpäin aina rakennesuunnitteluun asti rakentamistapaohjeiden ja kaavaselostusten avulla (17). Ketjun katkeaminen heikentää lopputulosta. Karkeasti voidaan todeta, että jos prosessia ei ohjata maakuntakaavasta alemmille tasoille, tulevat kasvihuonekaasupäästöt jäämään tälle kaavatasolle tai voivat olla jopa laskettua keskiarvotasoa korkeammat.

Taulukossa 4.1. on esitetty asemaakaavaan liittyvät ohjausmahdollisuudet. Määrällisesti eniten voidaan vaikuttaa yhdyskuntarakenteen osalta, mikä oleellisesti vaikuttaa kaava-alueen lopullisiin päästöihin valittavan toteutusmuodon mukaan.

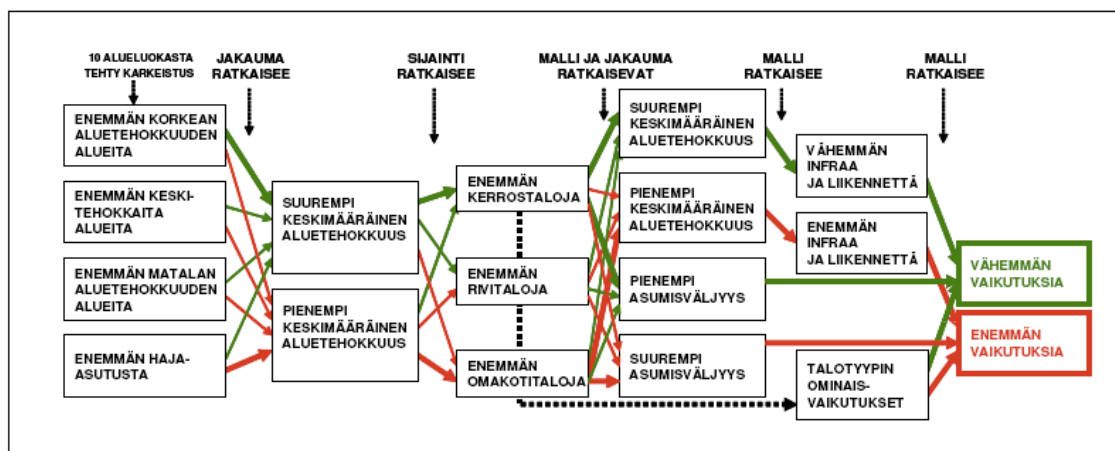
SUUNNITELUN VAIKUTUSMAHDOLLISUUDET CO₂e-PÄÄSTÖIHIN

	YLEISKAAVA	ASEMAKAAVA	RAKENNUSSUUNNITTELU INFRAN SUUNNITTELU
INFRAN (PERUSRAKENTEEN) HIILIJALANJÄLKI			
kadut, tiestö ja kevyen liikenteen väylät		määrät	rakenteet ja materiaalit
torit, aukiot ja kaupunkitilat		määrät	rakenteet ja materiaalit
vesi- ja viemäriverkostot, muu kunnallistekniikka		määrät	rakenteet ja materiaalit
kaukolämpöverkosto		määrät	rakenteet ja materiaalit
katuväläistuksen hiilijalanjälki		määrät	rakenteet ja materiaalit
INFRAN KÄYTTÖ, LIIKENNE			
rakentamisen sijainti suhteessa palveluihin ja työpaikkoihin		pääosin yleiskaavassa	
kevyen liikenteen yhteyksien toimivuus ja houkuttelevuus			
joukkoliikenneyhteydetyt		yleis- ja asemakaava luovat edellytykset	
katuväläistuksen energiankulutus		väläistun tiestön määrä	katuväläistyyppi
RAKENNUSTEN HIILIJALANJÄLKI			
rakennusten runkomateriaalit			
rakennusten ulkoverhousmateriaalit			
rakennusten perustustapa		sijainnin määrittely	rakenteet ja materiaalit
rakennusten muut materiaalit		kiistanalainen	
RAKENNUSTEN ENERGIANKÄYTTÖ			
rakennusten ostoenergiankulutus		rakentamismääräykset	
rakennusten liittyminen kaukolämpöverkkoon	yleiskaava luo edellytykset	poikkeaminen sallittua, MRL 57a §	
rakennusten muu lämmitysmuoto kuin kaukolämpö			
rakennusten sähköenergiankulutus			
piha-alueiden ja ulkorakennusten energiankulutus		vähäinen ohjaus mahdollista	
uusiutuvan energian tuotanto rakennuksessa		asemakaava luo edellytykset	
uusiutuvan energian tuotanto kaava-alueella		asemakaava luo edellytykset	
MUUT CO₂-ekv-PÄÄSTÖVAIKUTUKSET			
maankäytön (metsäpinta-alan) muutos			

Taulukko 4.1. Eri kaavavaiheissa tapahtuva ohjaus. Tumman vihreä= vaikutus mahdollisuudet ovat suuret, vaalea vihreä= suunnittelussa voidaan jossain määrin vaikuttaa päästöarvoihin.(17.)

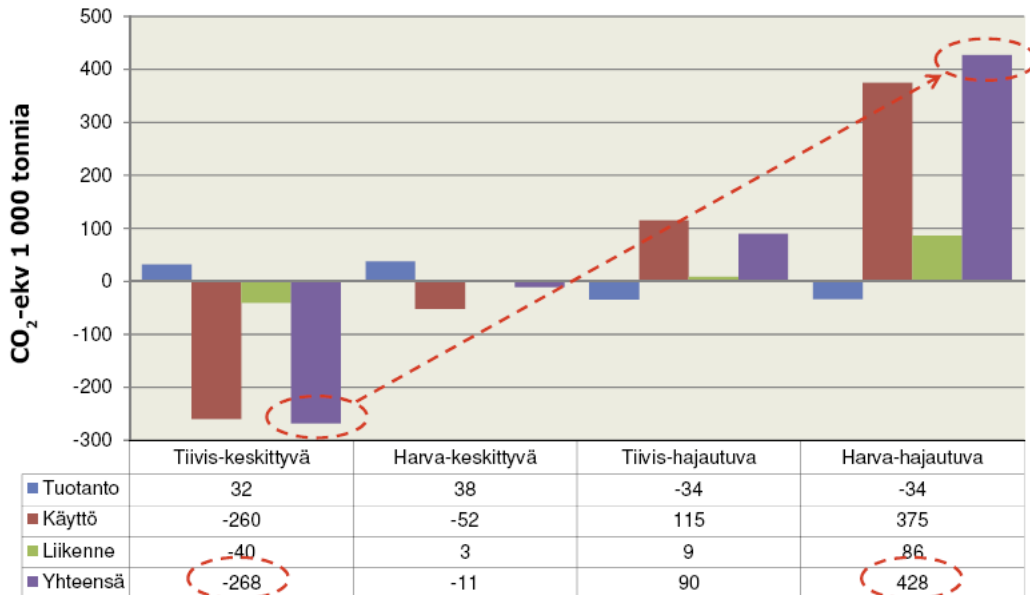
5 Yhdyskuntarakenteen sidosrakenteiden merkitys kasvihuonekaasupäästöihin

Yhdyskuntarakenteen muoto vaikuttaa suorasti liikkumiseen ja liikenneyhteyksi- en määrään. Eri vaikuttajien väliset suhteet voivat olla monimutkaisia, kuten kuvassa 5.1. on osoitettu.



Kuva 5.1. Kasvihuonepäästöjen määräytyminen yhdyskuntarakenteen mukaan. (11.)

Päästöt kertyvät siitä, miten eri rakenneosat on suhteutettu toisiinsa. Kuvasta 5.1. voidaan pelkän sidosmäärittelyn perusteella helposti todeta, että mitä harvempi ja hajautuneempi yhdyskuntarakenne on, sitä enemmän se kuormittaa ympäristöä, sekä rakentamisen, käytön että liikenteen osalta.



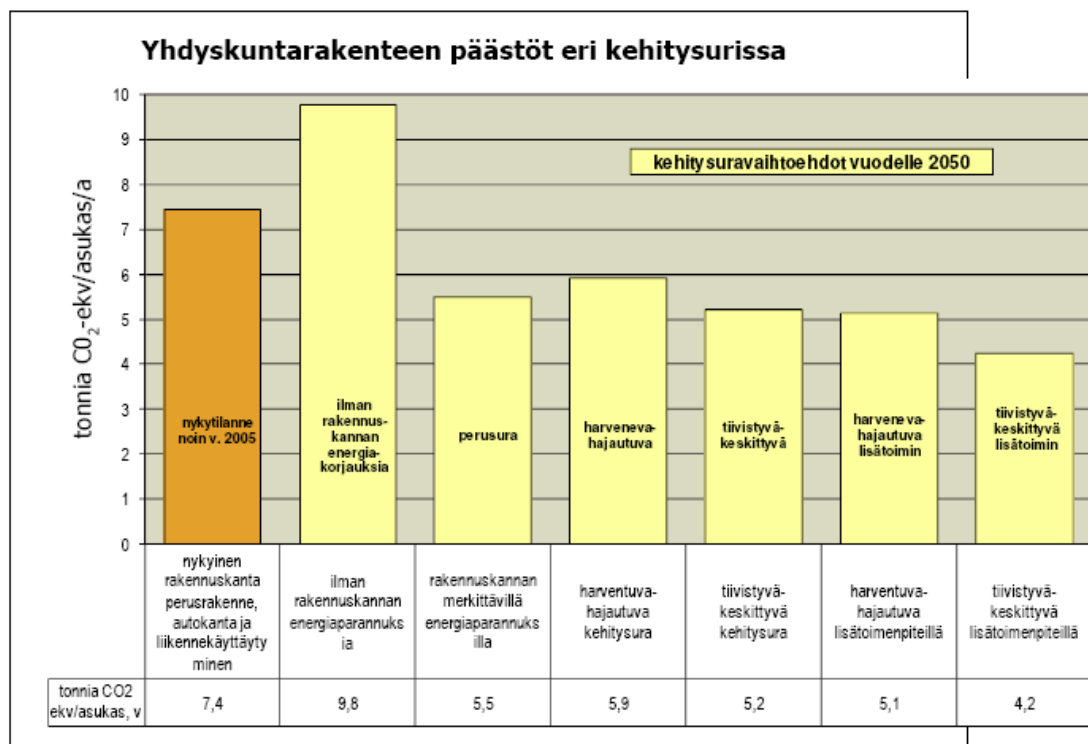
Taulukko 5.1. Kaupunkirakenteen muodon vaikutus päästökertymään.(11.)

Aluetehokkuus (e_a) on hyvä mittari kasvihuonekaasujen määrän arvioimiseen. Taulukossa 5.1. on osoitettu konkreettisesti eri kaupunkirakenteiden vaikutukset ympäristökuormaan. Harva-hajautuvan kaupunkirakenteen CO_2 -ekv on +1,63-kertainen tiivis-keskittävään kaupunkirakenteeseen verrattuna. Suomessa tällä hetkellä olemassa oleva kaupunkirakenne noudattelee mallia tiivis-hajautuva, mutta pyrkimykset tiivis-keskittävään rakenteeseen ovat ilmeisen järkeviä, kun ajatellaan Suomen ilmastopoliittisia linjauksia.

Sitran teettämien tutkimuksien mukaan liikenteen määrän kasvu on vuoteen 2050 mennessä 16-33 % suurempi kuin liikenteen määrä vuonna 2007. Kasvuennusteen määrän hajautuminen on riippuvainen käytetystä laskentamenetelmästä ja sen suhtautumisesta liikenne-ennusteeseen. Maltillisesti arvioiden 16 % kasvu voi pitää paikkansa, jos ERA 2017 ohjelmassa esitetyt maankäytön

ja rakentamisen ohjaustoimet saadaan hyvin siirrettyä käytäntöön, tavoite lienee kuitenkin melko idealistinen. (11.)

Jos liikenteen määrää saadaan vähennettyä kaupunkirakenteen muutoksella, voidaan päästä hyviin tuloksiin kasvihuonekaasupäästöjen pienenemisen osalta. Kuvasta 5.2. voidaan todeta, että ilman mitään toimenpiteitä kasvihuonekaasujen osuus asukasta kohti vuonna 2050 on noin kaksinkertainen verrattuna nykytilanteeseen, jossa tiukennetut rakennusmääräykset ovat jo käytössä, eli tilanteessa perusura + merkittävät energiaparannukset.



Kuva 5.2. Yhdyskuntarakenteen päästöt vuonna 2050, lukemat perustuvat eri osa-alueiden kasvumallinteisiin.(11.)

6 Ympäristösertifikaatit ja niiden ominaispiirteitä

Ympäristösertifikaatin avulla voidaan määritellä rakennuksen tai rakenteen ekologisuutta sertifikaatin laskentamenetelmillä. Ympäristösertifikaatin myöntämisen osatarkoitus on helpottaa tilaajaa ymmärtämään rakennuksen laatua sen ympäristökuormitukseen nähden, eli tuottaa näin lisäarvoa asiakkaalle. Lasken-

tamenettelyissä voidaan painottaa eri tekijöitä sen mukaan, mikä laatutaso rakennuksella voidaan saavuttaa tai mikä taso halutaan saavuttaa. Tuloksena saadaan pistemäärä, joka joko riittää tai ei riitä tavoitetasolle. Pisteytyksessä voidaan arvioida seuraavia asioita: ympäristöasioiden huomioon ottaminen, terveyttä ja hyvinvointia edistävät käytännöt, energiatehokkuus, liikennejärjestelyt, vedenkäyttö, materiaalitehokkuus sekä saastumisen ehkäisy.

Sertifikaatin mukaan painotukset eri osa-alueilla vaihtelevat. Yksi kansainvälisesti tunnetuimpia ympäristösertifikaatteja on LEED. LEEDin tasoja ovat sertifioitu (40–49 pistettä), Hopea (50–59 pistettä), Kulta (60–79 pistettä) ja Platina (80+ pistettä). Amerikkalaista LEEDiä on arvosteltu sen näennäisistä tekijöistä, joilla rakennuksen ympäristöystävällisyyttä voidaan parantaa, esimerkiksi sähköpistokkeiden lisäämisestä sähköautoja varten, joka ei itsessään paranna rakennuksen energia- tai päästötehokkuutta, mutta vaikuttaa laskentatulokseen positiivisesti. Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus tarkastella Yhdysvalloissa olevaa LEED-sertifioitua parkkitaloa Santa Monica Civic Centeriä osana verrokkiaineistoa, mutta lähtötietomateriaalia ei ollut riittävästi julkisesti saatavilla, joten hylkäsin tämän vaihtoehdon. (18.)

Toinen tunnettu ympäristösertifikaatti on BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), joka on kehitetty Iso-Britanniassa. BREEAM-standardissa on vähemmän toissijaisia tekijöitä, jotka vaikuttaisivat laskennan lopputulokseen, sertifikaatti pyrkii huomioimaan maakohtaiset rakentamismääräykset. BREEAMista on käytössä eri versioita kohdemaan ja rakennustyyppin mukaan. Tällä hetkellä BREEAMille ei ole olemassa maakohtaista ohjeistusta Suomen osalta. Ympäristöluokituksessa on 5 eri tasoa: Hyväksytty, Hyvä, Erittäin hyvä, Erinomainen ja Loistava. Hakuprosessia hallinnoi BREEAM-asessori, joka on koulutettu tähän tehtävään. Asessori kerää sertifiointiin vaadittavat asiakirjat projektin suunnitteluryhmältä, mutta muun dokumentoinnin vastuu on edelleen suunnitteluryhmällä. Suomea lähin asessori toimii tällä hetkellä Tukholmassa Ruotsissa. (19.)

Lisäksi on olemassa myös muita maakohtaisia sertifikaatteja, kuten kotimainen PromisE, joka jakautuu Hanke- ja Kiinteistö–PromisEen. Kiinteistö–PromisE

on tarkoitettu jo olemassa olevien kiinteistöjen ympäristöluokituksen laatimiseen, jossa tarkastellaan rakennuksen ominaisuuksia ja ylläpidon tasoa. Hanke–PromisE on tarkoitettu rakennushankkeen ohjaukseen. Sertifikaatteihin soveltuvia kohteita ovat toimistorakennukset, asuinkerrostalot ja kauppakiinteistöt. Menetelmien toteutus muistuttaa lähtökohtaisesti jo nykyisin kaikilta uusilta rakennuksilta vaadittavaa energiatodistusta.

BREEAM-luokituksen pisteytysjärjestelmä ja sen vaikutus rakennusmateriaalituotantoon

Rakennustuotteiden ympäristövaikutuksia arvioidaan CEN TC 350 – Sustainability of Construction Works standardien SFS-EN 15804 ja SFS-EN 15978 avulla. Näiden standardien perusteella tehtävien rakennustuotteiden ja rakennuksen elinkaariarvioinnin laskentatulokset (kg, CO₂e kg/kg) ovat sovellettavissa ympäristösertifikaattien pistelasku- ja luokitusjärjestelmiin. Ympäristöselosteet ovat lähtötietoa rakennustason arvioinnille. Rakennusmateriaalien hiilidioksidipäästöjen ja elinkaarikustannusten tarkastelu on sisällytetty edellä mainittuihin standardeihin. Standardien perusteella tehty elinkaari- tai hiilidioksidipäästölaskenta ei edellytä sertifikaatin hakemista, eikä laskentaa varmenneta muulta taholta. Jos ympäristösertifikaattia haetaan voidaan tehty tarkastelu hyödyntää, jolloin tulokset varmennetaan sertifikaatin haltijan toimesta ja käytetään lähtötietomateriaalina pistelaskennassa. Ympäristösertifikaattien, kuten BREEAM, tarkoitus on edistää kestävästä rakentamisesta ja mahdollistaa kansainvälinen rakennusten ja rakennustuotteiden arviointi kaikille yhteisellä menetelmällä. (19.)

BREEAMissa pisteitä voi saada kymmenestä eri kategoriasta, jotka on painotettu kertoimilla, huomioiden niiden tärkeys kokonaisuuden kannalta. Kategoriat ovat kiinteistöjen johtaminen (12 %), terveys ja hyvinvointi (15 %), energian käyttö (19 %), kuljetus ja liikenne (8 %), vedenkäyttö (6 %), materiaalit (13 %), maankäyttö (10 %), jäte (8 %), saasteet (10 %) sekä innovaatiot. Kategorioiden perässä on suluissa merkitty osion painotuskerroin prosentteina. Innovaatioista saatavat pisteet ovat 1 %/innovaatio (max 10 %), jotka lisätään lopulliseen tulokseen.(19.)

Betonituotteiden osalta suoraan pistekertymään voidaan vaikuttaa kategorioissa terveys ja hyvinvointi (4 p), materiaalit/ elinkaarivaikutukset (1–6 p) ja materiaalit/kestävästi tuotetut materiaalit (2–3 p), sekä jäte/kierrätetyt runkoaineet (1 p). Lisäksi epäsuorasti voidaan vaikuttaa kohdassa kiinteistöjen johtaminen /elinkaarikustannukset (3p) ja jäte/rakennusjätteen hallinta (1–3p). Eniten voidaan pistekertymään vaikuttaa kohdassa materiaalit /elinkaarivaikutukset, jossa ympäristöindikaattoreina ovat hiilidioksidipäästöt, veden käyttö ja jätteiden hallinta.

Tuotteiden osalta pistemäärä kasvaa mitä paremmin ympäristövaikutukset on huomioitu; eli mitä ympäristö/laatusertifikaatteja käytetyille materiaaleille on olemassa ja onko ne verifioitu (käyttöselosteet). Laskettaessa päästöarvoja (kg, CO₂e kg/kg) huomioidaan kaikki runkorakenteet. Kohdassa jäte / kierrätetyt runkoaineet painopisteet ovat lähellä tuotetuissa materiaaleissa ja niin, että kierrätetyn materiaalin käytön on oltava vähintään 25 prosenttia joko painosta tai kuutiomäärästä. Kaikkien edellä mainittujen indikaattorien ja pistemäärien laskenta tapahtuu BREEAM-laskentaohjeen mukaisesti.(19.)

7 Betonielementtirakentamisen ympäristövaikutukset

Betonielementtirakentamisen ympäristökuormitukset muotoutuvat raaka-aineiden valmistamisesta, raaka-aineiden siirtämisestä valmistavalle tehtaalle, tehtaan energiankäytöstä (sähkö, lämpö) käytetyistä materiaaleista (sementti, runkoaines, teräs, jännepunos, vesi ja lisäaineet), sekä elementin siirtämisestä ja kuljetuksesta aiheutuvista polttoainepäästöistä. Lisäksi elinkaaren aikaisiin päästöihin on luettava rakennusten käytöstä poistamiseen liittyvät ympäristörasitukset (purkujäte).

Suurimmat ympäristökuormitukset syntyvät teräksen ja sementin valmistamisesta. Peräti 5 % koko maapallon hiilidioksidipäästöistä johtuu sementin valmistamisesta. Sementin osuus betonin tilavuudesta (m³) vaihtelee välillä 12–14 %. Betonikuutiosta 6–7 % on vettä, hiekan osuus on 25–35 % ja soran, kivimurskan ja muiden runkoaineiden osuus on 48–53 % tilavuudesta. Lisäaineiden,

kuten lentotuhkan (kivihiilen palamisessa syntynyt sivutuote), osuus voi olla 15–35 % (sementin painosta). Hiekka ja sora eivät ole uusiutuvia materiaaleja vaikka materiaalien saatavuus ei olekaan uhkana. Kiven murskaus ja louhinta kuluttavat energiaa ja aiheuttavat päästöjä, samoin raaka-aineiden kuljettaminen betoniasemille. Suomessa soraa otetaan muun muassa harjuista, kuljetusmatkat ovat kuitenkin melko lyhyitä, alle 40 km (20). Kiviaineksen tuottamisesta syntyy aina pysyviä maisemahaittoja.

Runkoainesta voidaan uudelleen kierrättää ja betonimursketta voidaan käyttää runkoaineena. Lisäaineiden, kuten lentotuhka, kierrätettävyyssasteet ovat korkeita, koska ne ovat jätteitä (ympäristökuomaa tulee ainoastaan kuljetuksesta). Jänneterästen valmistaminen kuluttaa enemmän energiaa kuin teräksen, koska jänneteräs on malmipohjainen materiaali (tasalaatuisuuden takaaminen vedetyssä tuotteessa). Toisaalta teräksen valmistus pohjautuu pitkälti romuteräksen käyttöön, eli on kierrätykseen perustuvaa. Romupohjaisen betoniteräksen valmistus kuluttaa 3,7 MJ/kg energiaa, kun taas jänneteräksen valmistus kuluttaa 17 MJ/kg energiaa. (21; 22)

Betonin valmistamisesta aiheutuvia päästöjä ovat mm. CO₂e-päästöt (100–200 g/kg) sekä rikki SO₂ ja typpioksidipäästöt NO (1g/kg). Sähköön ja energiankulutukseen (lämmitys) menee 1–2 MJ/kg. Suurin osa betonituotteen ympäristökuormista muodostuu jo ennen tuotteen valmistamista (75–90 %). Suurin osuus päästöistä tulee klinkkerin tuotannosta (louhinta, poltto, kuljetus, emissiot ilmaan). Sementin CO₂e päästö on noin 300–400 CO₂ g/kg.(21)

Jätteen määrää voidaan vähentää ylijäämävalumassasta erottelemalla siitä runkoaines ja hiekka ja ottamalla ne uudelleen käyttöön. Erottelussa muodostunutta prosessivettä voidaan käyttää veden tai hienoaineen sijasta (voi heikentää massan laatua). Erotettua kiviainesta voidaan käyttää sekä teräsbetoni, että jännebetonirakenteissa. Kierrätetyn runkoaineen osuus voi olla maks. 20 % runkoaineesta ilman, että se vaikuttaa massan laatuun heikentävästi. Lisäksi elementtimurskeen käyttöä voidaan suositella osassa käytettävistä valumasoista. Murskeen tuotanto voidaan tehdä paikalla, joten materiaalin kierrätettä-

vyysaste on korkea. Energiaa kuluu teräksen ja punosten erotteluun ja seulontaan murskeen joukosta. Betonimursketta käytetään myös teiden pohjarakenteisiin ja ympäristörakentamisessa. Betonimurske lisää maarakennekerroksen kantavuutta (2–3 kertaiseksi) ja rakennekerrosta voidaan pienentää. Betonielementeissä käytettävä teräs voidaan kierrättää. Jänneteräksiä ei voida kierrättää, koska ne ovat malmipohjaisia materiaaleja. Noin puolet purkujätteestä on betonijätettä (22). Betonielementtien uudelleen käyttöä voidaan harkita. Muita elementtien valmistuksessa kierrätettäviä materiaaleja ovat paperi, pahvi, puujäte, muovit ja polystyreeni. (20.)

7.1 Betoni on hiilinielu

Puumateriaalien CO₂e-päästöarvo on negatiivinen, koska ne sitovat hiilidioksidia enemmän kuin niiden valmistus aiheuttaa päästöjä. Betonin toimiminen hiilinieluna perustuu betonin karbonatisoitumiseen. Karbonatisoituminen perustuu sementin ja veden kemiallisessa reaktiossa tapahtuvaan sementtikiven ja kalsiumhydroksidin (CaO) muodostumiseen ja edelleen kalsiumhydroksidin reagoimiseen ilman hiilidioksidin (CO₂) kanssa, jolloin muodostuu kalsiumkarbonaattia (CaCO₃). Karbonatisoitumisen nopeus riippuu betonin huokoisuudesta. Betonin karbonatisoituminen ei ole kovin nopeaa. Sitoutuminen on varsin maltillista, noin 0,5–3,5 mm/a. Rakenteen mahdollinen korroosio alkaa vasta käyttöään loppuvaiheessa. Karbonatisoituminen kuitenkin nopeutuu, jos betoni murskataan uusiomateriaaliksi. Tällöin reagointiala on huomattavasti suurempi. 10 mm rakeen kyky sitoa itseensä hiilidioksidia on satakertainen verrattuna 100 mm paksuun betonikappaleeseen.

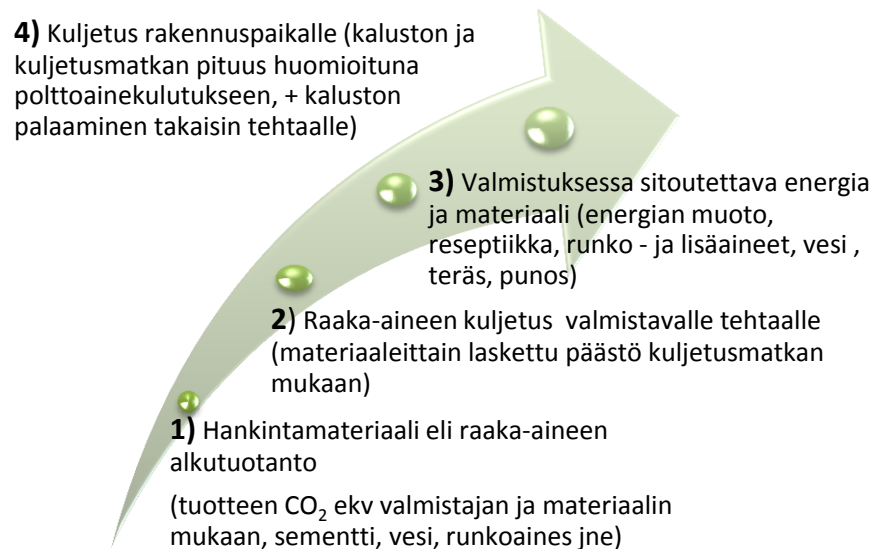
Betonin kyky sitoa itseensä hiilidioksidia kasvaa siis kierrätysvaiheessa. Puun ja betonin ominaisuuksia on kuitenkin turha verrata toisiinsa, sillä niiden ominaisuudet ja käyttöalueet ovat varsin erilaisia. Betonin hyvät ominaisuudet ovat verraten pitkä käyttöikä (vähintään 50 vuotta), huoltovapaus, materiaalin massiivisuus ja korkea materiaalin uudelleenkierrätysaste.

7.2 Rakennustuotteiden CO₂-ekv-laskenta

Laskenta perustuu standardeihin SFS-EN 15804 ja SFS-EN 15978 ja on suoritettu näiden mukaisesti. Esimerkkikohteista ja elementeistä on laskettu tarvitta-

vat m^2 -, m^3 - ja kg/jm -määrät. Käytettyjen materiaalien ja toimintojen päästöker-
toimet on koottu laskenta-alustaan. Itse laskenta tapahtuu Excel-pohjaisesti.
Laskenta-alusta huomioi sähkön, veden, lämmön (energian) ja polttoaineen ku-
lutuksen, raaka-aineiden käytön, logistiikan ja muun materiaalin käytön, mitä
valmistuksessa tarvitaan. Lopputuloksena saadaan CO_2e kg/m^2 joka muodos-
tuu koko rakennuksen hiilidioksidipäästöstä yhdelle elementtiniölle (yksikkö on
tuoteneiö ja sis. kaikki tuotteet). [Laskentaa ei ole viety koko rakennuksen ta-
solle tässä opinnäytetyössä ($=\Sigma CO_2e$ kg/kg).]

Kuvassa 7.1. on esitetty tässä opinnäytetyössä tehdyn CO_2 kg/m^2 -laskentaa
koskeva rajapinta, jonka mukaan elementtien päästölaskenta on tehty.



Kuva 7.1. Hiilidioksidipäästön kertyminen tuotantovaiheessa à valmistettu elementti (laskentayksikkönä on käytetty CO_2 kg/m^2).

Laskelmiin on otettu huomioon vain elementtien tuotantoon ja kuljetukseen liit-
tyvät tekijät. Itse rakentamisvaihetta ja käytön aikaista kulutusta ei ole huomioi-
tu, koska kyse on niin sanotusta kylmästä rakennuksesta. Itse käytön aikaiset
ympäristökuormitukset eivät tule olemaan kovin suuret ainakaan energiankulu-
tuksen osalta. Rakentamisvaiheen sähkönkulutusta ei voida ennakoida tässä
tehdyillä laskelmilla, ja tämän vaiheen hiilidioksidipäästön suuruus tuleekin en-
nakoida muilla laskentamenettelyillä.

8 Esimerkkikohteiden esittely

Tähän työhön valitut viisi parkkitaloratkaisua sijaitsevat kaikki Etelä-Suomen alueella. Rakennukset ovat betonielementtirunkorakenteisia monikerroksisia lämmittämättömiä Parman parkkitalokonseptin mukaan suunniteltuja ja rakennettuja kokonaisuuksia. Runkojärjestelmä on pilari-laatta-palkkijärjestelmä. Kohteet on valittu yhtäläisen kuormituksen mukaan. Esimerkkikohteita koskevat rajaukset on esitetty kohdassa 1.

Valitun vertailumateriaalin osalta kolme kohdetta (89618, 88797 ja 89095) on toteutettu ripalaatalla ja kaksi kohdetta (85382 ja 86458) on toteutettu kuorilaa-
talla. Rakennukset ovat valmistuneet 2007-2014 välisenä aikana. Kaikkia kohteita yhdistää se, että ne on suunniteltu kuormaluokkaan F (vähäinen kuormitus, kevyiden ajoneuvojen liikennöinti- ja paikoitusalueet, ajoneuvon kokonaispaino ≤ 30 kN, sovellusalue; autotallit, paikoitusalueet, paikoitushallit). Luokassa F hyötykuorman vähimmäisarvo voidaan valita alueelta $1,5...2,5$ kN/m² ja Q_k alueelta $10...20$ kN, jossa Q_k on ajoneuvon akselikuorma yksittäiseltä akselilta. Tämä kokonaisvoima jaetaan kahdella (pyöräkuorma). Yhden renkaan kuormitusala on 100×100 mm². Kaikissa viidessä kohteessa mitoitusarvo q_k on väli- ja alapohjissa $2,5$ kN/m². Poikkeustapauksissa kuormitus on esitetty elementti-
tasopiirustuksissa, kuten kohteen 86452 lastausalueen kuormat (kuormaluokka E, varastotila, tavaran vastaanotto).

Vesikatto on pysäköintitilaa, joten kuormitus on sekä kuormaluokka F:n mukainen että hyötykuormana toimii lumikuorma lisättynä kinostumiskuormalla (edellyttäen sitä, että lunta varastoidaan katolle, kuten kohteessa 89618). Ajoneuvojen pysäköintitilojen suojaseinämiä ja -kaiteita ei ole otettu mukaan laskentaan, joten niitä ei ole mitoitettu, kyseiset esteet tulee mitoitaa SFS-EN 1991-1-1 + AC liitteen B mukaiselle vaakakuormalle, tai SFS-EN 1991-1-7 mukaiselle onnettomuustilanteen vaakakuormalle, riippuen kumpi on määräävä.

Pysyvän kuorman muodostaa paikallavalu, joka reuna-alueilla on kohteesta riippuen noin 150 mm ja keskialueilla 100 mm. Paikallavalun mitoituskuorma on ilmoitettu keskiarvona $2,5$ kN/m², paitsi kohteessa 89095, jossa pintavaluun on

tehty kevennys, jolloin mitoituskuormana on käytetty arvoa $g_k=2,27 \text{ kN/m}^2$. Pintavalujen lujuusluokka (kaikissa kohteissa) on lähtötiedoissa esitetty luokkaan C32/40. Tämä on minimiarvo, joka pintavalun tulee alla esitetyillä rasitusluokilla täyttää. Todellista käytettyä massaa ja sen ominaisuuksia ei materiaalissa oltu eritelty. $\text{CO}_2 \text{ kg/m}^2$ laskelmissa massana olen käyttänyt IT-lattiabetonia ja niin sanottua normaalia rakennebetonia.

Rakenteiden paloluokka on REI60, ellei lähtötiedoissa ollut toisin mainittu. Rakennusten käyttöikä on 50 vuotta ja rasitusluokat ympäristöolosuhteiden mukaisesti sisätiloissa XC3, XC4, XF1 ja vesikatolla XC3, XC4, XF3, XD1. Rakennusten seuraamusluokka on CC2. Rakennukset on jäykistetty mastopilareilla, porras-/hissikuiluilla ja ristikkojäykisteillä. Vaakajäykisteenä ovat kuori- ja ripalaattat (levyvaikutus).

8.1 Suunnittelua ohjaavat standardit ja ohjeet

Parkkitalojen betonielementtien suunnittelu ja mitoitus on tehty seuraavien ohjeiden ja lähteiden 10; 23–25 perusteella: SFS-EN 1990 + A1 + AC: Rakenteiden suunnitteluperusteet, SFS-EN 1991-1-7 + AC: Rakenteiden kuormat; Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat, SFS-EN 1991-1-3 + AC: Rakenteiden kuormat; Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat, SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1: Rakenteiden kuormat; Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat, SFS-EN 1992-1-1 + AC: Betonirakenteiden suunnittelu; Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt + kansallinen liite, SFS 7026: Betonivalmisisilta eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot, SFS-EN 13224: Betonivalmisisosat. Ripalaattaelementit, RIL 195-4-2005: Rakenteellinen paloturvallisuus, Pysäköintilaitokset.

8.2 Parman parkkihallikonsepti

Parman parkkitalokonsepti on tarkoitettu kylmien parkkitalojen runkojärjestelmäksi. Konsepti sisältää suunnittelun, valmistuksen, asennuksen ja pintavalut. Rakenteet ovat yksinkertaistettuja ja optimoituja (kokonaistaloudellisia). Moduulijako on valittu niin, että se mahdollistaa mahdollisimman laajan pilarittoman ruudun. Rakennuksen jäykistys varmistetaan mastopilareilla, ristikoilla ja/tai sei-

nillä. Rakenteet ovat esijännitetyjä lukuun ottamatta pilareita, reunaelementtejä ja ristikkojäykisteitä (betoniset sauvaelementit). Laattaelementit ovat joko kuori-laattaa (KL) tai ripalaatta (RL). Laattojen päälle tuleva pintavalu toimii liittorakenteena laattavalmisosan ja palkin kanssa. Pintalaatan käsittely hiertoineen kuuluu osaksi toimitusosakauppaa. Rakennus on kahteen suuntaan jännitetty (palkit ja laatat). Ripalaattaa ei tarvitse tukea asennuksen ajaksi sen jäykkyyden takia. Palkit ja pilarit tulee tukea asennuksen ja valun ajaksi (palkit). Esijännitettyjen elementtien taipuma ei muodostu kovin suureksi. Palkit suunnitellaan yksiaukkoisiksi. Tasojen vedenpoisto hoidetaan vedenpoistokouruilla ja haihdutuskouruilla (tyyppidetallit). Betonipinnat ovat luokkaa By 40-2 ja kulutuskestävyys on vähintään luokkaa C-3.

8.3 Vertailukohteista suoritettu laskenta

Vertailussa käytettävät projektit on suunniteltu Parman konseptin mukaan. Halusin selvittää, minkälaisen ympäristökuormituksen esimerkkikohteet muodostavat ja voidaanko parkkitalokonseptia edelleen kehittää esim. moduulijaon suhteen niin, että hiilidioksidipäästöarvoa ($\text{CO}_2_{\text{(ekv)}}$ kg/m^2) saataisiin pienennettyä.

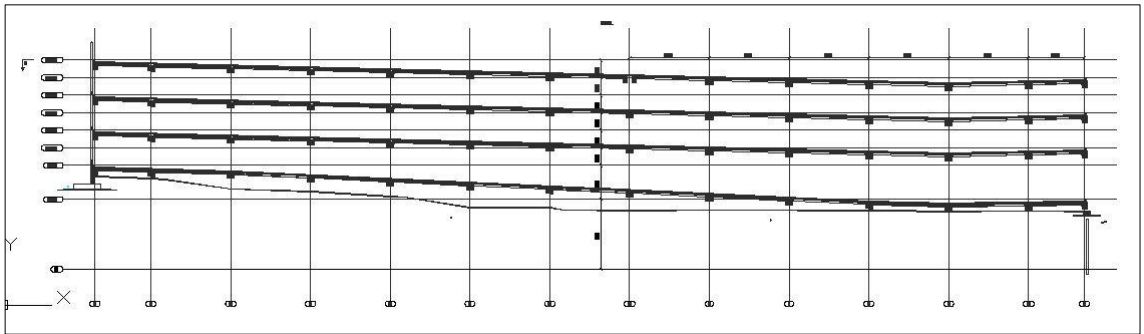
Kaikista viidestä kohteesta on laskettu kaikkien kohteen betonielementtien määrät (m^3 , m^2 , teräs ja punos jm) ja näiden tulosten perusteella laskettu todellisuutta vastaava hiilijalanjälki (ks. tehdyt rajaukset, luku 1). Tämän laskennan perusteella olen laskenut päästöarvon per autopaikka (CO_2 kg/autopaikka). Tämän jälkeen olen laskenut kahden teoreettisen kohteen määrien perusteella rungon vaikutusta niin, että parkkitalon sisäisten ramppien suhde tasoon on saatu poistettua. Teoreettisten kohteiden betonielementtien raudoitussuunnittelu on tehty, mutta sitä ei erikseen esitetä tässä opinnäytteessä.

Vertailukohteiden päästöarvo on riippuvainen kohteen sijainnista (kuljetusmatkat) ja valmistavan tehtaan reseptiikasta. Nämä faktorit on poistettu sijoittamalla kohteet teoreettiseen sijaintiin ja tämän jälkeen teoreettiselle tehtaalle, jolloin saadut tulokset ovat verrannollisia ainoastaan tuotteen omien ominaisuuksien osalta. Saatuja tuloksia on edelleen manipuloitu niin, että rakenneosan massan ja punosmäärän vaikutusta voidaan verrata alkuperäiseen (vaihdettu lujuusluokkaa ja lisätty kierrätetyn materiaalin määrää [murske, hienoaines, prosessi-

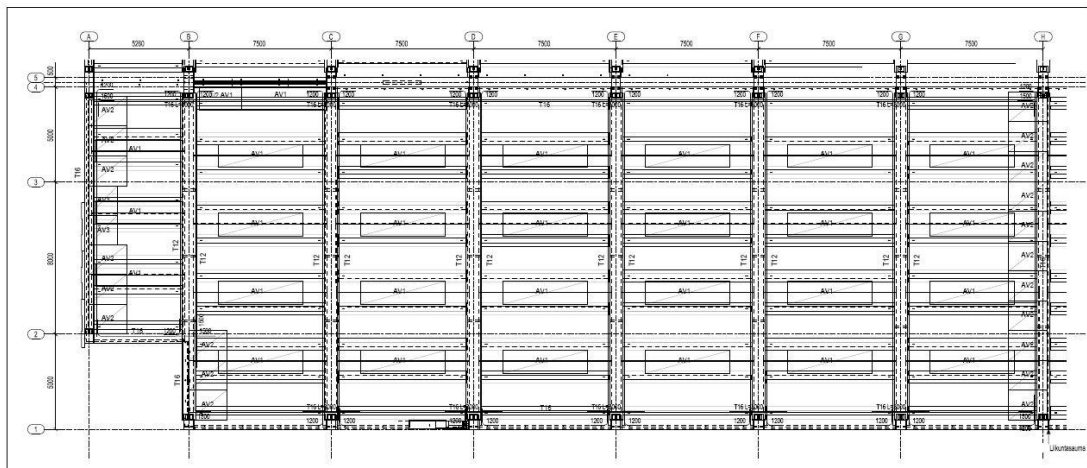
vesi], tai vaihdettu se lähempänä tuotettuun materiaaliin [runkoaine, lisäaineet jne]).

8.4 Vertailussa käytetyt parkkitalokohteet

Esimerkkikohte 1, eli 89618, sijaitsee Perkkaalla. Kyseessä on neljäkerroksinen parkkitalo, jossa kerrokset toimivat rampeina. Tasot kallistuvat 1:10. Kohteen kerrosala on 11850 k-m². Kerroskorkeus vaihtelee välillä 2,2–4,8 metriä. Rakennuksen jäykistys toteutetaan mastopilareilla + kantavilla seinillä ja ristikoilla (betoni). Kohteen seinien osuutta ei voitu ottaa mukaan CO₂ kg/m²-laskentaan, koska kohde ei olisi tällöin ollut vertailukelpoinen muihin kohteisiin. Kuvassa 8.1. on kohteen 89618 poikkileikkaus. Kerrokset on jaettu liikuntasauvojen mukaisiin lohkoihin. Yhden lohkon ala on noin 735 k-m².



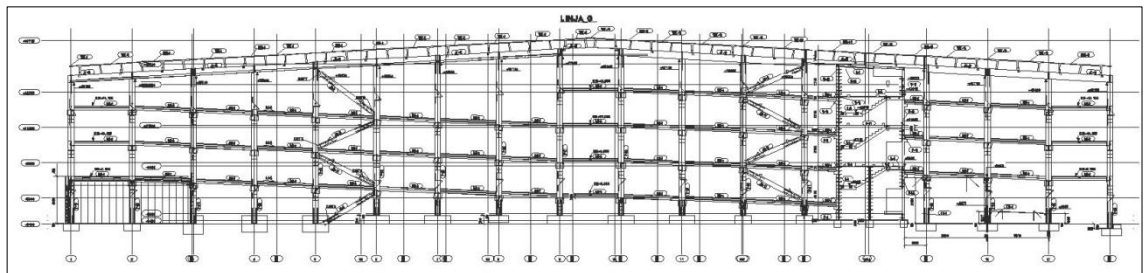
Kuva 8.1. Kohteen 89618 leikkauspiirustus (ei mittakaavassa).



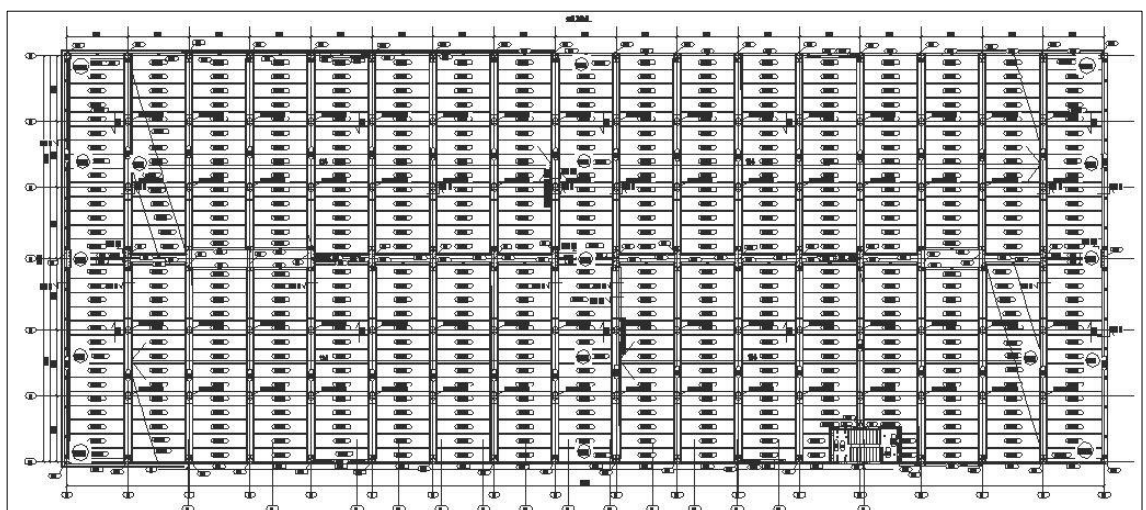
Kuva 8.2. Kohteen 89618 lohkon n:o 1 ripalaattatasopiirustus, 2kkatto (ei mittakaavassa).

Kohteen välipohjalaattana on käytetty ripalaattaa, jonka päällä on rakenteellinen pintavalu 100 mm. Kuvassa 8.2. on näytetty yhden lohkon elementtitasopiirustus. Paikoitusalueen liikenne on kaksisuuntainen, eikä rakennuksessa ole ulkopuolisia rampeja. Kohteen rakennesuunnittelun on tehnyt Savon Rakennetekniikka Oy.

Esimerkkikohte 2 sijaitsee Helsingissä, Vuosaarella. Esimerkkikohteesta n:o 2 käytetään projektinumeroa 85382. Kohde on neljäkerroksinen parkkitalo, jossa tasot toimivat rampeina. Kuvassa 8.3. on nähtävissä betonisauvoilla tehtävä ristikkojäykistys parkkitalon pohjoissivustalla. Rakennuksen kerrosala on 8506 k-m². Tämä ei sisällä vesikaton osuutta, joka on 3073 k-m² (TEK-laatta, h=800 mm). Laattarakaisuna välipohjassa ovat kuorilaatat KL100 ja pintavalu 100 mm. Rakennus jäykistetään porrashuoneilla, mastopilareilla ja jäykistysristikoilla. Kohteessa on myös maanpaineseinää, jota ei ole otettu mukaan tässä työssä tehtyihin laskelmiin (ks. kohta 1).



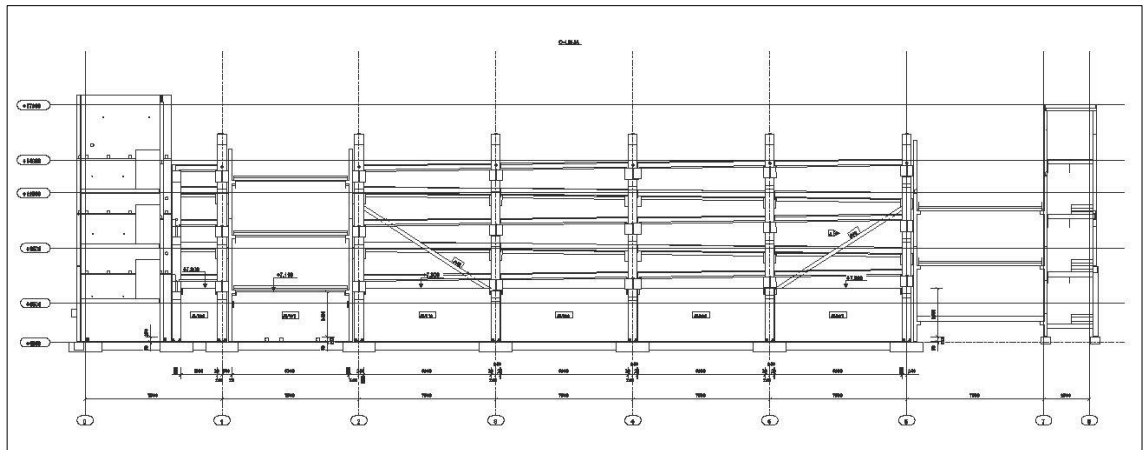
Kuva 8.3. Kohteen 85382 leikkauspiirustus (ei mittakaavassa).



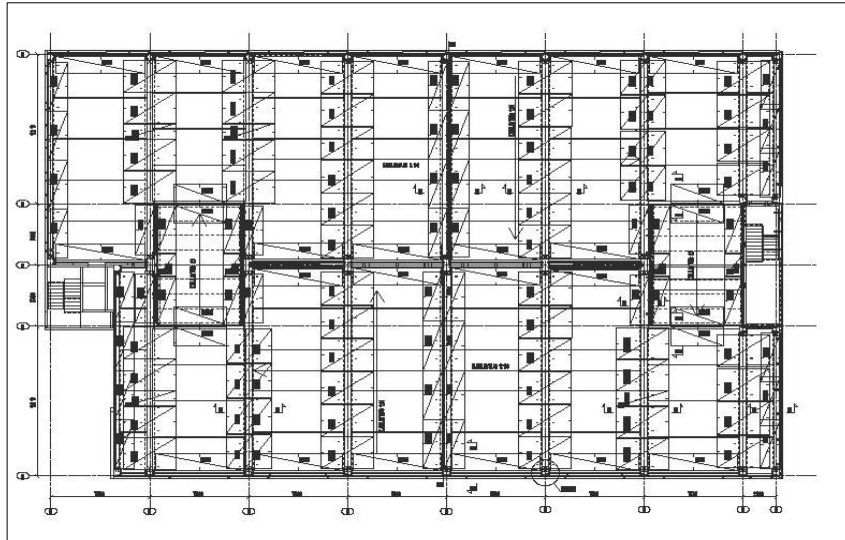
Kuva 8.4. Kohteen 85382 kuorilaattatasopiirustus, 2kkatto (ei mittakaavassa)

Kuvassa 8.4. on esitetty kohteen 2kkaton tasopiirustus. Koko kerros on jaettu neljään asennuslohkoon liikuntasauvojen suhteessa. Poiketen muista kohteista alimman kerroksen paloluokka on REI120. Rakennuksen liikenne on kaksisuuntaista ja tason kallistukset ovat 1:10. Kohteen rakennesuunnittelijana on toiminut Citec Civil Engineering Oy.

Esimerkkikohte 3, eli 88797, sijaitsee Kirkkonummella. Kyseessä on kolmekerroksinen parkkitalo, jossa on sisäiset 1,5-kerrosrampit. Tasot ovat siis 1,5 suhteessa toisiinsa. Kohteen kerrosala on 3900 k-m². Rakennuksen jäykistys toteutetaan mastopilareilla, kantavilla seinillä ja ristikoilla (teräs). Kohteen ramppien kohdalla olevat jäykistävät seinät on jätetty pois CO₂ kg/m²-laskennasta (ks. kohta 1). Lisäksi kohteessa on myös maanpaineseinää, nämäkin on jätetty pois laskennasta. Muista kohteista poiketen kohteessa 88797 betonisauvat on korvattu teräsjäykisteillä.



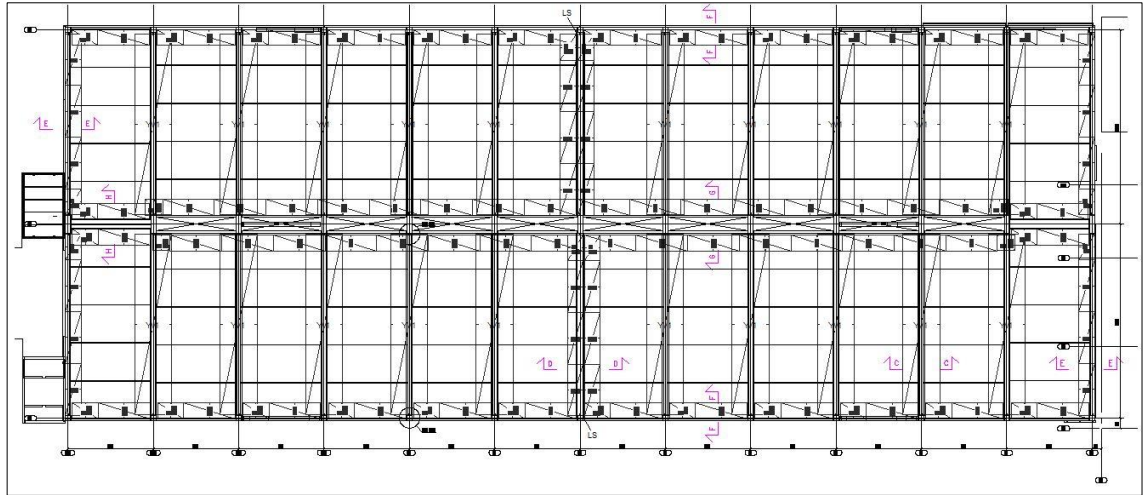
Kuva 8.5. Kohteen 88797 poikkileikkaus (ei mittakaavassa).



Kuva 8.6. Kohteen 88797 ripalaattatasopiirustus, lohko n:o 1, 2kkatto (ei mitta-kaavassa).

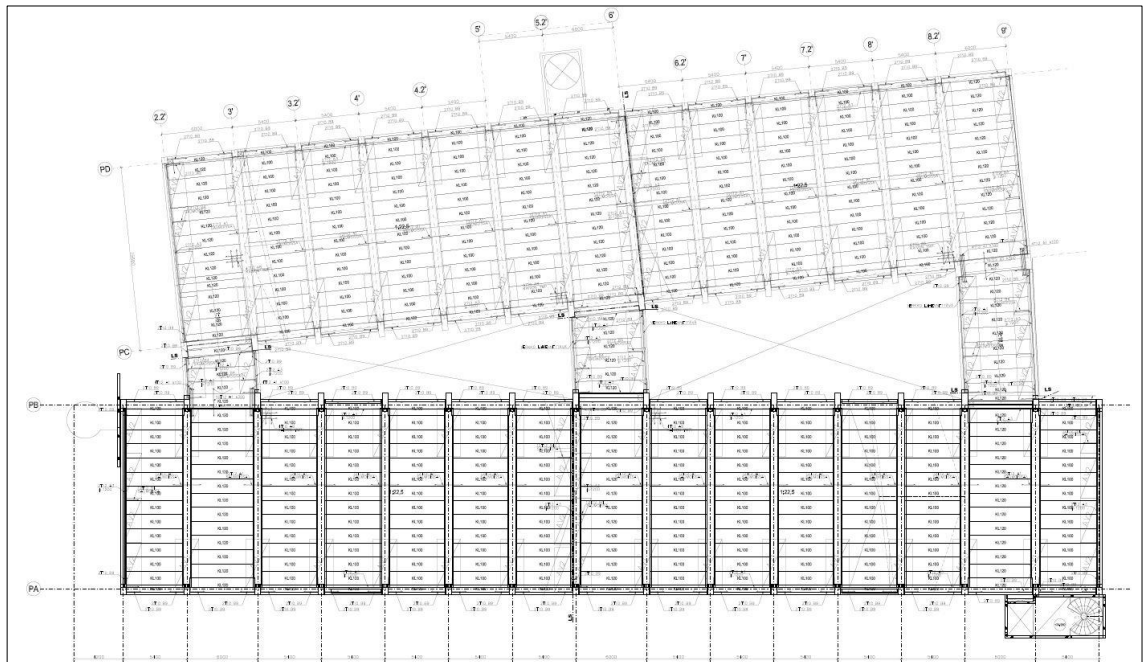
Kuvassa 8.5. on kohteen 88797 poikkileikkaus. Välipohjatyyppejä on ripalaattaa, jonka päällä on rakenteellinen paikallavalu 100 mm. Kuvassa 8.6. on esitetty yhden lohkon elementtitasopiirustus. Kohteen rakennesuunnittelun on tehnyt Ramboll Oy.

Esimerkkikohte 4 sijaitsee Lahdessa, rakennuksesta käytetään projektinumeroa 89085. Rakennuksessa on viisi kerrosta. Kohteen kerrosala on 16707 k-m². Rakennus on jaettu neljään lohkoon. Tasot toimivat rampeina, ulkoisia rampeja ei ole. Tasot kallistuvat 1:10. Rakennus jäykistetään betonisauvoilla (ristikojäykistys), porrashuoneilla ja mastopilareilla. Välipohjarakenne on ripalaatta ja rakenteellinen paikallavalu 100 mm. Tässä kohteessa reunaelementit on valettu ripalaatan kanteen, joka nostaa RL-laatan omaapainoa. Muissa kohteissa reunaelementit ovat erillisiä elementtejä. Kuvassa 8.7. on esitetty yhden lohkon ripalaattatasopiirustus. Kohteen rakennesuunnittelijana on toiminut Ramboll Oy.



Kuva 8.7. Kohteen 89095 ripalaattatasopiirustus, 3kkatto (ei mittakaavassa).

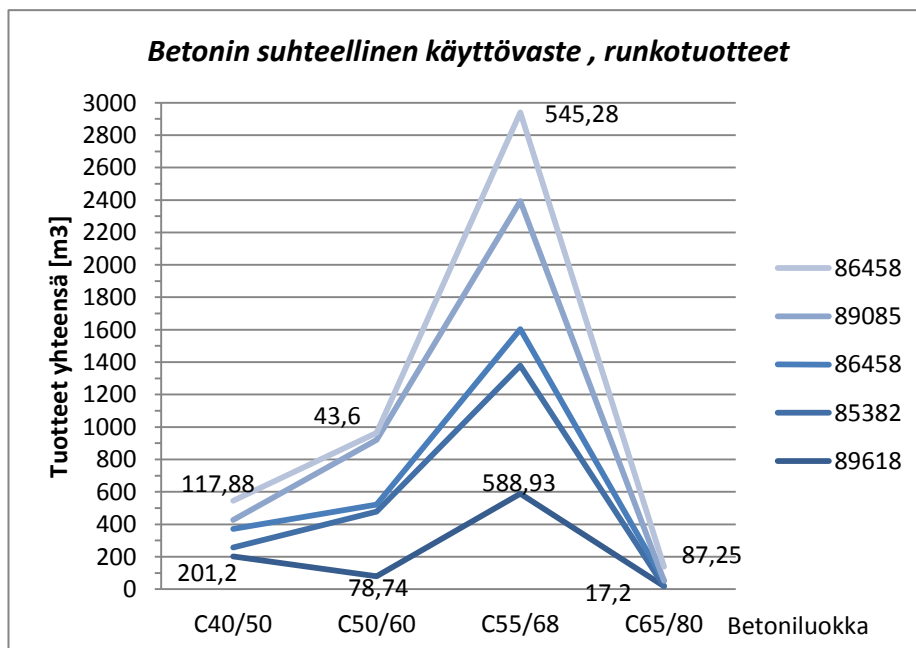
Esimerkkikohde 5, eli 86458, sijaitsee Turussa. Rakennuksessa on neljä kerrosta. Kohteen tasot toimivat rampeina. Välipohjarakenne on kuorilaattaa KL100 ja KL120, jonka päällä on paikallavalu 100 mm. Rakennuksen kerrosala on 10454 k-m². Kohde jäykistetään mastopilareilla, betoniristikoilla ja porashuoneilla. Lohkojako menee liikuntasaumojen suhteessa (neljä lohkoa) Kuvasessa 8.8. on esitetty yhden kerroksen kuorilaattatasopiirustus. Kerrosten kallistus on 1:10 ja liikenne on kaksisuuntaista. Kohteen rakennesuunnittelijana on toiminut Turun Juva Oy.



Kuva 8.8. Kohteen 86458 kuorilaattatasopiirustus, 3kkatto (ei mittakaavassa).

9 Kohteiden määrävertailu

Liitteissä 1–5 on osoitettu kohteiden elementtien määrää ja laatua kuvaavat tulokset. Kaikkien runko ja laattaelementtien tilavuus on työstetty kohdetta kuvaavaan yhteen kuutiometriin (m³). Tässä laskennallisessa kuutiometrissä suhteellinen kokonaismenekki kuvaa koko kohteeseen kulutettua teräs, betoni ja jännepunosmäärää. Liitteistä 1–5 voidaan todeta, että kohteisiin sitoutettujen materiaaliressurssien osalta niissä ei juuri ole eroa tarkasteltaessa koko rakennuksen runkoa. Betonin osuus vaihtelee välillä 95,83–96,3 tilavuusprosenttia. Teräksen käyttö, per kohde, jakautuu välille 2,75–3,19 tilavuus-% ja jännepunoksen osuus elementtien raudoituksesta vaihtelee välillä 0,93–1,29 tilavuus-%. Betonin, teräksen ja jännepunoksen käytön osuus tilavuuskuutiosta vaihtelee välillä 0,36–0,92 tilavuus-%. Tämä tulos tarkoittaa sitä, että verrattuna valittuun runkovaihtoehtoon (ks. kohta 8.4) ja laattatyyppeihin on rungon muoto (modulijako, rakennuksen korkeus, elementtien pituus/korkeus/lujuusluokka) optimoitu suhteessa elementtien kantokykyyn. Tämä voidaan tarkentaa tarkastelemalla kunkin kohteen rungon raudoituksen ja betonin lujuusluokan käyttövästeitä. Kuvassa 9.1. on esitetty kaikkien esimerkkikohteiden runkoelementtien käyttöväste per elementin lujuusluokka. Kohteiden västeet korreloivat toisiaan huolimatta laajuudesta ja elementtien määrästä.

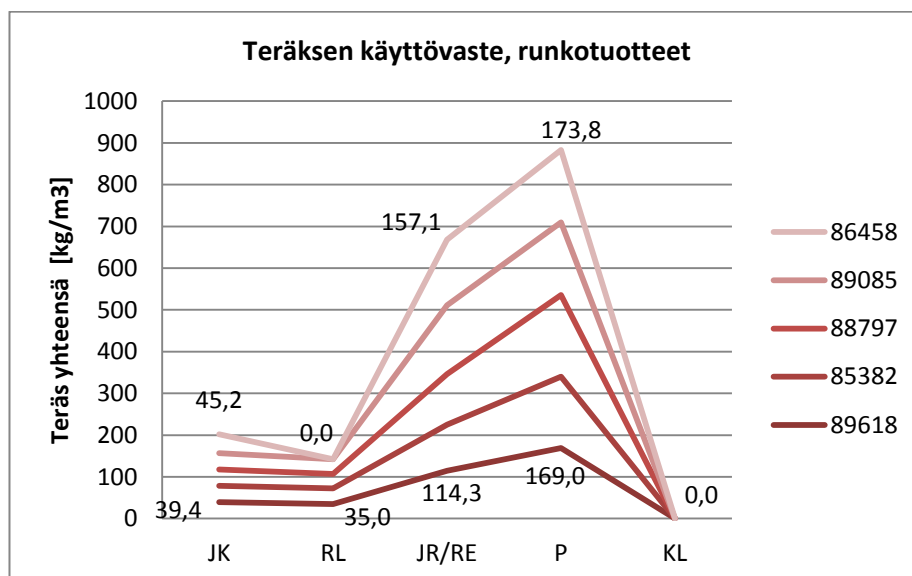


Kuva 9.1. Betonin käyttöväste/ käytetyn massan lujuusluokka (m³).

Pitkien jännevälien ja kuormituksen takia korkeamman lujuusluokan palkki-, tai pilarielementit nostavat rungon ympäristökuormitusastetta myös raudoituksen käytön suhteen (kuva 9.2). Huolimatta korkeasta käyttöasteesta ei teräksen, tai punosmäärän käyttö ei ylitä ns. normaaliraudoitusta, eli yliraudoitusta ei huomattavissa määrin esiinny. Varsinkin, kun elementtien raudoitussuunnittelu on annettu valmistajan hoidettavaksi, osuus pienenee. Tämä voidaan todentaa tarkastelemalla tuotekohtaisten suhteellisten menekkien prosenttimääräistä teräs- ja punosmäärän vaihtelua (liite 1-5). Kohteiden raudoituksen prosenttiyksikköero on esitetty taulukossa 9.1. Esimerkkikohteiden pilareiden (P) ja teräs-betonipalkkien (JR) sekä reunapalkkien (RE) osalta raudoitussuunnittelu on tehty rakennesuunnittelijan toimesta, näiden elementtityyppien kohdalla teräsmäärän vaihtelu on 0,93–1,98 prosenttiyksikköä, kun taas valmistajan raudoittamien elementtien (JK, RL, KL) vaihteluväli on huomattavasti pienempi 0,01–0,22 prosenttia. Betonielementtivalmistaja pystyy määrittelemään tarvittavan raudoituksen tehtaan resurssien, tyyppiraudoitusten ja valmistustekniikan mukaan, jolloin hukkaa ei synny.

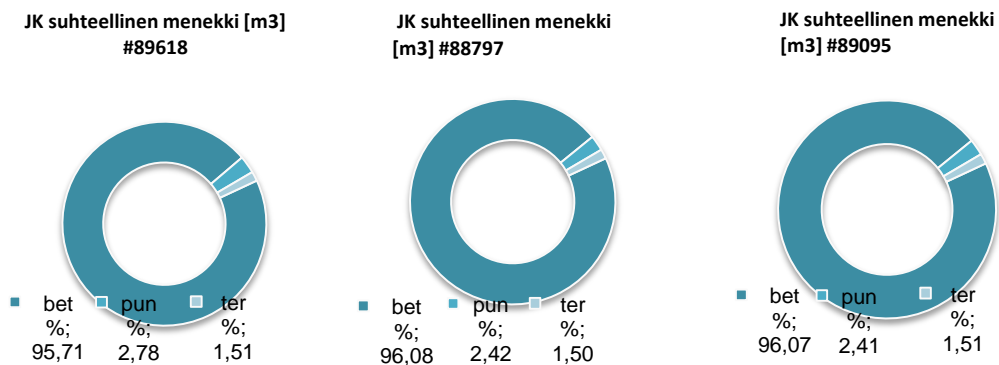
Materiaali	JK	RL	JR/RE	P	KL
Punos %	0,55	0,25	0	0	0,18
Teräs %	0,22	0,01	1,98	0,93	0

Taulukko 9.1. Esimerkkikohteiden raudoitusmenekkien erotus (%) yhteenvetona.



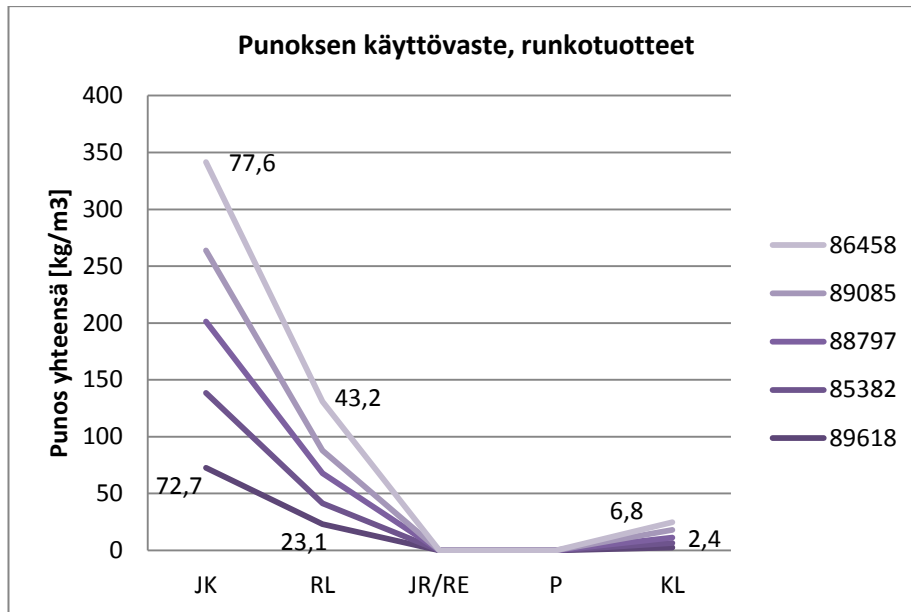
Kuva 9.2. Teräksen käyttöaste/ runkoelementti (m³).

Yliraudoitusta kuitenkin esiintyy varsinkin jännepalkkien suhteen, johtuen valmistavien tehtaiden tavasta tilata ja esivalmistaa raudoituselementtejä, jotka käytetään kohteeseen huolimatta siitä, että esimerkiksi hakamäärä olisi huomattavan paljon yli mitoitusmäärän. Yliraudoituksen osuus ei kuitenkaan ole huomattavan suuri. Kohteissa 89618, 88797 ja 89095, joissa jännebetonipalkkien osuus on 14–16 % kaikista elementeistä, ei raudoituksen osuus poikkea suuresti kohteista, joissa palkkien osuus on alle 10 % (ks. liite 1–5). Kuvassa 9.3. on esitetty kohteiden 89618, 88797 ja 89095 suhteelliset betonimenekit JK-palkkien osalta.



Kuva 9.3. JK-palkkien suhteelliset menekit kohteissa 89618, 88797 ja 89085.

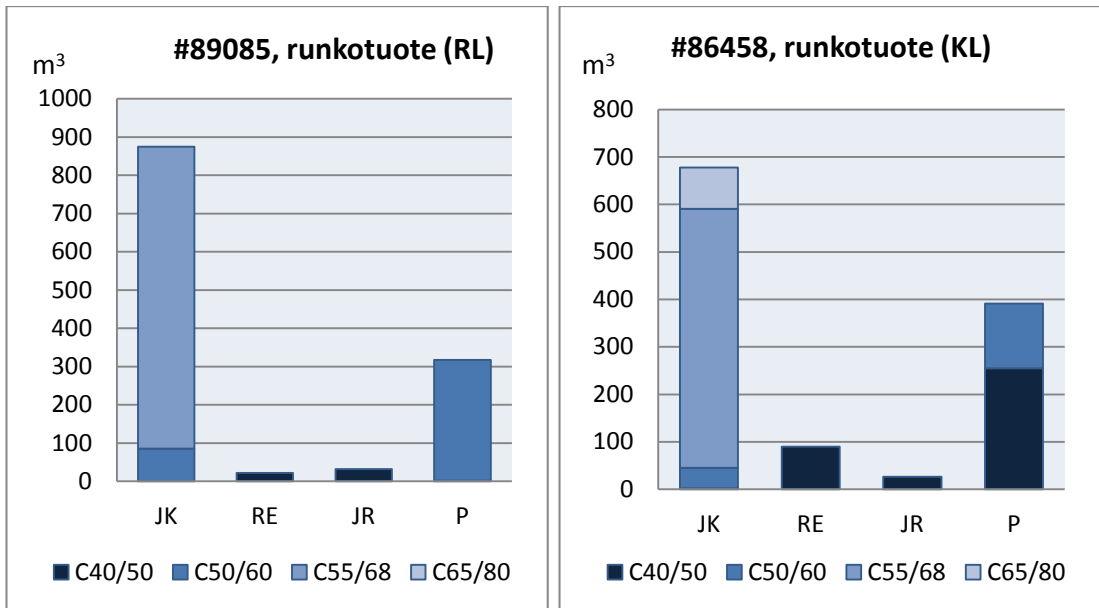
Kuten kuvaajista (kuva 9.3.) nähdään punos- ja teräsmäärän vaihtelu on alle 0,36 prosenttia. Kohteissa 89352 ja 86458 jännitettyjen betonipalkkien osuus on pienempi (<10 prosenttia), näissä kohteissa punos ja teräsmäärä kasvaa 0,10 prosenttia verrattuna lyhyemmän laattakentän kohteisiin. Vastaavasti näiden kohteiden pilarien teräsmäärä ja betonimassan lujuusluokka kasvaa (ks. kuva 9.1. ja 9.2.).



Kuva 9.4. Punoksen käyttövaste/ runkoelementti (m³).

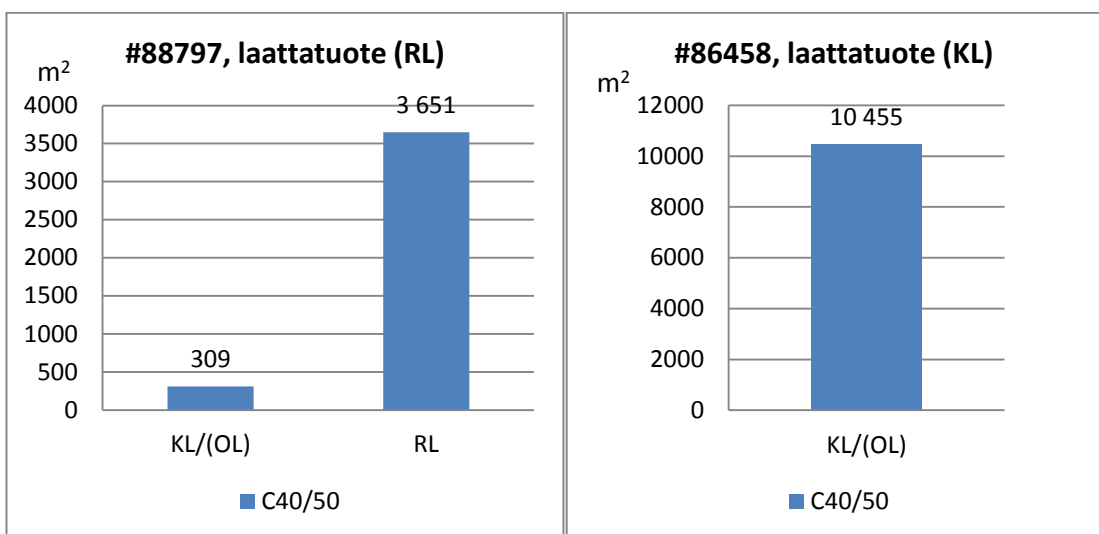
Oleellisesti suurin menekki syntyy betonin osuudesta. Betonimenekin osuus vaihtelee 2,08–7,59 Mt välillä (liite 1–5). Betonin suhteellinen osuus (m³:ssä) kaikista elementeistä on noin 96 prosenttia. Tuotteista eniten betonia kuluu kuorilaatoissa, joissa punosten osuus on vain 1,65 tilavuus-%. Verrattaessa ripalaattaa ja kuorilaattaa ripalaattaan kuluu noin 0,35 % vähemmän betonia, mutta vastaavasti terästä kuluu noin 1,1 prosenttia enemmän. Kuorilaatan ja ripalaatan omanpainon erotus on noin 0,1 kg/m². Ripalaatan hyöty tulee sen suhteellisen pienestä punosmäärästä ja jäykkyydestä sekä laatan ominaisleveydestä, joka on 3600 mm.

Vertailukohteissa käytetyt betonin lujuusluokat ovat seuraavat: C40/50, C50/60, C55/68 ja C65/80 –mitä korkeampi lujuusluokka, sitä suurempi päästöarvo. Kuvassa 9.5. on vasemmalla puolella esitetty ripalaattakohteiden (RL) tyypillinen betoniluokkajakauma runkotuotteilla. Eniten betonia kuluu määrällisesti jännebetonipalkeissa, joissa käytetään myös korkeampaa lujuusluokkaa (ks. liite 8). Kuorilaattakohteiden (KL) runkotuotteiden betonin lujuusluokan jakauma taas vastaa tyypillisesti kuvan 9.5. oikean puoleista tilannetta.



Kuva 9.5. Runkotuotteiden massojen lujuusluokat kohteissa 89085 ja 86458.

Laattatuotteiden (RL, KL) osalta betonin massan ominaisuudet ovat määräävät suhteessa ympäristökuormitukseen. Kuorilaatat valetaan (yleensä) maakostealla massalla ja ripalaatat IT-massalla. Kuorilaatoissa ja ripalaatoissa käytetään yleensä C40/50 lujuusluokan betonia (kuva 9.6). Poikkeustapauksissa voidaan käyttää lujuusluokkaa C50/60. Laattatuotteiden osalta rauditus suunnittelu kuuluu aina rakennusosatoimittajalle. Laattatuotteet yhdessä muiden runkorakenteiden ja paikallavalun kanssa muodostavat parkkitaloissa betonin osuuden koko rakennuksen ympäristökuormituksesta.



Kuva 9.6. Kuorilaattojen ja ripalaattojen betonin lujuusluokat (kohteet 88797 ja 86458).

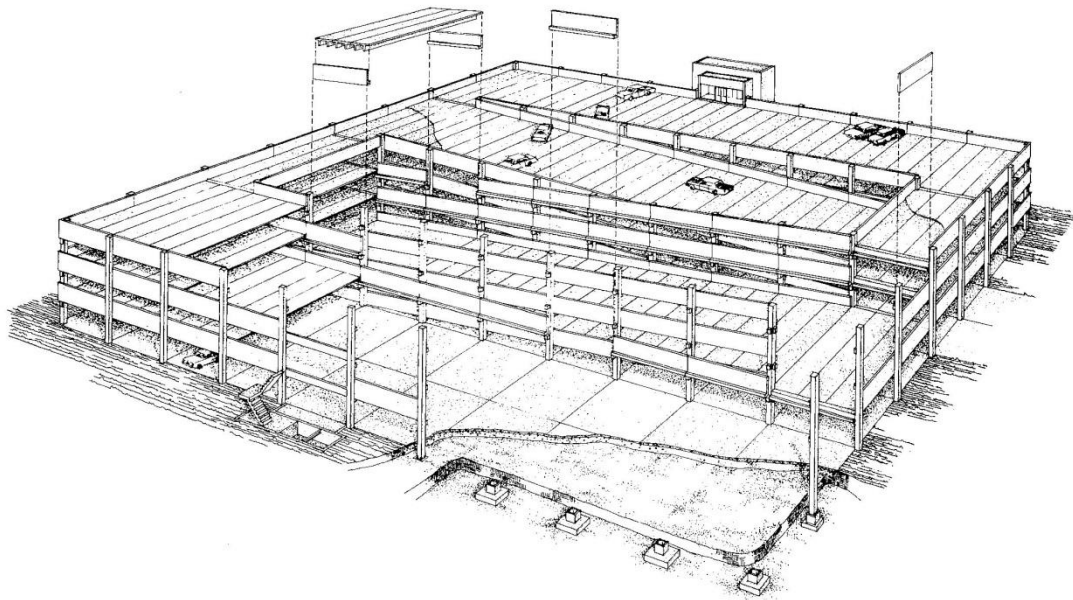
10 Rungon optimointiin liittyvät rajoitteet

Parkkitalon runkovaihtoehdon suurin rajoittaja on autopaikan minimikoko, joka on $2,5 \times 5 \text{ m}^2$. Lisäksi kerroksen vapaan korkeuden tulee vähintään olla 2,5 metriä. (23,24.) Vapaa korkeus tarkoittaa välipohjan yläpinnan (lattian yläpinnan korko) ja rajoittavan välipohjan alimman rakenteen (palkin) alapinnan koron rajoittamaa vapaata liikkumistilaa. Tilan korkeuden minimin määrittelee henkilöauton yleinen koko ja pakettiauton yleinen 2,1 metrin korkeus. Tilan monipuolisen käytön rajaamista pelkäksi henkilöautojen paikoitusalueeksi ei kannata tehdä kuin siinä tapauksessa, että tilan käyttöaste tulee olemaan pieni tai tilan käyttäjät ovat vain ja ainoastaan henkilöauton käyttäjiä. Tapauksessa, jossa tilan vapaa korkeus poikkeaa standardista ($<2,5$ metriä), tulee rakenteet merkitä varoitusmerkinnöillä, kuten rajoittavilla liikennemerkkeillä ja mustakeltaraidoituksella. Tässä työssä käsitellään kohteita joiden ajoneuvotyyppiä ei ole rajoitettu ainoastaan vain henkilöautoihin. Kuvassa 10.1. näkyy tyypillisen parkkitilan rakenteita pysäköintiruutujen ollessa 90° :n kulmassa. Kuvassa 10.1. näkyvät välipohjassa käytetyt ripalaatat sekä palkit ja pilarit. Pilarit sijaitsevat 18 metrin moduulijaolla toisistaan y-suunnassa ja 8 metrin jaolla x-suunnassa.



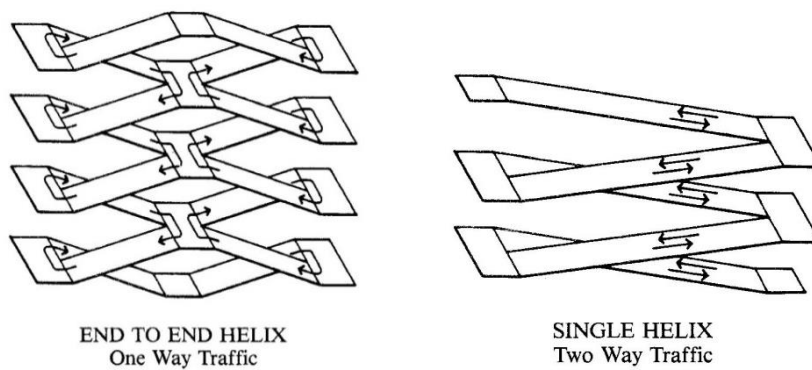
Kuva 10.1. Erään parkkihallin runkorakenteita. (Parma Oy)

Autopaikan tilan asettama rajausta määrittää rakennuksen moduulijaon. Yleisesti käytetty autopaikoitusmalli on 90° pysäköinti. Tässä mallissa autopaikkojen vapaa väli on 8 metriä. Lisäksi mahdollisia vaihtoehtoja ovat 60:n ja 75:n asteen pysäköintimallit. Vinopysäköinnillisten (kääntökulma 60-75°) pysäköintitilojen liikenne voi olla vain yksisuuntaista (24). Autopaikkojen ollessa 60 asteen kulmassa paikkojen välisen ajoväylän leveys tulee olla vähintään 6 metriä ja 75 asteen kääntökulman tapauksessa 7 metriä. Yhden autopaikan tehollinen tilan tarve on suorien ramppien kohteessa 20–25 m² ja kohteissa, joissa on joko kierrerampit tai kaltevat tasot 25–30 m². Pilareiden tulee sijaita maksimietäisyydellä niin, että niiden koko ei estä parkkeerausta. Rampit voivat olla joko suoria tai kierreramppeja. Lisäksi pysäköintitasot voivat olla kaltevia. Ramppien muotoon vaikuttavat autopaikkojen asetettu määrä, sisään- ja ulostulojen sijainnit, käyttötarve (välillinen/pidempiaikainen pysäköinti ja liikenteen kooste), tontin muoto, haluttu kerroskorkeus ja liitäntä ajotiehen. Kaltevien pysäköintitasojen kaltevuus saa maksimissaan olla 1:25, kun taas ramppien kaltevuus voi vaihdella välillä 1:8–1:12 (sisä- ja ulkorampit, puolikerrosrampit). Kuvassa 10.2. on esitetty tyyppillinen pysäköintitalon runkojärjestelmä.(24.)



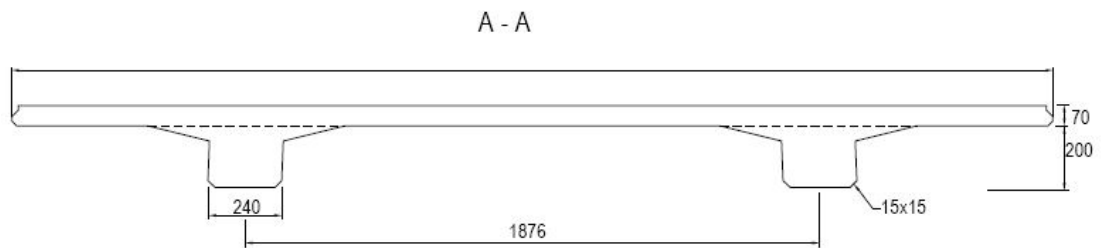
Kuva 10.2. Pysäköintitalon yleisin runkojärjestelmä (pilari-palkki-laattarunko). (26.)

Suuret jännevälit (laatat, palkit) kasvattavat pilarin kokoa ja sen raudoitussuhdetta. Rungon suhdetta laattojen ja palkkien pituuteen on testattu verrokkikohteissa 1 ja 2 (liite 6–7). Verrokkikohteissa 1 ja 2 on poistettu sisäramppien ja kaltevien tasojen vaikutus runkorakenteisiin lisäämällä ulkoramppi päätyyn, eli tasot ovat vaakasuorassa. Vertailukohteen 1 pysäköintikulma on 75 astetta ja vertailukohteen 2 pysäköintikulma on 90 astetta. Kuvassa 10.3. on kohteisiin ajatellun ulkorampin toimintaperiaate kaksisuuntaiselle liikenteelle (vasen) ja yleisesti käytetty puolikerrossisäramppi oikealla (kohteessa 88797).



Kuva 10.3. Ramppiratkaisuja parkkitaloissa, vasemmalla on puolikerrosramppi kahdella taitteella ja oikealla puolikerrosramppi taitteella (kaksisuuntainen liikenne).

Verrokkikohteessa 1 on laattojen, pilareiden ja palkkien maksimijänneväliä haettu kääntämällä autopaikat 75 asteen kulmaan. 90 asteen autopaikoituksella ripalaattojen jännevälit kasvavat liian suureksi haettaessa normaalista 17000 x 7500 jaottelusta poikkeavaa jaottelua, kun taas 60 asteen autopaikoituksella pilareiden sijoittelu paikoitukseen nähden (autopaikkojen päissä) on käytännössä mahdotonta toteuttaa (tässä ei ole huomioitu pyöreitä parkkirakennuksia). Välipohjarakenteena on käytetty ripalaattaa, jonka korkeus (h) on 270 mm ja leveys (b) on 3000...3600 mm. Kuormitus vertailukohteissa on kuormaluokan F mukainen minimikuorma ja paikallavalu 100 mm ($g_k=2,5 \text{ kN/m}^2$). Kuvassa 10.4. on esitetty ripalaatan periaatteellinen poikkileikkaus.



Kuva 10.4. Ripalaatan poikkileikkaus.

Tehdyn laskennan perusteella ripalaatan maksimipituudeksi on saatu 8,4 metriä. Laatan pituuden ollessa alle 8,4 metriä rakenteen halkeilurajatila ei ylitä käyttörajatilassa rasitusluokassa XC3, XC4, XF1 ($w < 0,2$ mm). Tätä pidempiä laattoja ei laskennallisesti saada kestäväksi, ellei laatan jäykkyyttä muuteta (korkeuden kasvattaminen, rivan kaventaminen). Jäykkyyden kasvattaminen muuttaa rakenteen kokonaiskorkeutta. Ominaispainon tulee kuitenkin säilyä samanlaisena, muuten palkkien jäykkyyttä tulee muuttaa.

Normaalitilanteessa parkkitaloissa käytetään suorakaidepalkkeja, kun käytetään RL-laattaa. Suorakaidepalkin jäykkyyden kasvattaminen tarkoittaa palkin korkeuden kasvattamista, mikä muuttaa kerroskorkeutta. Suorakaidepalkki voidaan korvata I-palkilla, jolloin betonin lujuusluokka voidaan pitää matalana (C50/60) ja punosmäärää voidaan pienentää jopa 29,4 %. Tässä tulee kuitenkin huomioida se, että maksimipalkin pituus on 17,4 metriä, ja jotta 29,4 prosentin hyöty saavutetaan, tulee I-palkin olla 880 mm korkea. Kerroskorkeuteen tulee siis +200 mm lisää. Palkkien jäykkyyttä kasvatettaessa säästetään palkkien raudoituksessa, mutta laattakentän (RL) kokonaispunosmäärän kasvaessa palkeissa saavutettu hyöty kompensoituu jo pelkästään ripalaattojen punosmäärän lisäyksellä (kun laatan maksimijänneväli on käytössä). Tästä syystä laatan jännevälin kasvattaminen maksimiin ei tuo vastaavaa hyötyä. Lisäksi laatan lovipään rauditusala (A_{st}) muodostuu niin suureksi, ettei sitä pystytä ankkuroimaan tuelle tilanpuutteen takia (loviosan korkeus on 70 mm, palkkiosan leveys on 240 mm). Tietysti voidaan ajatella kannen osan korottamista päätyalueella, mutta tämä tarvitsisi osakseen lisätarkasteluja. Kuormituksen kasvaessa pilareiden koko ja rauditusmäärä kasvavat.

Maksimijänneväliä käytettäessä pilareiden suurempi koko ja raudoitustarve nostavat koko rungon ympäristökuorma-astetta +5,0 prosenttia, kun verrataan pelkän rungon osuutta esimerkkikohteiden runkoihin (ks. liite 9). Verrattaessa vertailukohde 1:en rungon päästöarvoa (liite 9) esimerkkikohteiden 89618, 88797 ja 89095 arvoihin voidaan myös todeta se, että ramppien ulkoistamisella ei saavuteta hyötyjä ajateltaessa kokonaispäästöarvoa. Vertailukohde 2:n (liite 7) osalta runkorakenteet on pyritty pitämään samanlaisina kuin vertailukohde 1:ssä. Tässä vaihtoehdossa autopaikat on käännetty 90 asteen kulmaan ja laskettu tämän vaihtoehdon runkorakenteiden vaikutusta päästölukuun (CO₂e kg/m²). Vertailukohteen 2 kokonaispäästöarvo/autopaikka on 1,73 % pienempi kuin vertailukohde 1:n. Vertailukohteen 2 kokonaispäästöluku ei poikkea RL-esimerkkikohteiden keskimääräisestä päästöluvusta, eli muutettu palkkirakenne ei kokonaisuutta ajatellen tuo olennaista hyötyä, kun moduulijako on laattojen suuntaan alle 8 metriä.

Mietittäessä kokonaistaloudellisinta ratkaisua itse laatan ominaisuuksien tai rungon muodon muuttaminen ns normaalista 17000x (5000)7500(8000) moduulijaosta ei vastaa tarkoitusta, vaan rakenteiden ympäristökuorman pienentäminen tulee tapahtua rakennusosien materiaaliominaisuuksia muuttamalla. Materiaaliominaisuudet (massa, teräs ja punosmäärä) ovat valmistajakohtaisia ja tässä työssä tarkastellaan ainoastaan Parma Oy:n tuotteiden ympäristövaikutuksia.

11 Runko ja laattavaihtoehtojen vaikutus päästöarvoihin

Parman parkkitalokonseptin mukaisten viiden esimerkkikohteen hiilidioksidipäästöt on laskettu seitsemällä eri vaihtoehdolla. Laskentavaihtoehdot on esitetty taulukossa 11.1. Laskennalla on pyritty etsimään tilannetta, jossa mahdollisimman pieni CO₂e kg/m² päästöarvo voidaan saavuttaa. Laskennassa käytetyt materiaalien suhteelliset teräs-, punos- ja betonimenekit on laskettu käsinelaskentana kohteiden elementti- ja raudituspiirustusten perusteella. Verrokkikohteiden 1 ja 2 betonielementtien rauditus ja punossuunnittelu on tehty kokonaan tätä laskentaa varten (ks. luku 1 ja 8.3). Verrokkikohteiden tuloksia käsitellään ainoastaan vaihtoehdon 1 osalla.

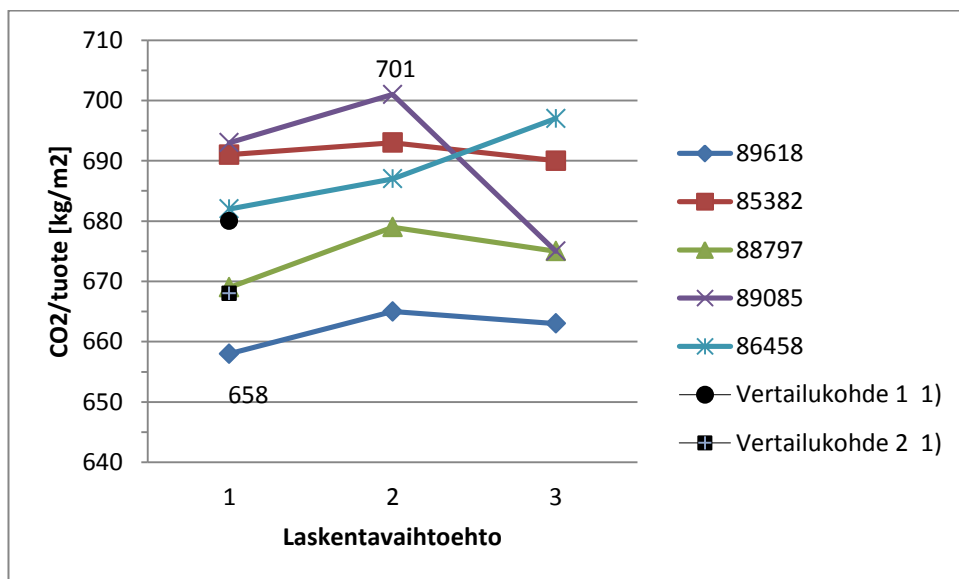
<p>Vaihtoehto 1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Esimerkkikohteiden CO₂ kg/m² laskenta runko ja laattatuotteiden mukaan • Todellinen sijainti • Todellinen raudoitus • Todelliset massat valmistavan tehtaan mukaan
<p>Vaihtoehto 2</p> <ul style="list-style-type: none"> • runko ja laattatuotteisiin ei ole tehty muutoksia • kuljetusmatkan vaikutus poistetaan siirtämällä kohteen sijainti yhtäläisen matkan päähän jokaiselta tehtaalta
<p>Vaihtoehto 3</p> <ul style="list-style-type: none"> • laatta ja runkotuotteiden reseptiikan vaikutus poistetaan muuttamalla kaikki elementit ns keskiarvoiselle massalle <ul style="list-style-type: none"> • sementin suhteet ja runkoaineiden määrät keskiarvoja eri tehtaiden reseptien perusteella • kuljetusmatkan vaikutus poistettu vaihtoehdon 2 mukaan
<p>Vaihtoehto 4</p> <ul style="list-style-type: none"> • kuin vaihtoehto 3, mutta kuorilaattoihin on lisätty ansaiden vaikutus
<p>Vaihtoehto 5</p> <ul style="list-style-type: none"> • kuten vaihtoehto 4 (kohteissa jossa kuorilaattaa) • lisätty betonielementtien kierrätysastetta +1 prosentti
<p>Vaihtoehto 6</p> <ul style="list-style-type: none"> • kuten vaihtoehto 4 • lisätty betonielementtien kierrätysastetta +2 prosenttia
<p>Vaihtoehto 7</p> <ul style="list-style-type: none"> • kuorilaatat + ansaat maakostealla massalla C40/50 (sis vaihtoehto 4) • kuorilaatat + ansaat normaalimassalla (sis vaihtoehto 4) • RL IT-massalla C50/60 • RL IT-massalla C40/50 + elementin kierrätysaste +1,2 % • paikallavalu massa IT C30/40 • paikallavalumassa rakennebetoni C30/40

Taulukko 11.1. Vertailulaskelmien sisältö.

CO₂e-arvo (kg/m², kg/autopaikka) perustuu tuotteen valmistuksessa sitoutettuun energiaan ja syntyneisiin päästöihin. Lisäksi on huomioitu tuotteen kuljetusmatka tehtaasta portilta rakennuspaikalle. CO₂e perustuu pelkästään tuotteen valmistukseen ja kuljetukseen. Laskennasta haluttu arvo on CO₂e kg/autopaikka, joka on laskettu keskimääräisen 25 m² /ap, eli yhden autopaikan tilavarauksen mukaan (ks. kohta 10).

11.1 Laskentavaihtoehtojen tulokset

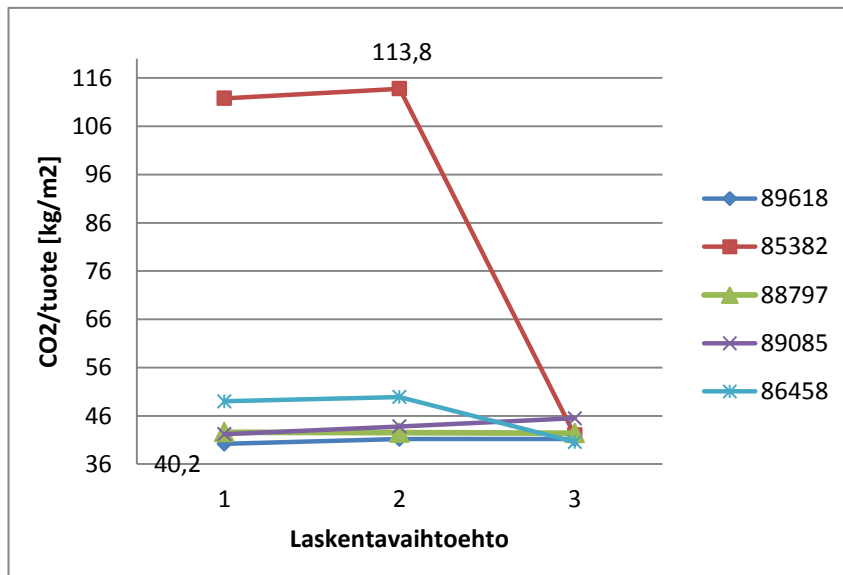
Laskentavaihtoehtojen 1–7 (taulukko 11.1) tulokset on koottu rungon, laattojen ja paikallavalun osalta Yritteisiin 1–3 (liitteet 9–11). Aiemmin todetun rungon rakenteellisen optimoinnin suhteen tilanne voidaan todentaa Yritteessä 1 (liite 9), eli tilanteessa, jossa on laskettu vaihtoehdon 1, 2 ja 3 mukaista tehtaan ja tuotannon vaikutusta rakenteiden kuormittavuuteen (ks taulukko 11.1). Toteutetuilla kohteilla (esimerkkikohteet) rungon osuus kokonaispäästöarvosta vaihtelee alkutilanteessa välillä 658–701 CO₂ kg/m² (päästö per tuoteyksikkö). Ero ei ole huomattava. Tilannetta on todennettu myös verrokkikohteilla 1 ja 2 (LIITE 6,7), joissa rungon osuus kokonaispäästöarvosta on 668–680 kg/m². Verrokkikohteissa haettiin rungon vaikutusta tilanteessa, jossa käytössä ovat maksimijännevälit ja tasot eivät ole riippuvaisia kaltevuussuhteista (tasot vaakasuorat). Verrokkikohteiden 1 ja 2 lukemat sijoittuvat esimerkkikohteiden 1–5 keskivaiheille. Näin ollen voidaan arvioida, että itse rungon dimensioiden muuttamisella ei ole suurta vaikutusta kertyviin päästöihin. Rungon rakenteellisen optimoinnin tulokset eivät siis muuta kokonaispäästökertymää parempaan suuntaan (=pienennä päästökertymää oleellisesti) verrattuna lähtötilanteeseen eli tilanteeseen, jossa esimerkkikohteiden päästökertymät on laskettu muuttamatta dimensioiden ja materiaaleja. Tilannetta on havainnollistettu kuvassa 11.1.



Kuva 11.1. Rungon CO₂e-päästöarvo esimerkkikohteilla Yritteessä 1.

Korkein CO₂e-päästöarvo on kohteella 89085, tämän kohteen päästöarvon jyrkkä aleneminen johtuu teoreettisen tehtaan sijainnista uuden sijainnin suhteen ja materiaalin toimitusmatkojen muutoksesta, sekä keskiarvomassan käytöstä (ks. liite 4). Kohteen 89618 päästöarvon kohoaminen aiheutuu samasta syystä kuin 89085 alenema. Muissa kohteissa heitto on pienempi valmistavien tehtaiden sijainnin takia. Vertailukohteiden 1 ja 2 päästöarvot sijoittuvat laskentavaihtoehdossa 1 muiden runkovaihtoehtojen keskivaiheille. Laskentavaihtoehdon 3 CO₂e-arvo antaa pohjatuloksen, jonka perusteella laskentaa voidaan jatkaa eteenpäin.

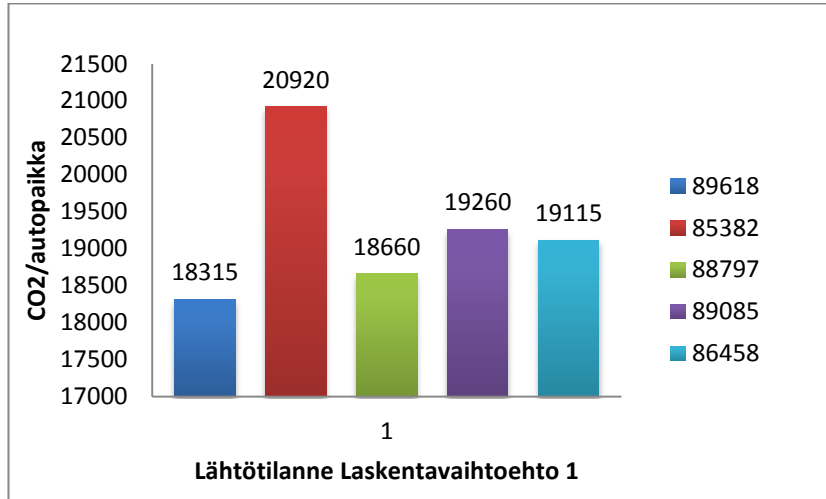
Laattatuotteiden osuus vaihtoehdossa 1 vaihtelee välillä 40,2- 113,8 CO₂ kg/m². Suuri lukuarvo (113,8 CO₂e) johtuu kohteen 85382 pitkistä kuljetusmatkoista rakennuspaikalle (ks kuva 11.2). Kohde sijaitsee Vuosaarella, mutta kuorilaattaelementit valmistetaan Joutsenossa (ks. liite 3), lisäksi kohteen elementeistä 27 % on TEK-laattaa, joka pienentää päästöarvoa jatkossa. Laattojen osuutta on havainnollistettu kuvassa 11.2. Laattojen ja paikallavalun osuus kokonaispäästökertymästä on noin 1/5 ja rungon osuus on 4/5.



Kuva 11.2. Laataston CO₂e-päästöarvo esimerkkikohteilla Yritteessä 1.

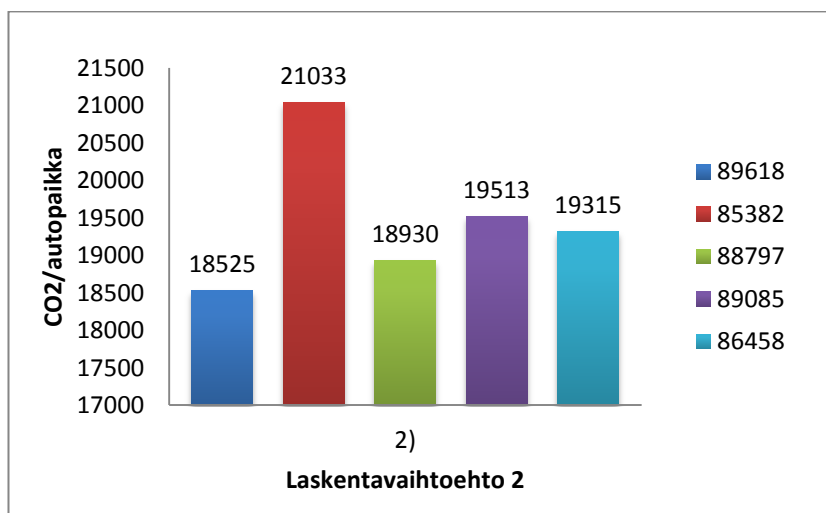
CO₂ kg/autopaikka muodostuu yhdistetystä päästöarvosta rungon, laattojen ja paikallavalun suhteen. Yrite 1 (liite 9) edustaa lähtötilannetta, josta materiaaliominaisuuksia on lähdetty muokkaamaan. Lähtötilanteessa kuorilaattakohteiden (85382 ja 86458) hiilidioksiekvivalenttikertymä autopaikkaa kohden on

19115–20920 kg. Luku on verrattain suuri johtuen osittain pitkistä kuljetusmatkoista valmistavan tehtaan mukaan. Ripalaattojen (kohteet 89618, 88797 ja 89085) vastaava kertymä on 18315–19260 CO₂ kg/ap. Lähtötilanteessa arvot ovat siis suunnilleen samat riippumatta välipohjarakenteen laattatyypistä (kuva 11.3.).



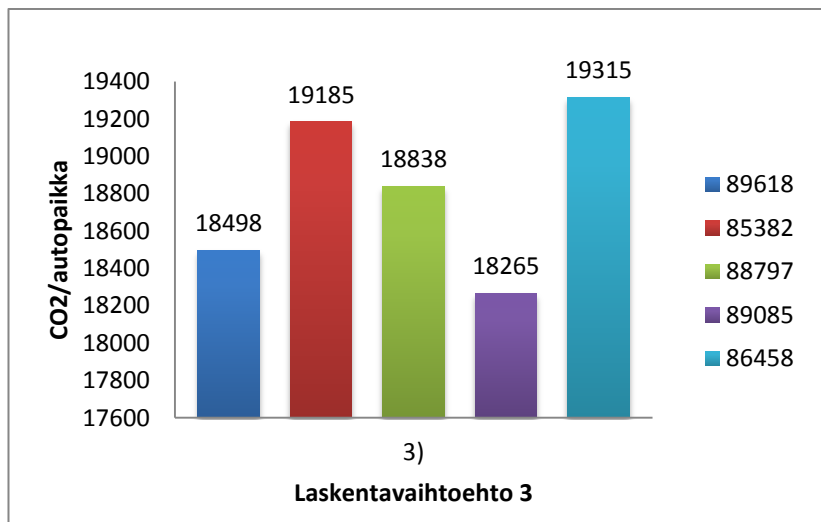
Kuva 11.3. CO₂e kg/autopaikka esimerkkikohteilla Yritteessä 1.

Vaihtoehdossa 2 kohteiden sijaintia muutetaan niin, että etäisyys valmistavaan tehtaaseen on yhtä suuri. Näin saadaan eliminoitua kuljetuksen merkitys lähtötilanteesta (taulukko 11.1.). Tehtaiden (Rusko, Nummela ja Nastola) perusteella valittiin rakennuspaikan uudeksi sijainniksi Toijala (noin 113 km etäisyys näihin kolmeen tehtaaseen). Muutos aiheuttaa +0,5–1,3 prosentin lisäyksen CO₂e kg/ap-arvoon (kuva 11.4.).



Kuva 11.4. CO₂e kg/autopaikka esimerkkikohteilla Yritteessä 1.

Vaihtoehdossa 3 poistetaan tehtaan vaikutus, eli valmistus sijoitetaan teoreettiselle tehtaalle, joka sijaitsee noin 113 km päässä rakennuspaikasta. Valumassat muutetaan keskiarvoiksi massoiksi kaikkien valmistavien tehtaiden (Turku, Hyrylä, Joutseno, Nummela, Nastola, Nurmijärvi ja Forssa) kesken. Vaihtoehdossa 3 ripalaattakohteiden kokonaiskertymän muutos vaihtelee 0...-6,4 %. Vaikutus on suuri riippuen tehtaan alkuperäisestä sijainnista. Teoreettisen tehtaan sijainnissa on otettu huomioon runkoaineiden hankkiminen ja kuljetus kyseiselle tehtaalle. Kuorilaattojen osalta muutos on luokkaa 0... -8,8 %, syy on sama kuin ripalaattojen kohdalla. Kokonaispäästökertymä CO₂e kg/ap (kuva 11.5.) jää Yritteessä 1 ripalaattojen osalta tasolle n. 18270–18600 ja kuorilaattojen osalta tasolle n. 19200–19320 kg/ap.

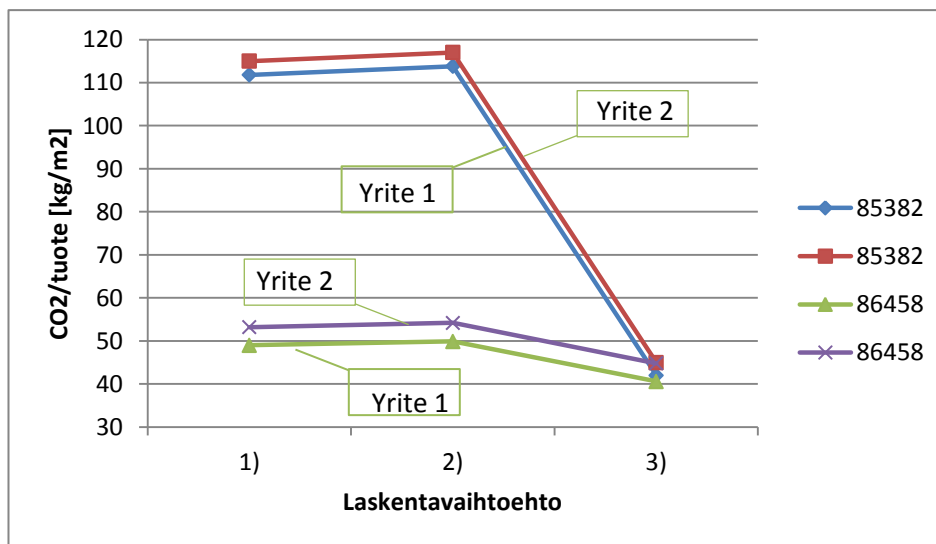


Kuva 11.5. CO₂e kg/autopaikka esimerkkikohteilla Yritteessä 1.

Tarkasteltaessa kokonaisuutta Yritteessä 1 (liite 9) on selvää, että suurin vaikutus materiaalien optimoinnin kannalta on sillä, missä elementit tuotetaan, millä massalla ne tuotetaan ja mikä on rakennustuotteiden kuljetusmatka rakennuspaikalla. Esimerkkikohteen 85382 laattatuotteiden hiilidioksidivaihtokertoimen pieneni 63 % lähtötilanteesta (kuva 11.2.), kun tuotanto siirrettiin teoreettiselle tehtaalle, eli lähemmäs rakennuspaikkaa. Ideaali tilanne olisi tuottaa rakennusmateriaalit lähimmällä tehtaalla, mutta käytännössä tämä lienee mahdotonta. Tehtaiden tuotanto on riippuvainen tilauskannasta ja tuotteista joita yksikössä valmistetaan. Parma Oy:n kaikki tehtaot eivät valmista laattoja, eivätkä kaikki tehtaot valmista pilareita tai palkkeja. Tässä työssä laskettuja tuloksia voidaan-

kin pitää optimiarvoina, joita voidaan tavoitella mutta joihin ei kuitenkaan käytännön syistä tulla pääsemään.

Yritteessä 1 ei ole huomioitu kuorilaatoissa käytettävää ansastusta. Yhden kuorilaatan ansaiden määrä on laskennallisesti 10 kg/m^2 . Tämän teräsmäärän lisäystä tarkastellaan Yritteessä 2 (liite 10). Kuorilaatat on laskettu maakostealla massalla lujuusluokassa C40/50. Kuorilaattakohteissa 85382 ja 86458 ansaiden lisääminen huonontaa kokonaispäästöarvoa 0,87–1,11 prosenttia. Teräsmäärän lisääminen siis loogisesti huonontaa lopputulosta, eli suurentaa CO_2e -päästöarvoa (kuva 11.6).



Kuva 11.6. Kuorilaattojen ansaiden vaikutus päästöarvoon CO_2e gk/m^2 , kun verrataan arvoja Yritteessä 1 ja 2.

Yritteessä 3 (liite 11) on huomioitu vaihtoehtojen 4,5,6 ja 7 tilanteet. Laskentatuloksia on verrattu lähtötilanteeseen, eli Yritteen 1 (liite 9) ensimmäiseen laskentatulokseen (vaihtoehto 1). Laskentavaihtoehdossa 7. kuorilaattojen massa on vaihdettu ns. normaaliin rakennemassaan C40/50. Johtuen valutekniikoista osalla tehtaista kuorilaatat valetaan valualustalle ja osalla tehtaista käytetään valukonetta. Valukonetta käyttävien tehtaisten KL-massana käytetään maakostea massaa. Normaalin valumassan käyttäminen kuorilaattojen valmistuksessa kasvattaa päästökertymää +1,15–3 prosenttia, joten maakostean massan käyttäminen kuorilaatoissa on suositeltavaa.

Massoja on edelleen kehitetty niin, että runkoaineen osalta on haettu materiaaleja, joiden CO₂e ominaispäästöarvo on pieni ja yhdessä tehtaalle tapahtuvan kuljetuksen ja tehtaalta rakennuspaikalle tapahtuvan kuljetuksen polttoaineen kulutukseen perustuvan ominaispäästöarvon kanssa muodostavat normaalitilannetta pienemmän CO₂e ominaispäästöarvon. Lisäksi on hyödynnetty materiaaleja, joissa ominaiskierrätysaste on suuri, kuten Plus-sementti, betonimurske, lentotuhka, mikrosilica ja kierrätysteräs. Runko ja laattatuotteiden osalta on haettu lähimpänä tuotettua materiaalia (runkoaines, lisäaine, teräs, punos), jonka CO₂e-ominaiskerroin on pieni ja laskettu elementtien yhteistä kokonaiskierrätysastetta (recycled material content) alaspäin ensin -1 ja sitten -2 prosenttia.

Suurimmat erot saadaan käyttämällä Plus-sementtiä suhteessa 50:50, jossa 50 prosenttia sementistä on Plus-sementtiä ja 50 % on Rapid-sementtiä. Plus-sementin lisääminen 75 prosenttiosuuteen sementin kokonaismäärästä ei pienennä kokonaispäästökertymää kuin max -3,96 % (kohde 86458, ks. liite 11). Kierrätysasteen korotus, joka saadaan ripalaattaan maksimissaan muodostettua, on +1,2 prosenttia. Tämä saadaan aikaiseksi käyttämällä Plus- ja Rapid-sementtiä suhteessa 75:25 [(%) ks. liite 11].

Paikallavalun osuutta kertymään voidaan pienentää käyttämällä rakennebetonin C30/40 sijasta IT-lattiabetonia C30/40. Tämä muutos pienentää paikallavalun päästökertymää jopa -11,6 prosenttia. Paikallavalun osuudesta on todettava sen verran, että käytetyn massan suhteutus tulee tehdä valmistajan puolesta. Tässä käytettyjen paikallavalumassojen koostumus on arvioitu yläkanttiin, joten tulos on suuntaa antava.

Esimerkkikohteiden punos- ja teräsmäärän muutosten (lisäys, pienennys) vaikutusta päästökertoimeen ei tarkastella. Laskennat on tehty todellisten teräs ja punosmäärien mukaan, mikä antaa luotettavamman tuloksen kuin teoreettisten punosmäärien käyttö, jolloin tuloksista on mahdollisuus muodostua ylioptimistisiä normaalitilanteeseen verrattuna. Punos- ja teräsmäärän suurentaminen nyt käytetyistä arvoista taas huonontaa lopputulosta lähtötilannetta huonommaksi.

11.2 Laskennan yhteenveto

Taulukossa 11.2. on esitetty tehtyjen laskelmien yhteenveto. Laskelmien tulokset eri vaihtoehtojen mukaan (ks. taulukko 11.1.) on esitetty liitteissä 9–11.

Yhteenveto CO ₂ e kg/autopaikka					
KL	KL	RL	RL	RL	
85382	86458	89618	88797	89085	vaihtoehdot
21033	19315	18525	18930	19513	1,2,3 (max) kts taulukko 11.1
21113	19423	18525	18930	19513	1,2,3 (max) kts taulukko 11.1
19185	19115	18315	18660	18265	3 kts taulukko 11.1
19260	19220	18315	18660	18265	3,4 kts taulukko 11.1
19440	19700	18500	18870	18265	3,4,7 kts taulukko 11.1
17758	17850	16810	17215	(ei KL)	3,4,7 kts taulukko 11.1
17273	17128	16310	16705	(ei KL)	3,4,7 kts taulukko 11.1
17273	(ei RL)	16395	16798	16763	3,4,7 kts taulukko 11.1
(ei RL)	(ei RL)	16200	16575	16503	3,4,7 kts taulukko 11.1
17173	17030	16103	16478	16398	3,4,7 kts taulukko 11.1
17173	17030	16103	16478	16398	<i>min</i>
21113	19700	18525	18930	19513	<i>max</i>
-18,7	-13,6	-13,1	-13,0	-16,0	<i>ero %</i>
3940	2670	2423	2453	3115	<i>ero CO₂/autopaikka</i>
			17101	16326	<i>ka min</i>
			20406	18989	<i>ka max</i>
			-16,20	-14,03	<i>ero %</i>
			- 3305	- 2663	<i>ero CO₂ kg/autopaikka</i>
			<i>Ripalaatan ero kuorilaattaan min</i>	-775	<i>ero CO₂ kg/autopaikka</i>
			<i>Ripalaatan ero kuorilaattaan max</i>	-1417	<i>ero CO₂ kg/autopaikka</i>
			<i>RL/KL ero jos RL muutettu KL ei muutosta</i>	-4080	<i>ero CO₂ kg/autopaikka</i>
			<i>RL/KL ero jos KL muutettu RL ei muutosta</i>	1888	<i>ero CO₂ kg/autopaikka</i>

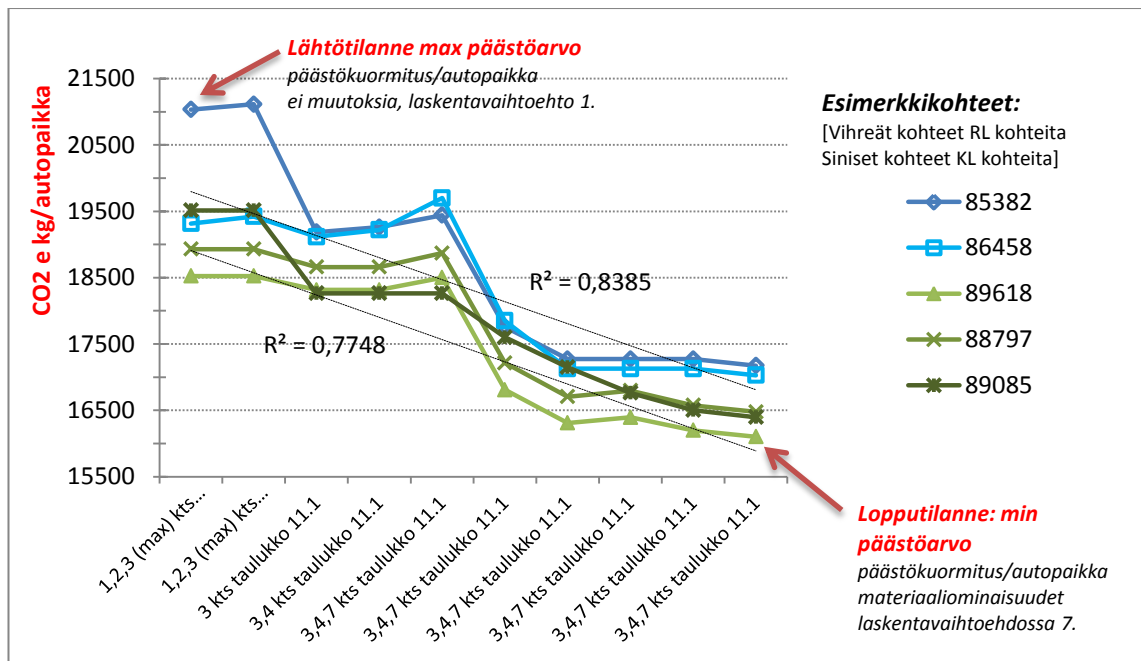
Laattatyypikohtainen keskiarvo (yhdistetty käsitellyistä kohteista) vas:KL, oik:RL

Alku ja lopputilanteen välinen erotus

Taulukko 11.2. Esimerkkikohteiden yhteenvetotaulukko.

Materiaalien optimoinnin merkitys korostuu tarkasteltaessa taulukkoa 11.2. Betonin ominaisuuksien muutos pienentää autopaikan hiilidioksidijalanjälkeä, jopa -18,7 % lähtötilanteeseen nähden. (Lähtötilanne eli tilanne jossa mitään muutoksia kohteen elementtien ominaisuuksiin, kohteen sijaintiin tai reseptiikkaan ei ole tehty on ylin rivi taulukossa 11.2.) Yhteenvetotaulukko on listattu liitteiden

9–11 tulokset ja laskettu tulosten perusteella kuorilaattojen ja ripalaattojen keskiarvot sekä huonoimmassa tilanteessa (alkutilanne), että vähiten päästöjä aiheuttavassa tilanteessa (lopputilanne, kun käytettyjä materiaaleja on muutettu ja tehtaan, sekä sijainnin vaikutukset on poistettu alkutilanteesta). Päästöarvoa (CO₂e kg/autopaikka) saadaan pienennettyä jopa **-3940 kg/ap** (kohteessa 85382) ja kaikkien kohteiden perusteella keskimääräisesti noin **-2663–3305 kg/ap** (kuorilaatta ja ripalaattakohteiden perusteella muodostettu laattatyypikohtainen keskiarvo). Ripalaattavälipohjarakenteen merkitys koko runkorakenteen kuormittavuuteen on merkittävä, kun myös runkoelementtien ympäristökuormitusta on pienennetty mahdollisimman pieneksi. Päästökuormitus on jopa -1417 kg/autopaikka pienempi kuin rungossa, jossa välipohjarakenne muodostuu kuorilaatasta ja paikallavalusta (ks. taulukko 11.2.). Maksimierotus eli **-1417 kg/autopaikka** on laskettu keskiarvomaksimin perusteella, joka vastaa suunnitteen tilannetta jossa verrataan kuorilaattakohteiden ja ripalaattakohteiden erotusta lähtötilanteesta. Kuvan 11.7. korrelaatiot ovat kohteista 89085 ja 86458 kuvaavat laattatyypien (KL,RL) välistä peruseroa.



Kuva 11.7. Esimerkkikohteiden CO₂-e-kuvaajat (kg/autopaikka) yhteenvetotaulukon 11.2. perusteella laadittuna.

Maksimihyöty eli pienin ympäristökuormitus saadaan ripalaatoilla silloin, kun runkoelementtien kierrätysaste on maksimoitu ja käytetty sementtityyppiyhdistelmää: Plus-sementtiä vähintään 50 % ja Rapid-sementtiä enintään 50 %. Tässä tapauksessa runkoaineoksen, lisäaineiden, teräs- ja punosmateriaalin tulee olla tuotettu mahdollisimman lähellä valmistavaa tehdasta ja tehtaasta tulee sijaita mahdollisimman lähellä rakennuspaikkaa. Paikallavalun tulisi olla IT-betonia ja betoniaseman tulisi sijaita mahdollisimman lähellä rakennuspaikkaa. Materiaalin (teräs, punos, runkoaine, lisäaineet) kierrätysasteen tulee olla mahdollisimman suuri ja valmistuksessa tulee hyödyntää prosessivettä ja betonimurskeen käyttöä, jos se valmistusteknisesti on mahdollista. Kyseisten arvojen parantaminen parantaa myös ympäristösertifioinnissa laskettavia osa-aluepisteitä (ks. kohta 6). Edellisten ehtojen täytyttyä pienin päästökuormitus on **16103 CO₂e kg/ap** ja prosentuaalisesti muutos on **-13,1 %** lähtötilanteeseen verrattuna (ks. kuva 11.7. ja taulukko 11.2.).

Tilanteessa, jossa verrataan kuorilaattojen kuormitusastetta ripalaattojen kuormitusasteeseen, kun materiaaleja on muokattu, ero ripalaatan hyväksi kasvaa jopa **-4080 CO₂e kg/autopaikka** (taulukko 11.2.). Vastaavasti jos ripalaattarunkon ominaisuuksia ei muuteta ja kuorilaattarunkovaihtoehdon ominaisuuksia muutetaan, ero kasvaa kuorilaattojen hyväksi **-1888 CO₂e kg/autopaikka** (ks. taulukko 11.2.).

Tehdyt laskelmat perustuvat olettamukseen, että materiaalit ovat vapaasti vaihdettavissa. Oletettavaa on, että betonin ominaisuuksien muutos vaikuttaa materiaalin työstettävyyteen. Tulos on puhtaasti laskennallinen. Arviolta paras tulos on käytännössä saavutettavissa jossain laskennallisten keskiarvojen alueella eli välillä **16300–17100 kg/ap** (CO₂e).

12 Päästöarvon vertaaminen liikenteen päästöihin

Liikenteen päästöjä voidaan arvioida liikenteen vuosittaisten päästökertoimien CO₂e kg/hkm ja CO₂e kg/km avulla. Kertoimet löytyvät VTT:n ylläpitämiltä Liipasto-sivuilta, josta löytyvät Suomen liikenteen käytönaikaiset päästömäärät (laskennalliset tilastot) ja energiankulutus grammoina kilometriä (g/km) ja henki-

lökilometriä kohden (g/hkm). Henkilökilometri on liikennesuorite, jolla yksi henkilö etenee kilometrin pituisen matkan. Lipaston henkilöliikennettä koskevien päästökerrointen tilastointi ulottuu tällä hetkellä vuoteen 2012 asti. Henkilöauto liikenteen osalta voidaan käyttää EURO 3 mukaista kerrointa, jonka suoriteosuus kaikesta henkilöliikenteestä on noin 28,6 %. CO₂e:n laskennallisena liikenteenpäästökertoimena voidaan EURO 3 luokassa käyttää maantie ja kaupunkiajon kertoimia 98 g/hkm ja 167 g/km. (27.)

Taulukossa 12.1. on tilastokeskuksen kasvihuonekaasuinventaarion tilastointi Suomen kasvihuonekaasupäästöistä vuodesta 1990 vuoteen 2012 asti. Vuoden 2012 liikenteen päästöjen osuus on 12,7 Mt/a. Lipaston tilastoima laskennallinen arvio vuoden 2012 tieliikenteestä (kaikki ajoneuvot) on noin 11, 2 Mt/a.

		1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012 ²⁾
Päästöt yhteensä pl. LULUCF-sektori		70,3	70,8	69,2	68,7	79,9	78,3	70,1	66,0	74,4	66,8	60,9
	Energiasektori	54,5	56,1	54,5	54,0	65,3	63,2	54,7	52,7	60,5	53,3	47,8
	Energiateollisuus	19,2	24,1	22,1	22,0	32,9	30,8	24,2	25,2	30,6	24,7	20,7
	Teollisuus ja rakentaminen	13,4	12,1	11,9	11,3	11,6	11,4	10,8	8,4	9,9	9,7	8,4
	Kotimaan liikenne	12,8	12,0	12,8	13,7	13,9	14,2	13,6	12,9	13,4	13,2	12,7

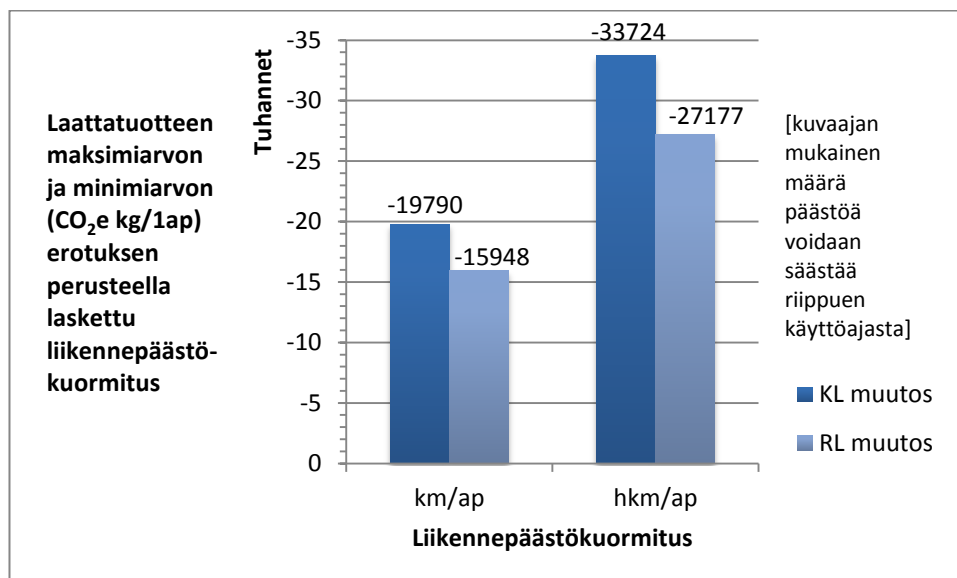
Taulukko 12.1. Suomen kasvihuonekaasupäästöjä 1990-2012. (28.)

Yhden autopaikan kuormittavuutta voidaan verrata liikenteen aiheuttamiin päästöihin. Esimerkkikohteiden vertailussa saatujen tulosten perusteella ripalaattojen aiheuttama ympäristökuormitus oli lähtötilanteessa maksimikeskiarvona 18989 kg/autopaikka ja minimissään lopputilanteessa 16326 kg/autopaikka. Päästöarvo CO₂e pienenee tällöin -2663 kg/autopaikka ja sama päästö saavutetaan, kun kuljetaan 15 948 km pituinen matka, tai henkilökilometreiksi muutettuna 27 177 hkm pituinen matka. Verrattuna lähtötilanteeseen voidaan runkojärjestelmällä, jossa välipohjana käytetään ripalaattaa säästää 43,7 km verran päästöjä/autopaikka päivässä (arvo on laskettu yhdelle vuodelle). Koko rakennuksen osalta säästö voi olla (autopaikkojen määrästä riippuen) 13110–17480 km verran päästöjä päivässä (ajanjaksolla 1 vuosi).

Jos rakennuksen käyttöikä on 50 vuotta, yhden vuoden aikana yhden autopaikan päästöjen pienennys lähtötilanteeseen verrattuna on 875 metriä vastaava kulutus, mikä ei vaikuta kovin suurelta, mutta kokonaisskaalassa (=kaikkien autopaikkojen päästöt) on kuitenkin (rakennuksesta riippuen) 262–350 km/a. Taulukossa 12.2. on yhteenvetona laskettu kuormittavuusastetta sekä kuori-, että ripalaattavaihtoehdon osalta. Ripalaatan ero kuorilaattaan nähden vastaa 76–186 km/a vuosittaista päästökertymän säästöä 50 vuoden ajalla. Taulukkoa 12.2. havainnollistetaan kuvassa 12.1.

	CO ₂ /ap	km/ap	hkm/ap	[50 a]		[365 d]		
				km/a/ap	km/d/ap	ap 300	ap 400	
KL (ka max)	20406	122193	208227	2444	6,70	2009	2678	
KL (ka min)	17101	102403	174503	2048	5,61	1683	2244	
muutos	-3305	-19790	-33724	-396	-1,08	-325	-434	
RL (ka max)	18989	113708	193767	2274	6,23	1869	2492	
RL (ka min)	16326	97759	166590	1955	5,36	1607	2143	
muutos	-2663	-15948	-27177	-319	-0,87	-262	-350	
RL ero KL	-775	-4643	-7912	-93	-0,25	-76	-102	<i>min</i>
	-1417	-8486	-14460	-170	-0,46	-139	-186	<i>max</i>

Taulukko 12.2. Autopaikan kuormittavuus liikennesuoritteeksi muutettuna.



Kuva 12.1 Henkilökilometrimäärän ja ajoneuvokilometrimäärän mukainen päästöjen pieneminen, kun yksikkönä on yksi autopaikka.

Kaiken liikenteen kokonaispäästöjen osuus vuonna 2012 oli 12,7Mt CO₂e/a. Yhdelle päivälle liikenteen osuus olisi viime vuonna ollut 34 794t CO₂e/d, mikä kuluu 208x10⁶ km/d ajossa. Verrattuna rakentamisen aiheuttamiin päästöihin liikenteen kuormittavuus on huomattavaa, peräti +34 % enemmän kasvihuonekaasuja (ks. taulukko 12.1).

Rakentamisessa pienikin parannus hiilijalanjälkeen on satsaus ekologiseen kestävyYTEEN. Pienempi kasvihuonekaasukuormitus on seurausta tehokkaasta materiaalien ja resurssien käytöstä. Liikenteen osalta tulisi pyrkiä ratkaisuihin, joissa liikkuminen saataisiin siirrettyä pois ajoväyliltä, mikä pienentää liikenteen päästökuormaa. Henkilöliikenteen tulee kuitenkin olla mahdollista mahdollisimman helpoilla ratkaisuilla. Liikkumista tulee kehittää kestäväään suuntaan pois pyörien päältä. Tiiviin ja keskittyvän rakentamisen ja tehostetun maankäytön osalta laajat ja avarat pysäköintialueet ovat tulevaisuudessa vaikeasti toteutettavissa. Korkeassa ja tiiviissä rakentamisessa tulisi suosia yhteisiä pysäköintitiloja (metropolialue) ja taajama-alueilla tiivis-keskittyvässä kaupunkirakenteessa tulisi etsiä mahdollisuuksia tehokkaan liitântäpysäköinnin haasteisiin. Näihin haasteisiin voidaan ajatella parkkitaloa joko maanpäälle tai maan alle rakennettua.

Tässä työssä ei oteta kantaa maanalaisten betonisten parkkirakenteiden ympäristökuormituksen kertymään. Parkkitalon päästökuorma mitattuna ajokilometreinä vastaa 2143–2678 km:n päästöistä kertyvää CO₂ kuormitusta (ks. taulukko 12.2). Yhdelle parkkitalon pysäköintipaikalle mitattuna tämä kuormitus vastaa 5,3–6,7 km ajomatkaa päivässä. Pääkaupunkiseudun kehyskunnista tapahtuva pendelöinti vaihtelee 5–50 km/suunta työ- ja asuinkunnasta riippuen. Pienikin mahdollisuus vaikuttaa liikenteen päästökuormaan on pois kokonaiskasvihuonekaasupäästökertymästä.

13 Yhteenveto ja pohdintaa

Kansainvälisten sopimusten mukaisesti Suomi on sitoutunut vähentämään aiheuttamiaan kasvihuonekaasupäästöjä 20 % vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi Suomen oma agenda on täyttää nämä tavoitteet vuoteen 2017 mennessä. Kansalliset tavoitteet rakennetun ympäristön osalta on kirjattu ERA 2017-ohjelmaan. Ohjelmassa esitetään toimintasuosituksia rakennetun ympäristön CO₂-päästöjen ja energiankulutuksen pienentämiseksi. Näitä suosituksia ovat esimerkiksi päästölaskelmat ja kokonaisenergiatarkastelujen liittäminen osaksi kaavoituksen vaikutusten arviointia ja yhdyskuntarakenteen eheyttämiseen tähtäävät toimenpiteet. Kaavoituksessa tulisi pyrkiä energiaa säästäviin, uusiutuvia energiamuotoja hyödyntäviin, aluekäyttöratkaisuihin, eli kestäväan aluerakenteeseen. Alueen muodon vaikutus kertyviin päästöihin on huomattava. Harvahajautuvan kaupunkirakenteen CO₂-ekv on +1,63-kertainen tiivis-keskittyvään kaupunkirakenteeseen verrattuna.

Yhä jatkuva kaupungistuminen pakottaa tehokkaampaan maankäyttöön ja samalla kestävämpään tapaan liikkua, kuljettaa ja rakentaa. Korkean ja tiiviin rakentamisen tulee vastata siitä aiheutuviin logistisiin ongelmiin. Henkilöliikenteen tulee ohjautua yhä enemmän julkisiin liikennevälineisiin, kuten linja-autoliikenteeseen ja raideliikenteeseen, henkilöautoilun sijaan. Vähentyvä autoilu vaikuttaa myös parantavasti kaupunkien ilmanlaatuun. Henkilöautoilua ei kuitenkaan voida kieltää eikä autoilun määrä aivan pian käänny laskuun, ei ainakaan seuraavaan kolmeenkymmeneen vuoteen. Muutos tapahtuu hitaasti. Muuttuvan kaupunkirakenteen ja siitä aiheutuvan tilanpuutteen takia tarvitaan uusia liikenteen muotoja ja liitännäispysäköintipaikkoja. Parkkitalojen rakentamista voidaan harkita alueilla, joissa aluetehokkuusluku e_a on suurempi kuin 0,5 (kerrostalot 7 krs).

Rakentamisen ja liikenteen osuus Suomen kokonaishiilidioksidipäästökertymästä (CO₂e) on 25 prosenttia ja materiaalityönteollisuuden osuus tästä on noin 6 prosenttia. Kiristyvät määräykset pakottavat materiaalivalmistajat, kuten Parma Oy, etsimään entistä ekologisempia ja vähemmän ympäristöä kuluttavia tapoja valmistaa ja suunnitella tuotteitaan. Vähemmästä tulee tuottaa enemmän ympä-

ristöä säästään. Näin pyritään myös vähentämään tuotteen haitallisia ympäristövaikutuksia sen elinkaaren aikana.

Betonirakentamisessa syntyy huomattavia kasvihuonekaasupäästöjä. Toisaalta betonin kierrätysmahdollisuudet ovat verrattain hyvät. Murskeena käytettävä betoni sitoo itseensä hiilidioksidia karbonatisoitumalla. Valmistusprosessin ympäristökuormaa tulisi kuitenkin pienentää. Betonirakentamisessa tämä tapahtuu tehokkaimmin materiaaliominaisuuksia optimoimalla.

Tässä opinnäytetyössä pyrittiin etsimään ratkaisuja betonielementtirakentamisen hiilijalanjäljen pienentämiseen ja tapausesimerkkinä käytettiin parkkitaloa. Parkkitalo valikoitui esimerkkivaihtoehdoksi juuri sen takia, että siinä voidaan pelkistetysti osoittaa pelkän rungon vaikutukset rakennuksen ympäristökuormitukseen. Parkkitaloja ei lämmitetä, ja niiden huoltokustannukset ovat pienet, joten niiden elinkaarivaikutukset aiheutuvat pitkälti rakentamisesta ja materiaalin tuotannosta.

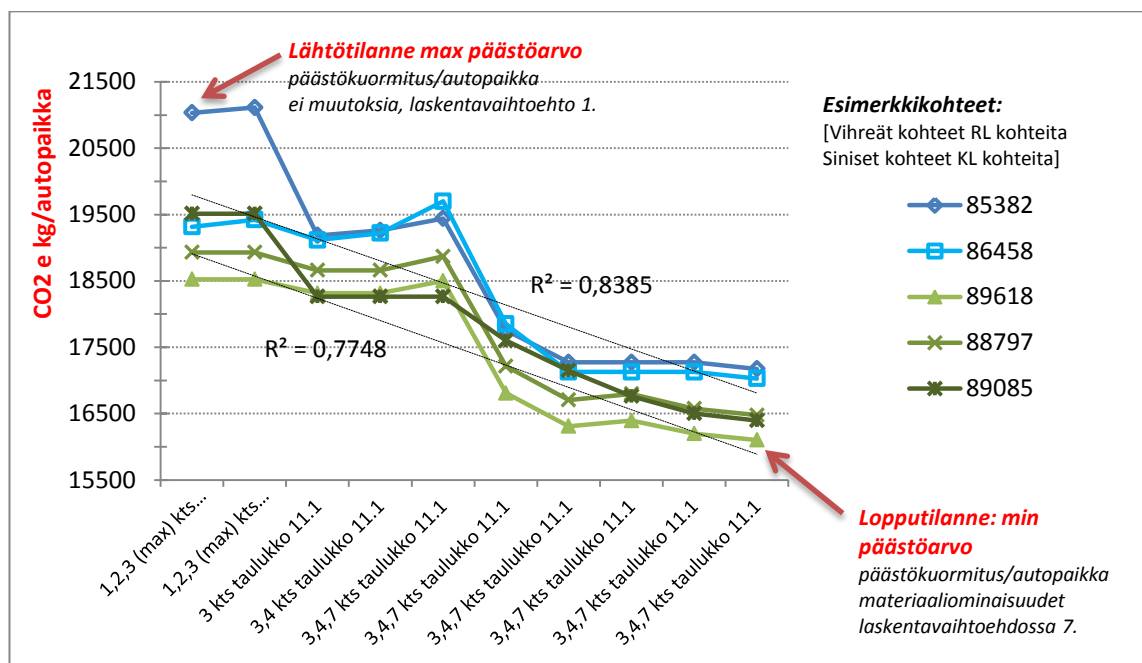
Parkkitalojen runkovaihtoehtojen suurin rajoittaja on autopaikan minimikoko, jonka tulee olla (vähintään) $2,5 \times 5 \text{ m}^2$. Lisäksi kerroksen vapaan korkeuden tulee vähintään olla 2,5 metriä. Nykyisten rakenteiden optimointi on viety pitkälle, eikä runkoratkaisujen muuttaminen tuota vastaavaa hyötyä ympäristökuormituksen pienentämiseen. Parempaan hiilijalanjälkeen päästään optimoimalla betonituotteiden ominaisuuksia.

Etsimällä mahdollisimman vähän kuormittavaa tapaa valmistaa runkotuotteita voidaan rakennusrungon (pilarit, palkit ja laatat) hiilidioksidiekvivalenttia (CO_2e kg/autopaikka) vähentää jopa 13,1-18,7 prosenttia. Päästöihin saatu laskennallinen pudotus on merkittävä. Pelkästään sementtityyppiä vaihtamalla ja tehostamalla tehdään runkoainehankintaa mahdollisimman lähelle tuotantolaitosta saadaan aikaan noin -8,5 prosentin pudotus CO_2e -kertymään.

Parkkitalojen välipohjien laattarakenteena käytetään kuorilaattaa (KL) ja ripalaattaa (RL). Ripalaatan materiaallinen etu kuorilaattaan nähden on sen koko. Elementin leveys on maksimissaan 3600 mm, joka mahdollistaa suuren alan asentamisen nopeasti. Lisäksi ripalaatta on jäykempi rakenne palkki-laattayhdistelmä rakenteensa ansiosta. Laatta ei tarvitse erillistä tuentaa asennus ja

valuvaiheissa. Lisäksi sen kyky hillitä dynaamisten kuormien vaikutuksia (värähtely ja sen vaikutus rakenteen väsymiseen) on parempi kuin kuorilaatalla. Ripalaatan ja kuorilaatan ominaispainot ovat suurin piirtein samat. Vaikka ripalaattaa joudutaan raudoittamaan enemmän kuin kuorilaattaa, sen ympäristökuormitus jää joka tapauksessa pienemmäksi kuin kuorilaatan.

Ripalaatan ja kuorilaatan hiilidioksidia koskeva laskennallinen ympäristökuormitusero CO₂e kg/autopaikka on esitetty kuvassa 13.1. Esimerkkikohteiden laskentatulosten perusteella on koottu kasvukäyrät kullekin kohteelle kokoomataulukon 11.1 perusteella. Lähtötilanteen ero lopputilanteeseen laattatyypistä riippumatta on noin -3000 kg/autopaikka CO₂e.



Kuva 13.1. Laattavaihtoehtojen välinen ero ja 89085, 86458 korrelaatio.

Laskennallisesti ripalaatan hyöty kuorilaattaan nähden ympäristökuormituksen (CO₂) osalta on tarkastelutilanteesta riippuen minimissään -775 kg/autopaikka ja maksimissaan -1417 kg/autopaikka. Ero havainnollistuu tarkastelemalla esimerkkikohteiden 89618 ja 89458 välistä korrelaatiota, jossa ero on noin -1000 kg CO₂-e/autopaikka.

Laskennallisesti molemmat laattatyypit ovat kehityskelpoisia. Käytettäessä laatuksena pienempää ympäristökuormaa on ripalaatta kuorilaatta parempi

vaihtoehto. Hiilidioksidipäästökertymään vaikuttavat samat säännöt kuin rakentamistaloudessakin; mitä enemmän tilaat, sitä enemmän maksat ja mitä enemmän käytät materiaalia, sitä enemmän saastutat. Kohottamalla käytettävien materiaalien kierrätettävyydestä ja optimoimalla punos- ja teräsmäärää betonielementin ekologinen jalanjälki pienenee.

Verrattaessa betonielementtirakenteiden päästöarvoja liikenteen päästöarvoihin yhden autopaikan kuormittavuus vastaa noin 6 km päivittäistä ajomatkaa. Pääkaupunkiseudun kehyskuntien väliset ajomatkat vastaavat noin 5–50 km matkaa. Liikenteen kokonaispäästöihin 34 794t CO₂e/d verrattuna saadut tulokset ovat mitättömän pieniä, mutta pienikin pudotus kokonaiskasvihuonekaasumäärään on vain positiivinen suuntaus.

Tilanteessa jossa haetaan ekologisesti tehokkaampaa tapaa rakentaa parkkitalo, voidaan käyttää ripalaattaa välipohjarakenteena yhdessä paikallavalun kanssa. Materiaalin valmistaja voi panostaa omien tuotteidensa kehittämiseen niin, että laskennalliset hyödyt voidaan siirtää tuotantoon. Tässä saavutetut tulokset rajoittuvat ainoastaan runkotuotteisiin (palkit, pilarit, laatat). Muiden sekundääristen rakenneosien aiheuttamaa lisäystä päästölukuun CO₂e kg/autopaikka ei ole huomioitu. Näin ollen valmiissa rakennuksessa CO₂ kg/m² on jonkin verran suurempi kuin mitä tässä on laskettu.

Jatkotoimenpide ehdotuksia ja ideoita

- ❖ materiaalityön tehostaminen, massojen ominaisuuksien muuttamisen mahdollisuuksien tarkastelu (kokeet jos tarpeen, laskenta)
- ❖ materiaalihankinnan arviointi ympäristönäkökulmasta, eli päästövaikutusten pienentämisen arviointi tehdaskohtaisesti ja yksikkökohtaisesti (laskenta ja tilastointi, tulosten arviointi ja jatkokehitys)
- ❖ uusien materiaalien testaaminen ja niiden käytön vaikutusten arviointi päästöarvoihin betonituoteteollisuudessa (kokeet, laskenta)
- ❖ suunnittelijoiden ja tilaajien ohjaaminen vähemmän ympäristöä kuluttavien rakennustuotteiden pariin
- ❖ suunnittelijoiden ja tilaajien informoiminen betonituotteiden ympäristövaikutuksista

Kuvat

- Kuva 2.1. Suomen kokonaisenergiankäyttöjakauma, s. 11
- Kuva. 2.2. Suomen kasvihuonekaasujen osuus päästöistä sektoreittain vuonna 2012. (18.), s. 15
- Kuva 2.3. Suomen loppuenergiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt ERA 2017 tietojen perusteella, s. 17
- Kuva 2.4. Energiankulutuksen päästö ja loppuenergiankäytön yhteys. (9.), s.18
- Kuva 2.5. Liikennesuoritemäärät ja kasvihuonepäästöosuudet vuonna 2007 ERA 2017 tietojen perusteella, s. 19
- Kuva 2.6. Matkasuoritteet matkan tarkoituksen mukaan. (9.), s. 20
- Kuva 3.1. Villa Contemporaire. Keskellä ovat toimistotornit, joita ympäröivät asuintornit. Teiden risteyskohdassa on lentokenttä ja metrojen/ junien maan-alainen liittymäkohta. (1.), s. 24
- Kuva 3.2. Kaupunkirakenteiden riippuvuussuhteet toisiinsa nähden, vasemmalla on ”lehtimalli” ja oikealla ”sipulimalli”. (11.), s. 26
- Kuva 3.3. Suunnittelun kulku ja vaikutussuhteet- analysointikaavio.(11.), s. 28
- Kuva 3.4. Ebenezer Howard:n puutarhakaupungin kuusilohkoinen lehtimallia muistuttava kaupunkialueen asemakaava.(7.) s. 31
- Kuva 3.5. Yhden lohkon aluemalli. Reunalla huoltoalue P. Asemakaava muodostuu kuudesta lohkoista ja kokoavasta keskustasta. (10.), s. 32
- Kuva 3.6. Lohkomallin avainluvut yhteenvetona. (10.), s. 33
- Kuva 4.1. Asemakaavoituksen tehtävät. (19.), s. 37
- Kuva 4.2. VAT tavoitteet sisällyttävä ohjaava kaavaprosessi.(20.), s. 39
- Kuva 5.1. Kasvihuonepäästöjen määräytyminen yhdyskuntarakenteen mukaan. (21.), s. 40
- Kuva 5.2. Yhdyskuntarakenteen päästöt vuonna 2050, lukemat perustuvat eri osa-alueiden kasvumallinteisiin.(21.), s. 42
- Kuva 7.1. Hiilidioksidipäästön kertyminen tuotantovaiheessa à valmistettu elementti (laskentayksikkönä on käytetty CO₂ kg/m²), s. 48
- Kuva 8.1. Kohteen 89618 leikkauspiirustus (ei mittakaavassa), s. 52
- Kuva 8.2. Kohteen 89618 lohkon n:o 1 ripalaattatasopiirustus, 2kkatto (ei mittakaavassa), s. 52
- Kuva 8.3. Kohteen 85382 leikkauspiirustus (ei mittakaavassa), s. 53
- Kuva 8.4. Kohteen 85382 kuorilaattatasopiirustus, 2kkatto (ei mittakaavassa), s. 53
- Kuva 8.5. Kohteen 88797 poikkileikkaus (ei mittakaavassa), s. 54
- Kuva 8.6. Kohteen 88797 ripalaattatasopiirustus, lohko n:o 1, 2kkatto (ei mittakaavassa), s. 55
- Kuva 8.7. Kohteen 89095 ripalaattatasopiirustus, 3kkatto (ei mittakaavassa), s. 56
- Kuva 8.8. Kohteen 86458 kuorilaattatasopiirustus, 3kkatto (ei mittakaavassa), s. 56
- Kuva 9.1. Betonin käyttövaste/ käytetyn massan lujuusluokka (m³), s. 57
- Kuva 9.2. Teräksen käyttövaste/ runkoelementti (m³), s. 58
- Kuva 9.3. JK-palkkien suhteelliset menekit kohteissa 89618, 88797 ja 89085, s.59
- Kuva 9.4. Punoksen käyttövaste/ runkoelementti (m³), s. 60
- Kuva 9.5. Runkotuotteiden massojen lujuusluokat kohteissa 89085 ja 86458, s. 61

Kuva 9.6. Kuorilaattojen ja ripalaattojen betonin lujuusluokat (kohteet 88797 ja 86458). s. 61

Kuva 10.1. Erään parkkihallin runkorakenteita. (Parma Oy), s. 62

Kuva 10.2. Pysäköintitalon yleisin runkojärjestelmä (pilari-palkki-laattarunko). (24.), s. 63

Kuva 10.3. Ramppiratkaisuja parkkitaloissa, vasemmalla on puolikerrosramppi kahdella taitteella ja oikealla puolikerrosramppi taitteella (kaksisuuntainen liikenne), s. 64

Kuva 10.4. Ripalaatan poikkileikkaus, s. 65

Kuva 11.1. Rungon CO₂e-päästöarvo esimerkkikohteilla Yritteessä 1., s. 68

Kuva 11.2. Laataston CO₂e-päästöarvo esimerkkikohteilla Yritteessä 1., s. 69

Kuva 11.3. CO₂e kg/autopaikka esimerkkikohteilla Yritteessä 1., s. 70

Kuva 11.4. CO₂e kg/autopaikka esimerkkikohteilla Yritteessä 1., s. 70.

Kuva 11.5. CO₂e kg/autopaikka esimerkkikohteilla Yritteessä 1., s. 71

Kuva 11.6. Kuorilaattojen ansaiden vaikutus päästöarvoon CO₂e gk/m², kun verrataan arvoja Yritteessä 1 ja 2., s. 72

Kuva 11.7. Esimerkkikohteiden CO₂-e kuvaajat (kg/autopaikka) yhteenvetotaulukon 11.2. perusteella laadittuna., s. 75

Kuva 12.1 Henkilökilometrimäärän ja ajoneuvokilometrimäärän mukainen päästöjen pieneneminen, kun yksikkönä on yksi autopaikka., s.78

Kuva 13.1. Laattavaihtoehtojen välinen ero ja 89085, 86458 korrelaatio, s. 82

Taulukot

Taulukko 2.1. Vuoden 2009 tuotannon perusteella ilmoitettu uusiutumattomien energialähteiden riittävyys öljytonneina, s.10

Taulukko 3.1. Carfree city- suunnitteluperiaatteet, s. 30

Taulukko 4.1. Eri kaavavaiheissa tapahtuva ohjaus. Tumman vihreä= vaikutus mahdollisuudet ovat suuret, vaalea vihreä= suunnittelussa voidaan jossain määrin vaikuttaa päästöarvoihin.(20.), s. 40

Taulukko 5.1. Kaupunkirakenteen muodon vaikutus päästökertymään.(21.), s. 41

Taulukko 9.1. Esimerkkikohteiden raudoitus menekkien erotus (%) yhteenvetona, s. 58

Taulukko 11.1. Vertailulaskelmien sisältö, s. 67

Taulukko 11.2. Esimerkkikohteiden yhteenvetotaulukko, s.74

Taulukko 12.1. Suomen kasvihuonekaasupäästöjä 1990-2012. (27), s.77

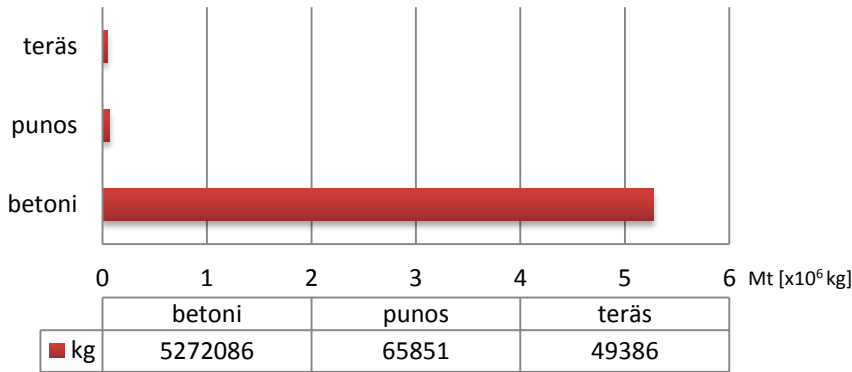
Taulukko 12.2. Autopaikan kuormittavuus liikennesuoritteeksi muutettuna, s.78

Lähteet

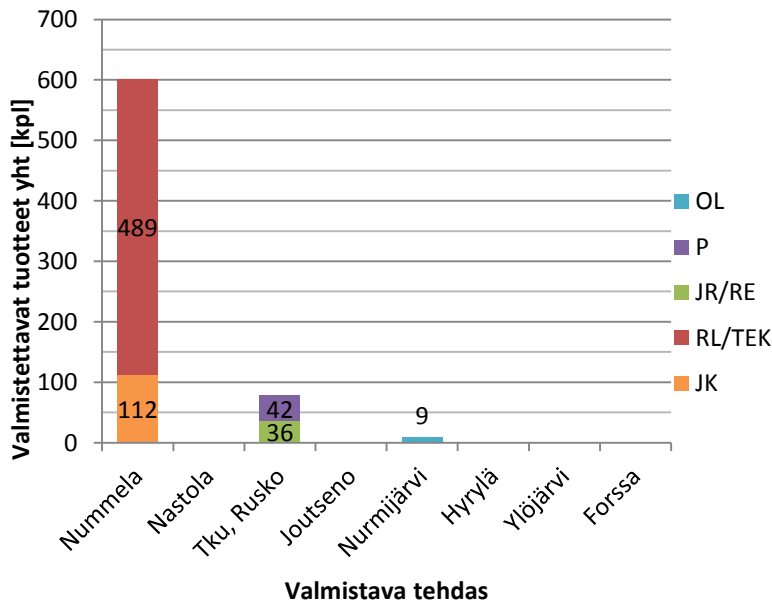
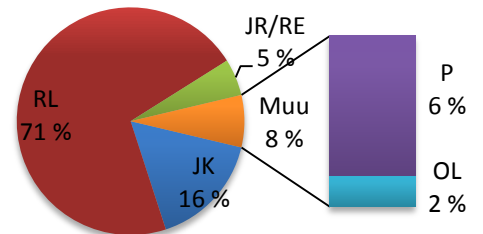
1. World Population Prospects: The 2012 Revision, United Nations
<http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm>
2. Global Footprint Network
http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/earth_overshoot_day/
3. Greening the blue. Mandate. United Nations
<http://www.greeningtheblue.org/our-approach/introduction/the-mandate>
4. Summaries of Eu Legislations. Tackling climate change, Reducing Greenhouse gases by 2020
http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/index_en.htm
5. Markku Lappalainen. Energia ja ekologiakäsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen. Rakennustieto Oy, 2010
6. Summaries of Eu Legislations. Tackling climate change, Kyoto protocol on climate change.
http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/l2_8060_en.htm
7. ERA 2017, Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017, Ympäristöministeriö, Sitra, Tekes, Edita prima Oy, Helsinki 2010
<http://era17.fi/aineistot/raportit/>
8. Päästökauppalaki 8.4.2011/311, Finlex Ajantasainen lainsäädäntö.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110311>
9. Suomen kasvihuonepäästöt 2012. Tilastokeskus.
<http://tilastokeskus.fi/til/khki/2012/>
10. RT YM-20582, Autopaikkojen järjestäminen asuntoalueilla, Rakennustietosäätiö 1984
11. Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt, Sitran selvityksiä 39, livo Vehviläinen, Aki Pesola, Juhani Heljo et al, Helsinki 2010,
<http://era17.fi/aineistot/raportit/>
12. Eaton, Ruth. Ideal Cities. Cities for the Machine Age, s. 155-213. Thames & Hudson, 2002.
13. Urban Planning Theory since 1945, Nigel Taylor, SAGE Publications Ltd., 1998
14. Carfree Designing Manual, J.H. Crawford, International Books
<http://carfree.com>

15. The Urban Fix: creating truly sustainable cities, Filed under Analysis, <http://www.city-analysis.net/2011/03/30/the-urban-fix-creating-truly-sustainable-cities>
16. Maankäyttö ja rakennuslaki 5.2.1999/132, Finlex Ajantasainen lainsäädäntö. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>
17. Ilmastotavoitteita toteuttava asemakaavoitus, Kimmo Lylykangas, Pekka Lahti, Tuukka Vainio, Aalto-yliopiston julkaisusarja TIEDE + TEKNOLOGIA 13/2013
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-5340-0>
18. U.S. Green Building Council, LEED certification
<http://www.usgbc.org/leed/certification>
19. BREEAM, The World`s leading design and assessment method for sustainable buildings
<http://www.breeam.org/>
20. Environmental issues in prefabrication, Fédération internationale du béton (FIB), 2003
21. Betonirakenteiden ympäristövaikutukset, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 1998
22. A Green Vitruvius, Principle and Practise of sustainable architectural Design, s. 116-117, Earthscan Ltd, 2011
23. RT 98-10986, Pysäköintialueet, Rakennustietosäätiö RTS 2010
24. RT 98-10987, Pysäköintilaitokset, Rakennustietosäätiö RTS 2010
25. RT 82-10821, Betonielementtirunkorakenteet, Rakennustietosäätiö RTS 2004
26. Parkin Structures: Recommended practise for design and construction, Prestressed Concrete Institute, 1988
27. Lipasto, Liikenteen päästöt, VTT
http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/tieliikenne/henkilo_tie.htm
28. Vuoden 2012 kasvihuonekaasupäästöt ennätysalhaalla, Tilastokeskus
http://www.stat.fi/til/khki/2012/khki_2012_2013-12-12_tie_001_fi.html

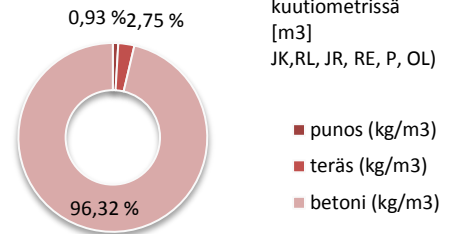
Kohteen materiaalimenekki (kaikki betonielementit)



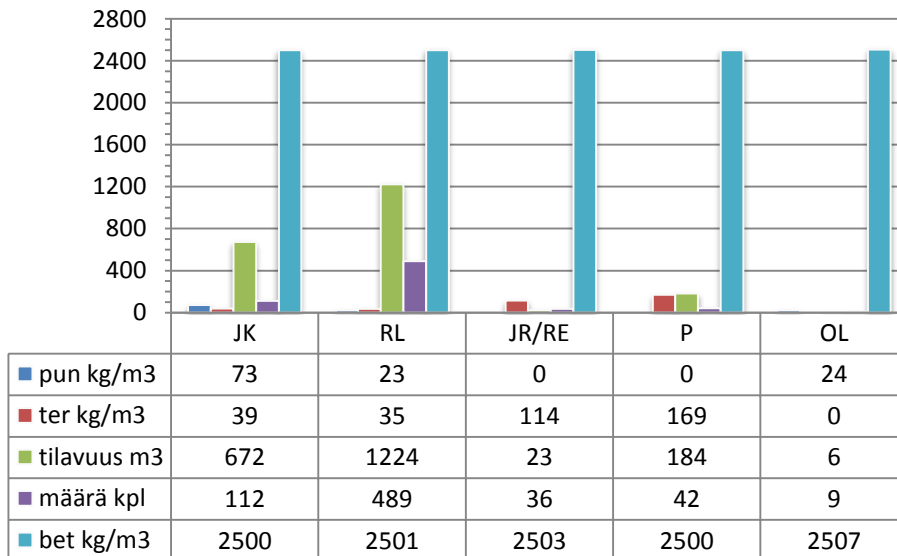
Kohteen elementtien jakauma

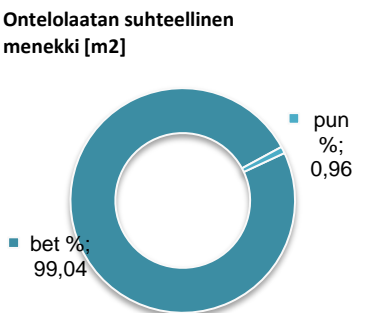
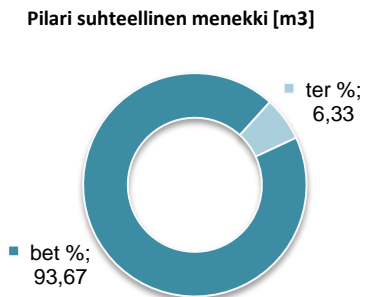
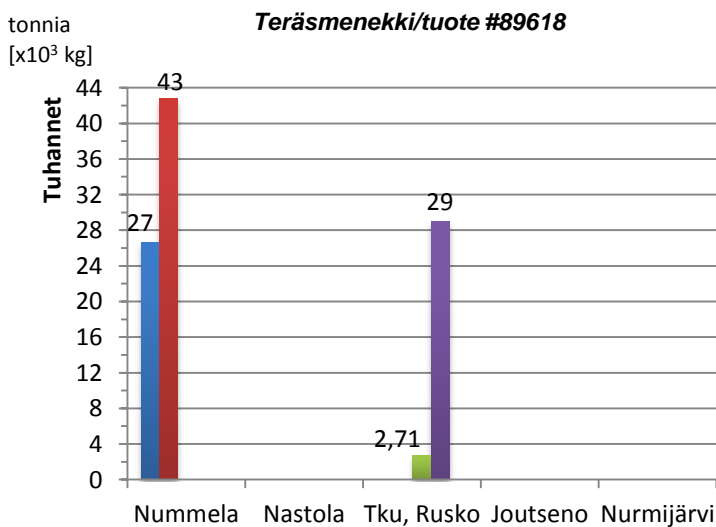
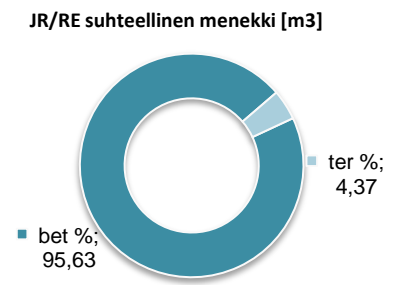
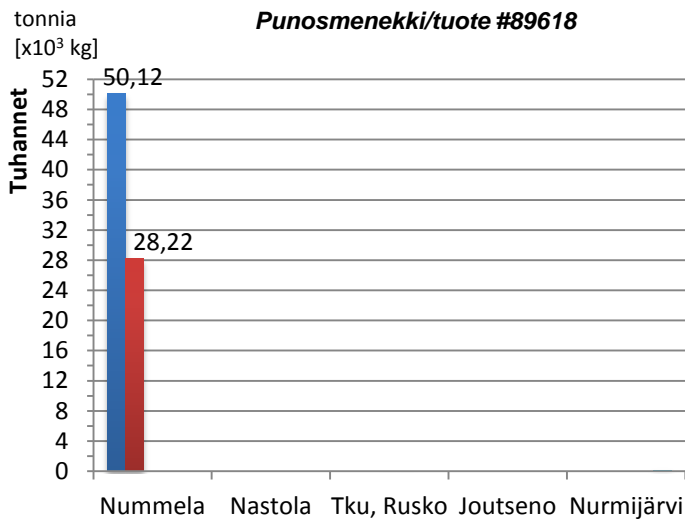
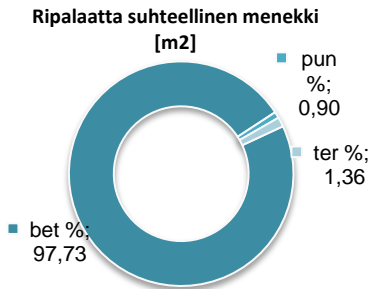
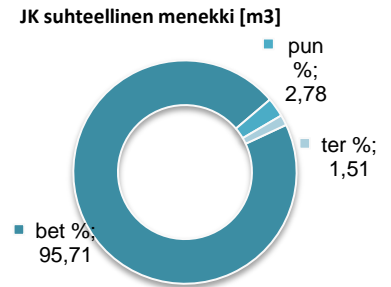
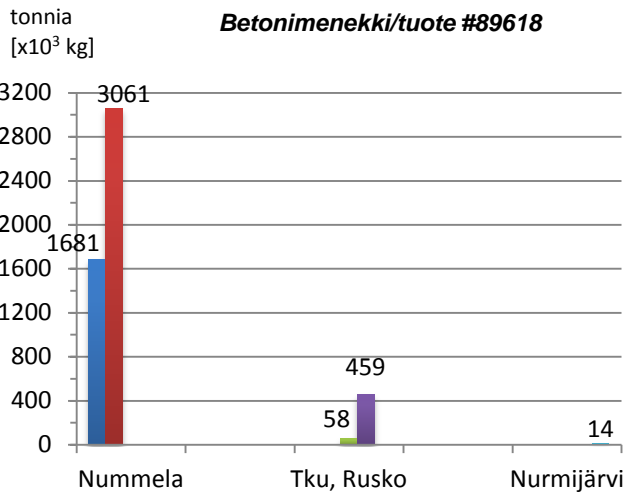


Kohteen suhteellinen kokonaismenekki #89618

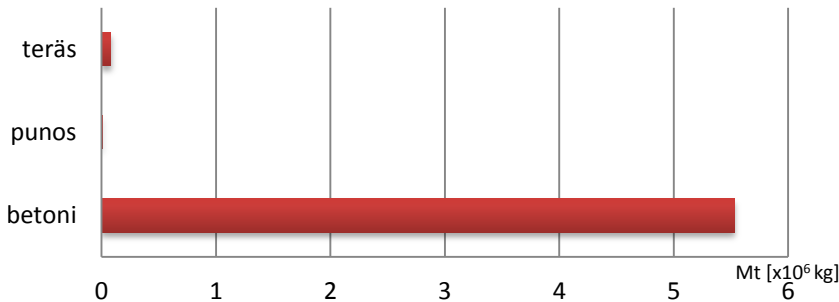


Tuotteiden osuus suhteellisesta kokonaismenekistä

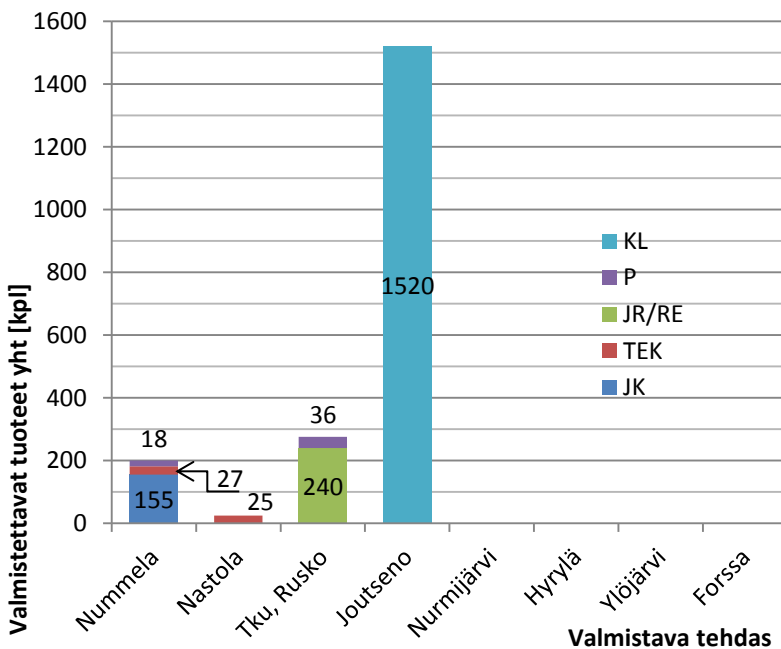




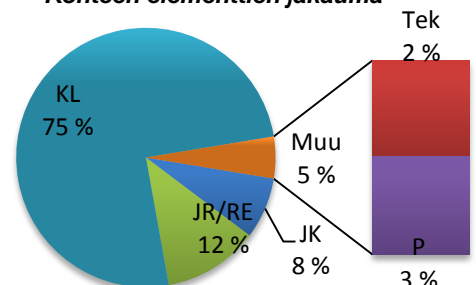
Kohteen materiaalimenekki (kaikki betonielementit)



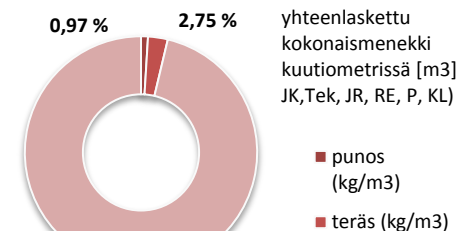
kg	betoni	punos	teräs
	5531055	10675	81318



Kohteen elementtien jakauma



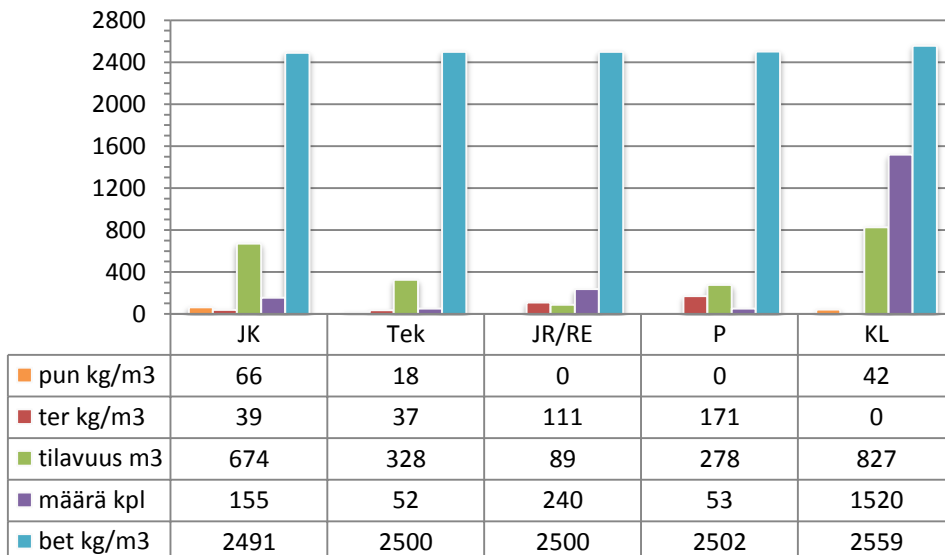
Kohteen suhteellinen kokonaismenekki #85382

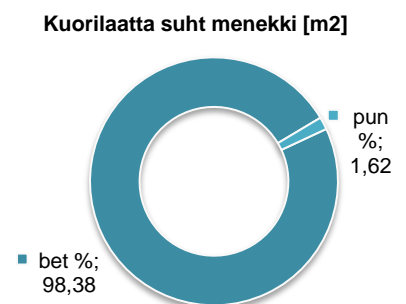
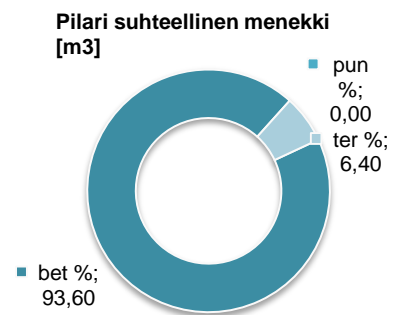
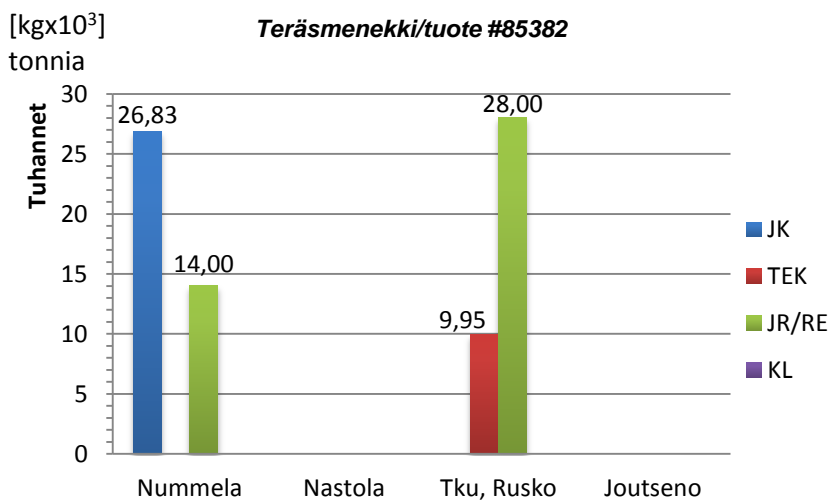
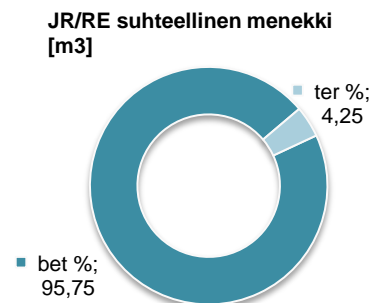
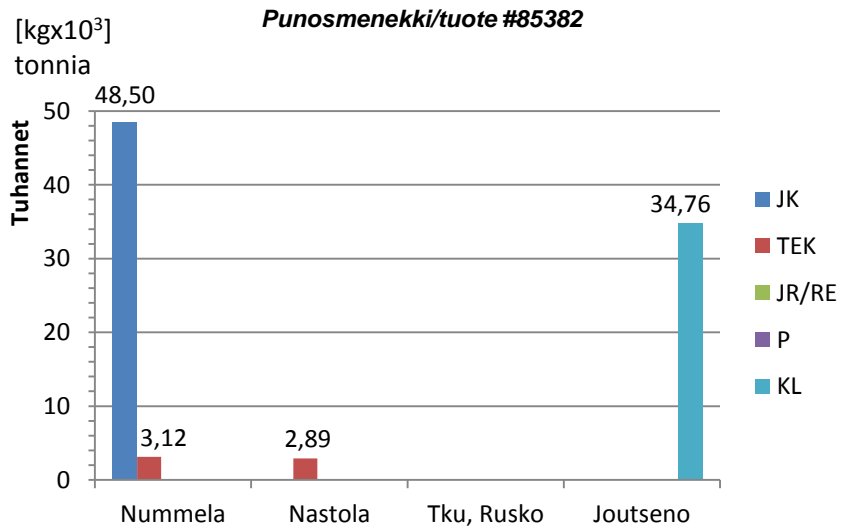
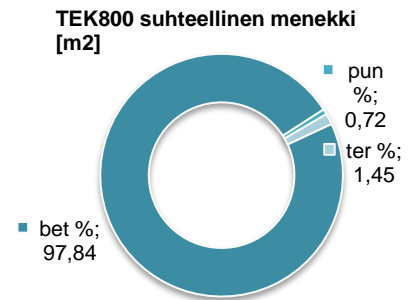
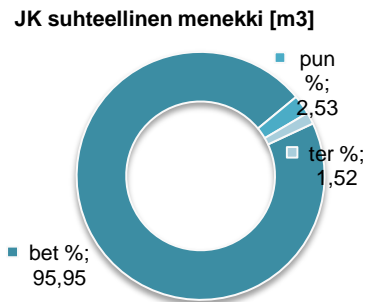
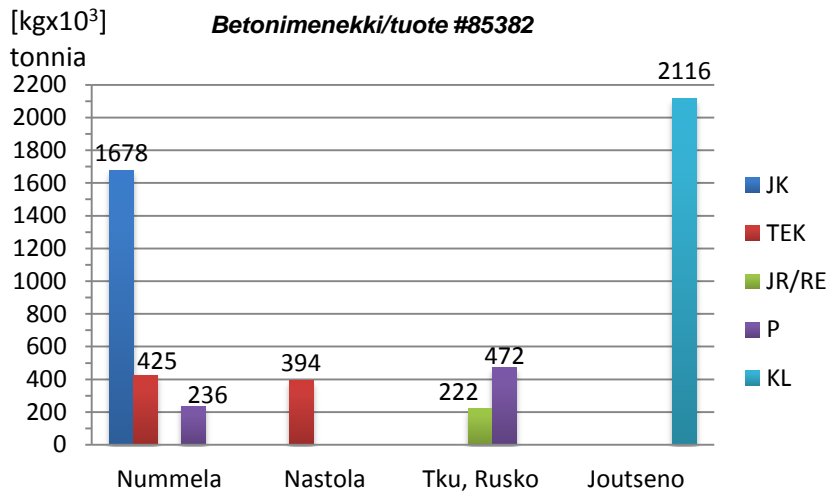


(Kaikkien betonielementtien yhteenlaskettu kokonaismenekki kuutiometrissä [m³] JK, Tek, JR, RE, P, KL)

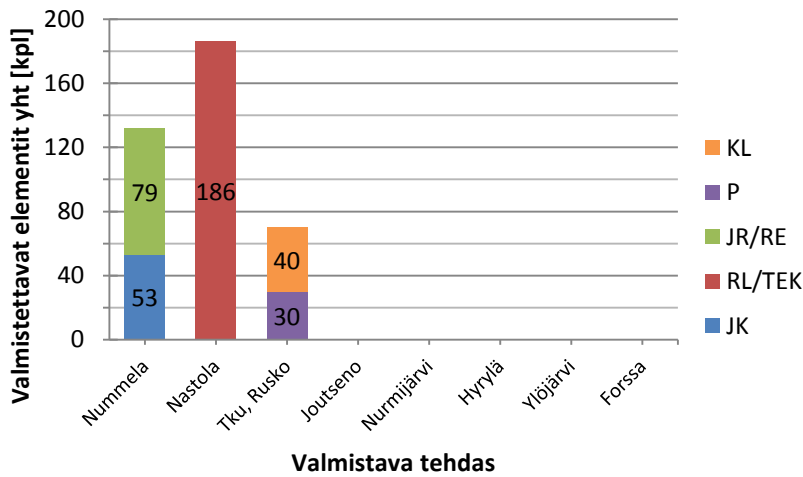
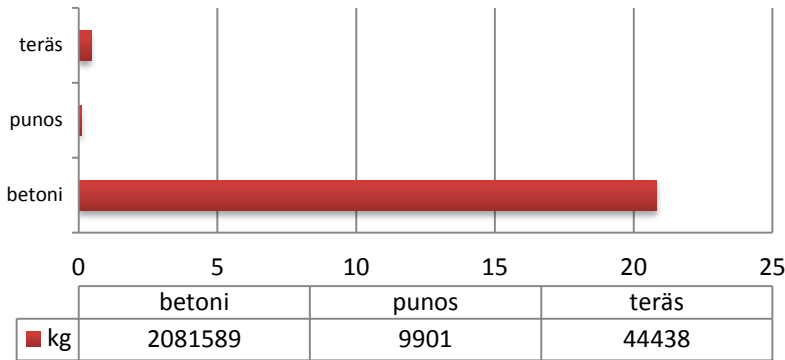
■ punos (kg/m³)
■ teräs (kg/m³)

Tuotteiden osuus suhteellisesta kokonaismenekistä

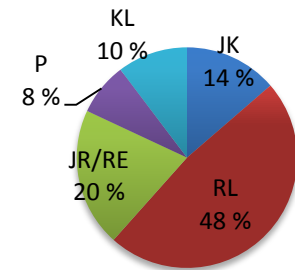




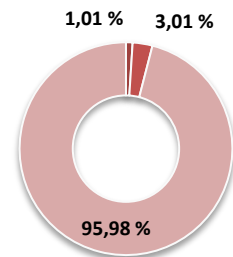
Kohteen materiaalimenekki (kaikki betonielementit)



Kohteen #88797 elementtien jakautuminen

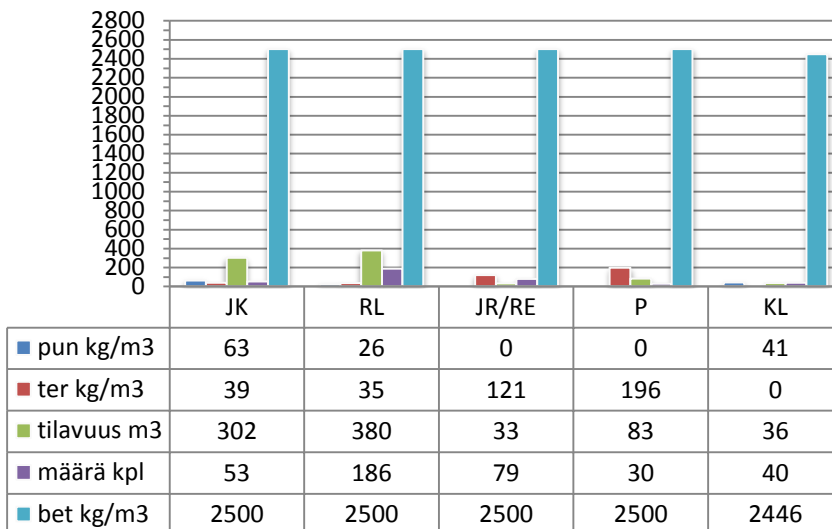


Kohteen suhteellinen materiaalimenekki #88797

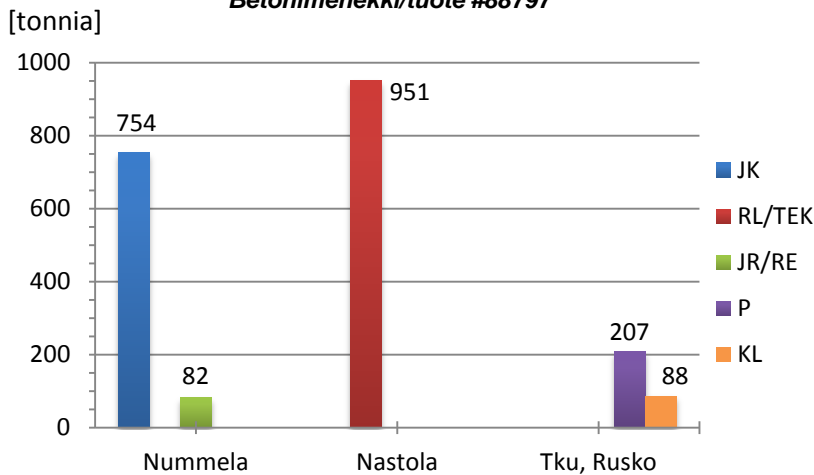


(Kaikkien betonielementtien yhteenlaskettu kokonaismenekki kuutiometrissä [m3] JK,RL, JR, RE, P, KL)

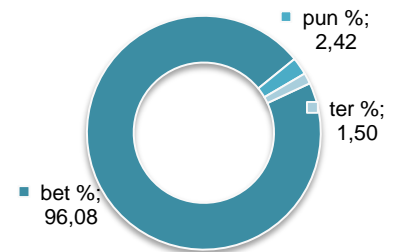
Tuotteiden osuus suhteellisesta materiaalimenekistä



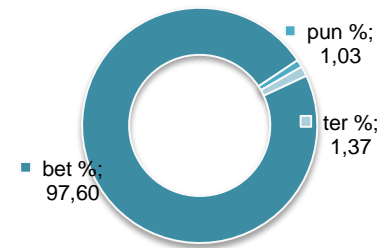
Betonimenekki/tuote #88797



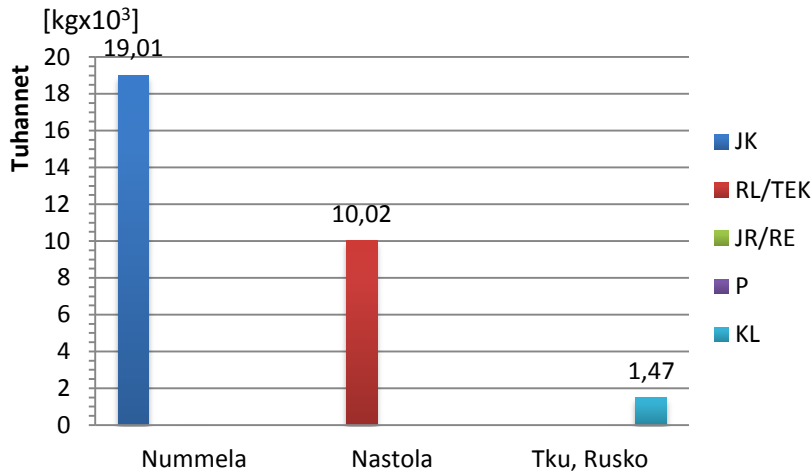
JK suhteellinen menekki [m3]



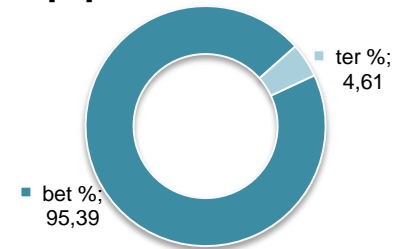
RL suhteellinen menekki [m2]



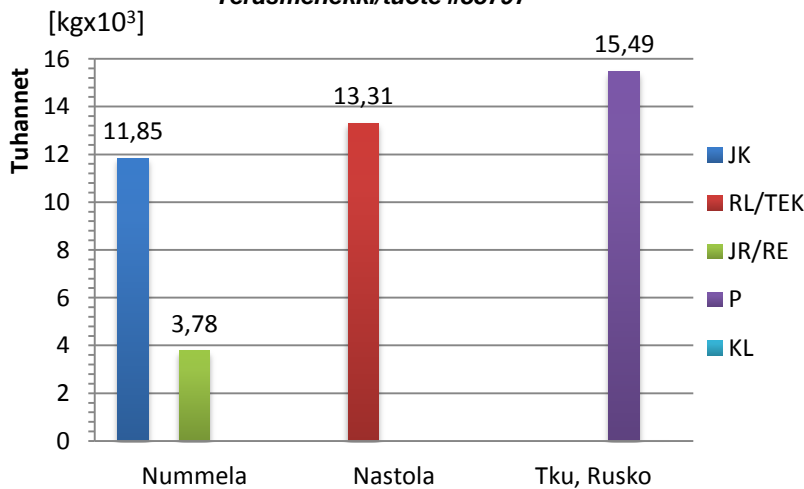
Punomenekki/tuote #88797



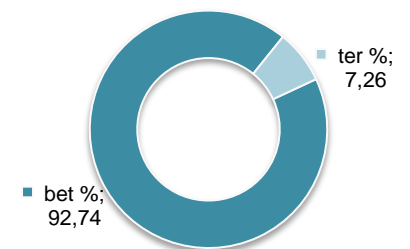
JR/RE suhteellinen menekki [m3]



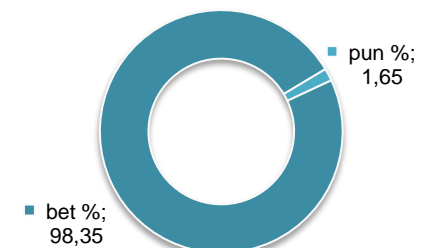
Teräsmenekki/tuote #88797



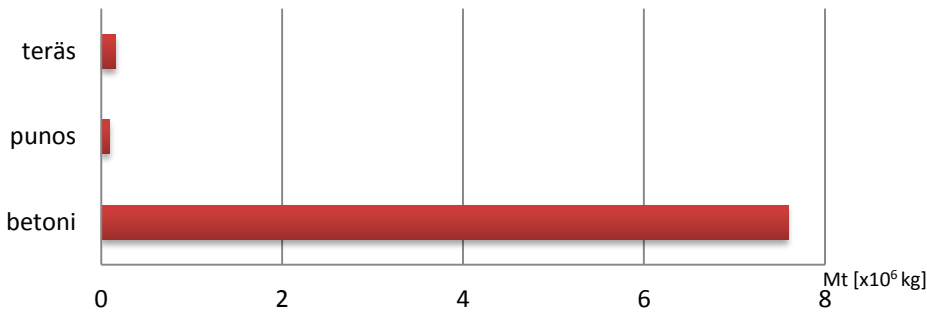
Pilari suhteellinen menekki [m3]



Kuorilaatta suht. menekki [m2]

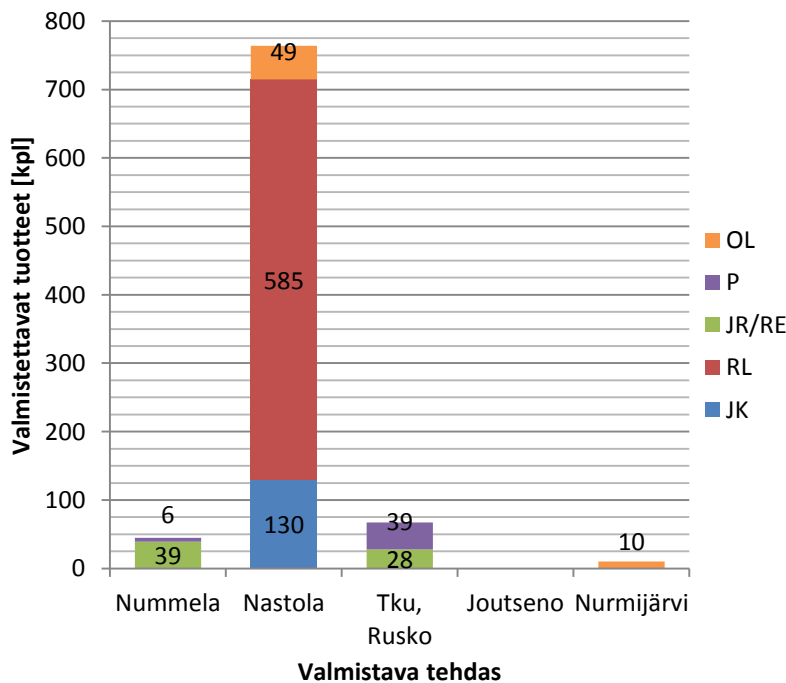
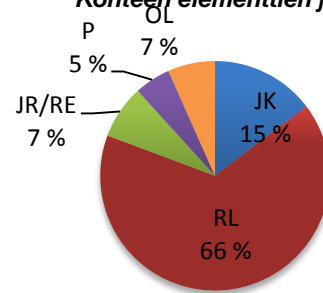


Kohteen materiaalimenekki (kaikki betonielementit)

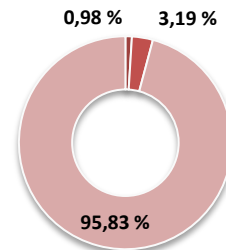


	betoni	punos	teräs
■ kg	7592475	93171	156745

Kohteen elementtien jakautuminen



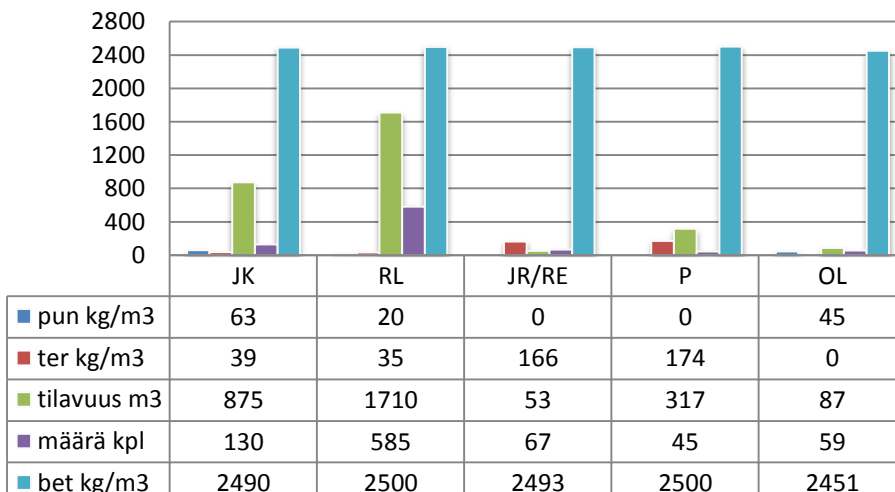
Kohteen suhteellinen kokonaismenekki #89085

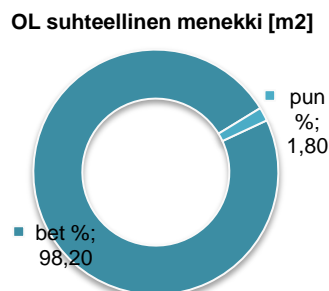
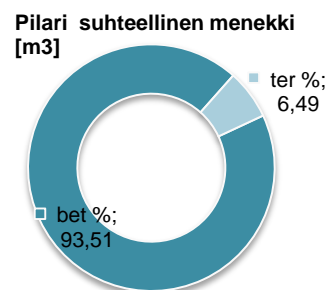
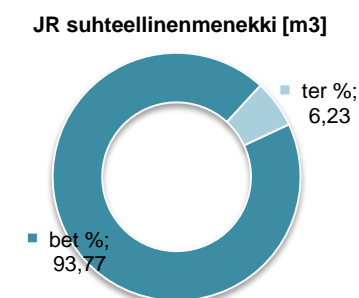
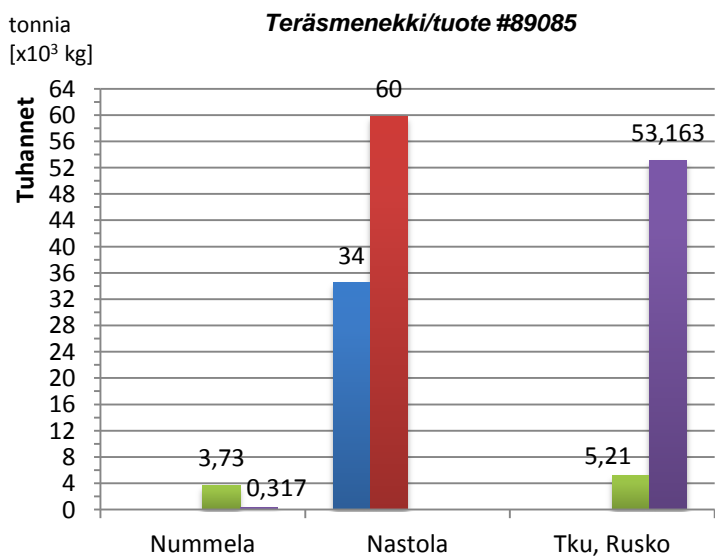
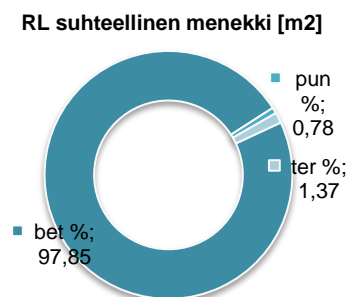
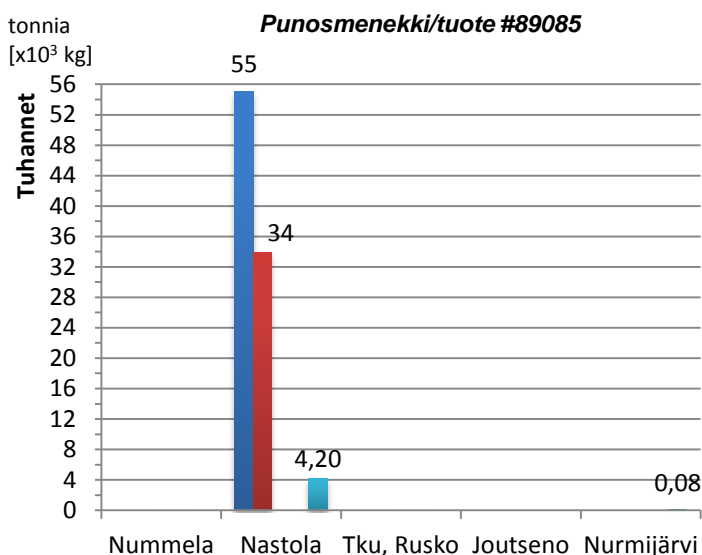
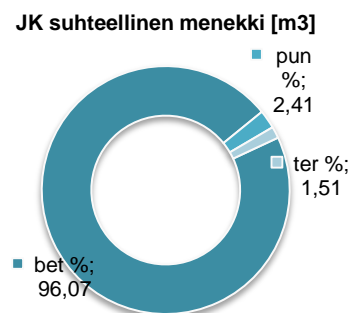
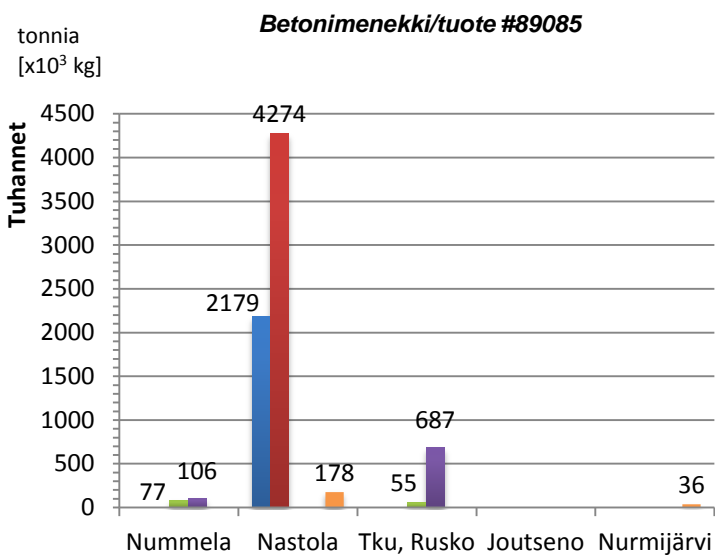


(Kaikkien betonielementtien yhteenlaskettu kokonaismenekki kuutiometrissä [m3] JK,RL, JR, RE, P, OL)

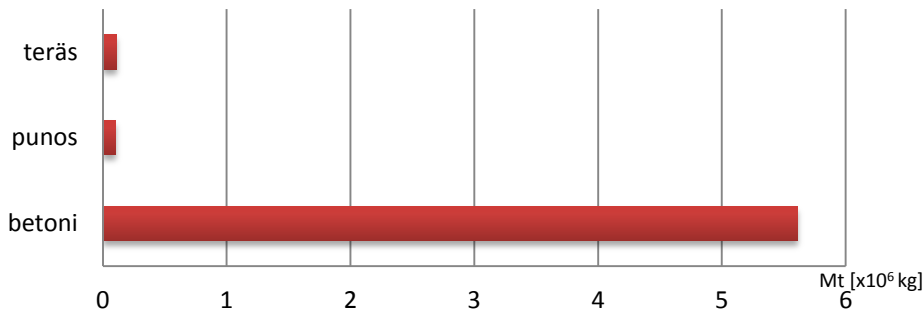
- punos (kg/m3)
- teräs (kg/m3)
- betoni (kg/m3)

Tuotteiden osuus suhteellisesta kokonaismenekistä

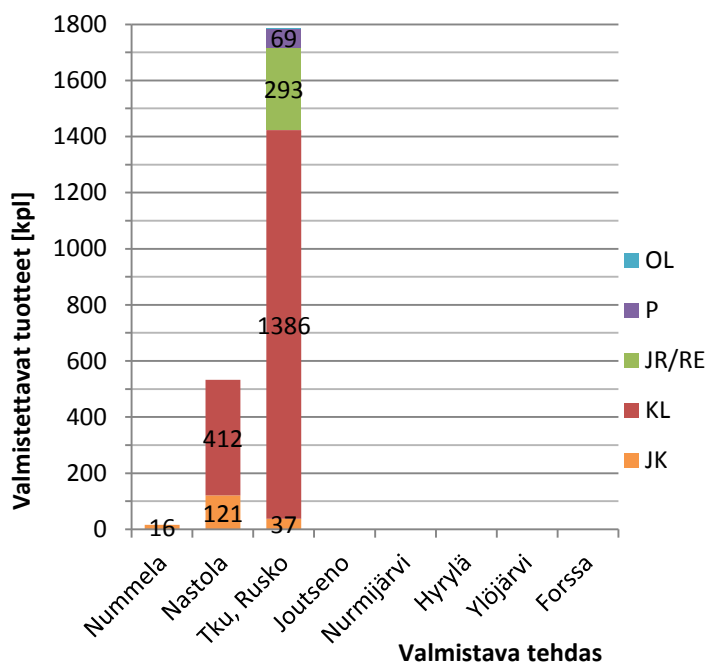




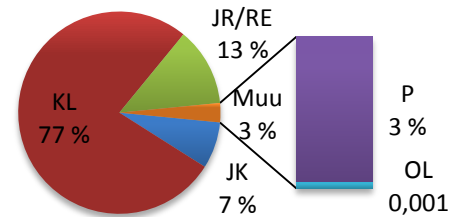
Kohteen materiaalimenekki (kaikki betonielementit)



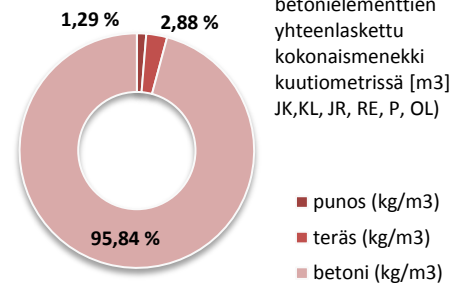
	betoni	punos	teräs
kg	5611985	100523	109196



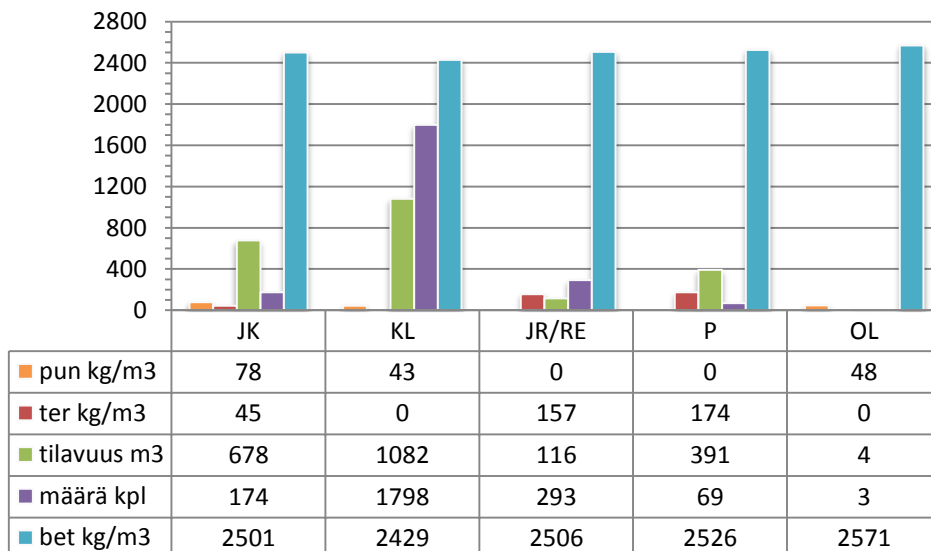
Kohteen 86458 elementtien jakautuminen

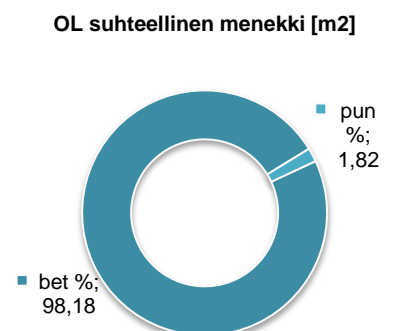
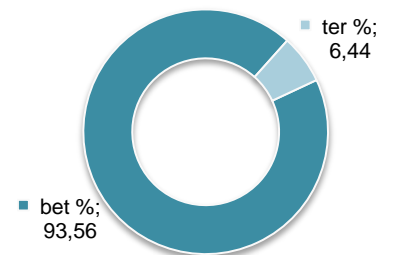
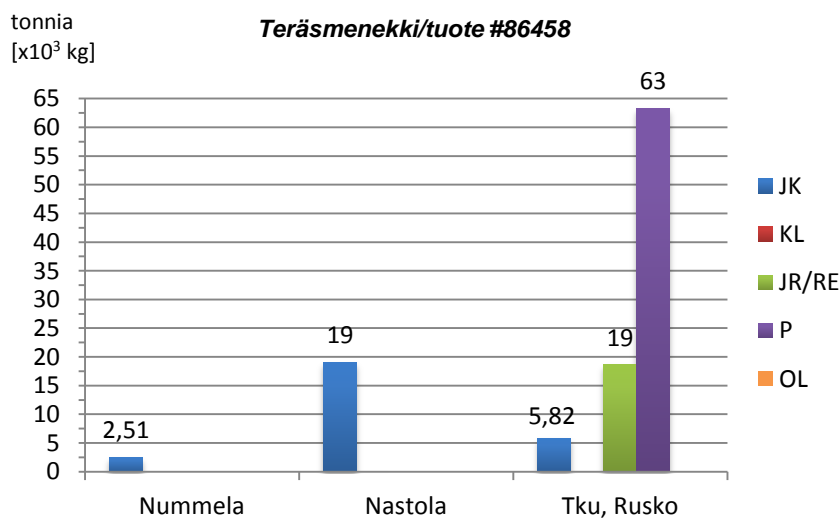
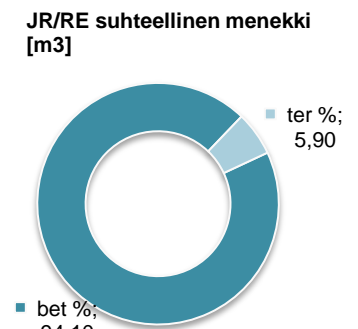
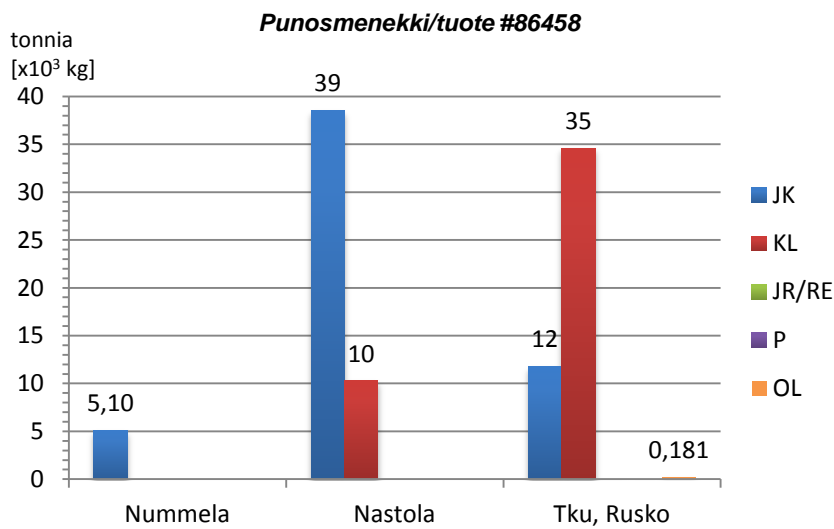
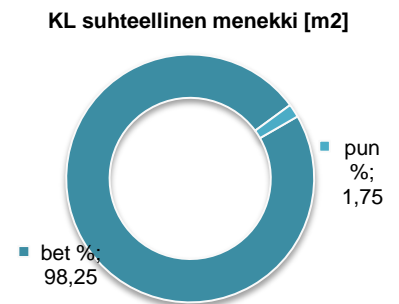
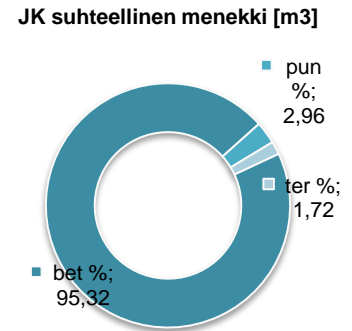
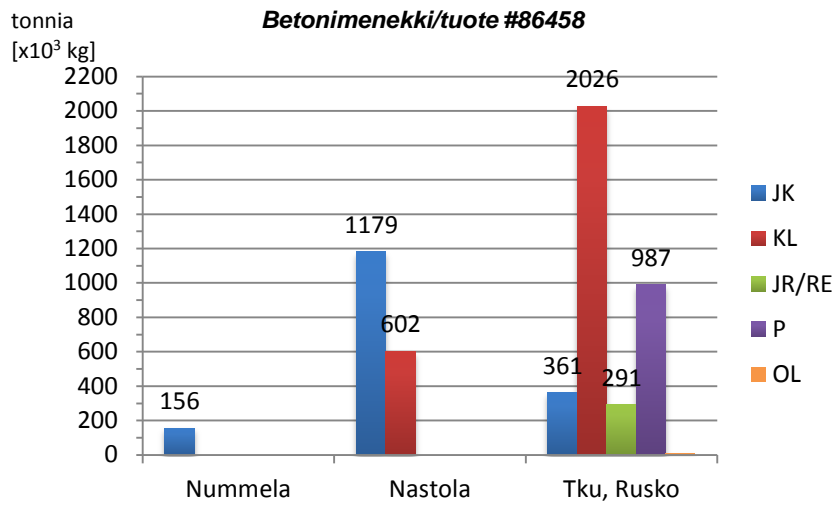


Kohteen suhteellinen kokonaismenekki #86458

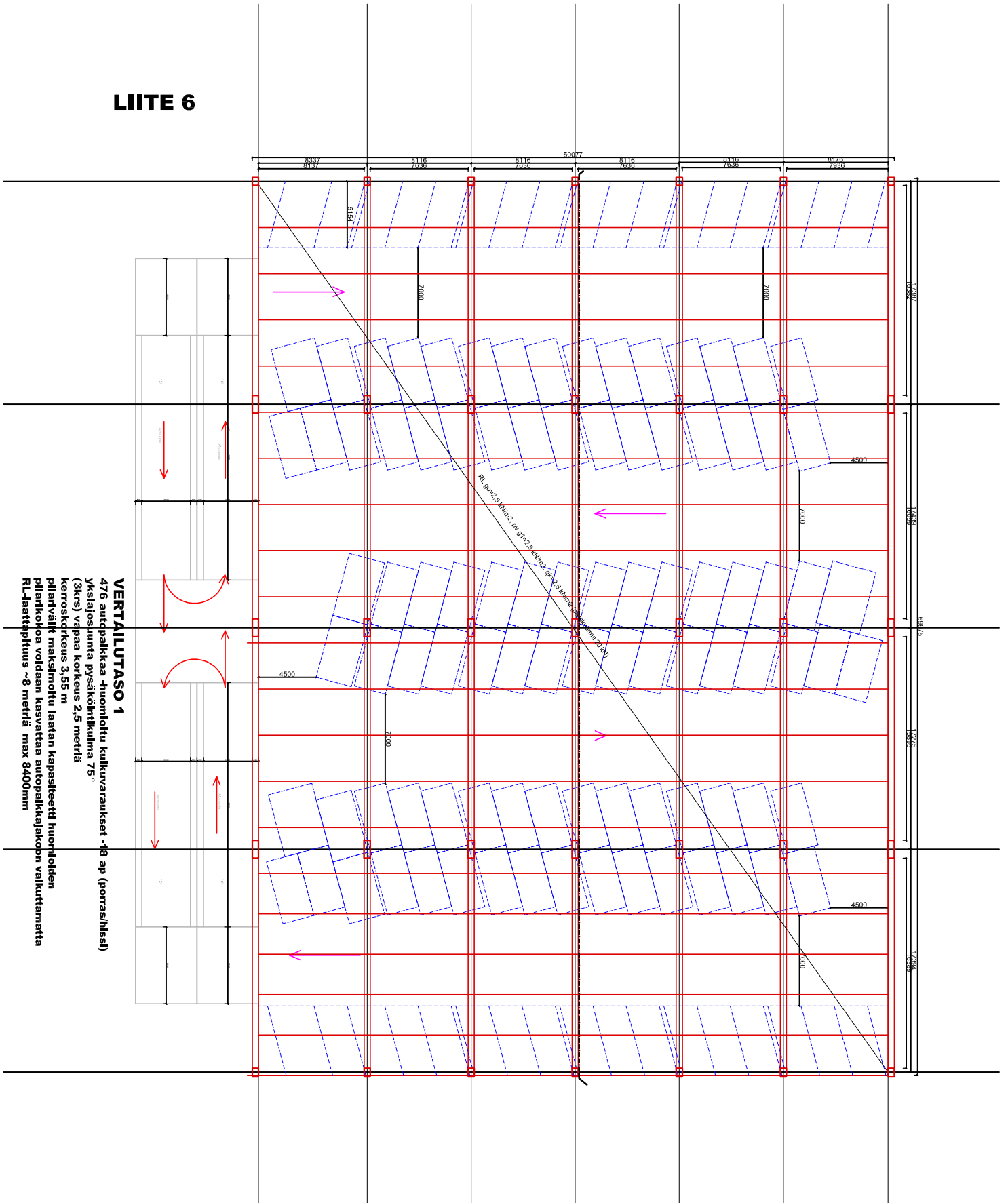


Tuotteiden osuus suhteellisesta kokonaismenekistä





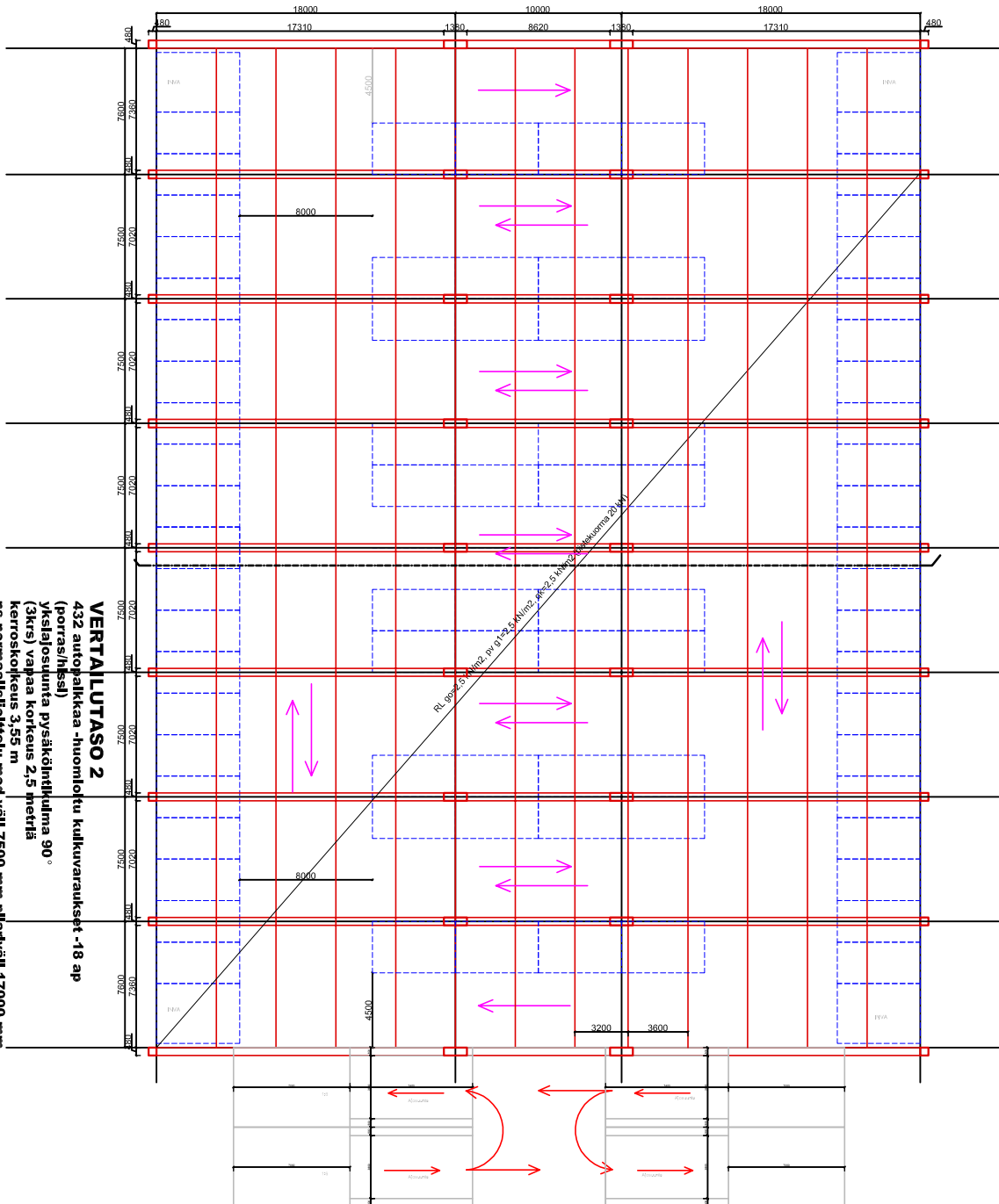
LIITE 6



VERTAALUTASO 1

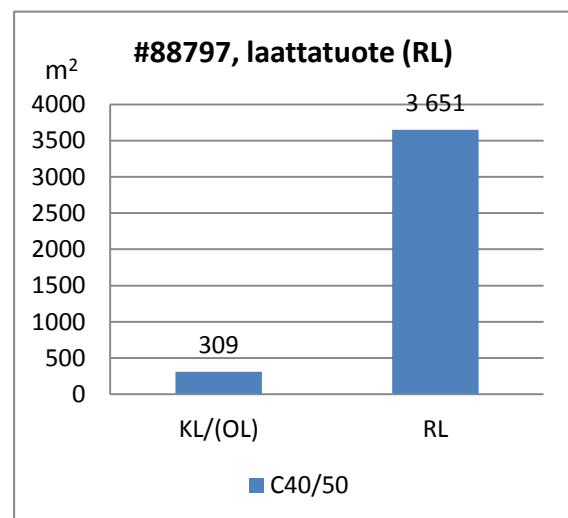
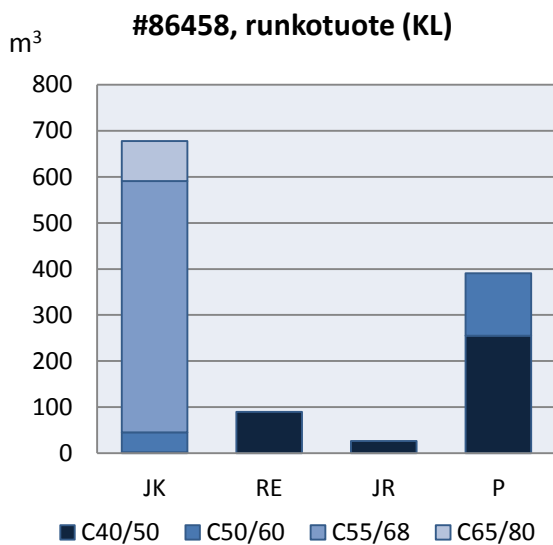
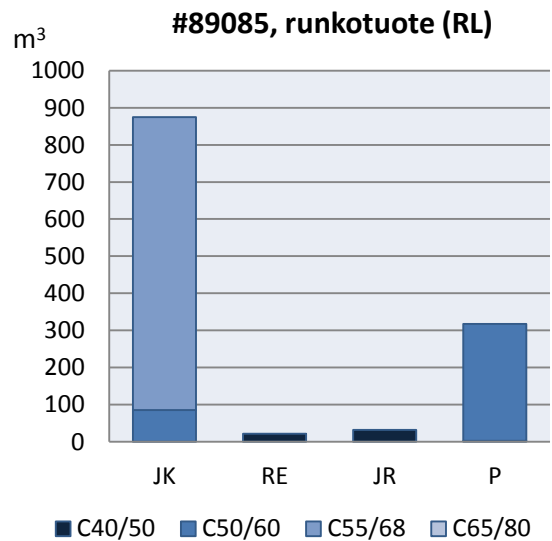
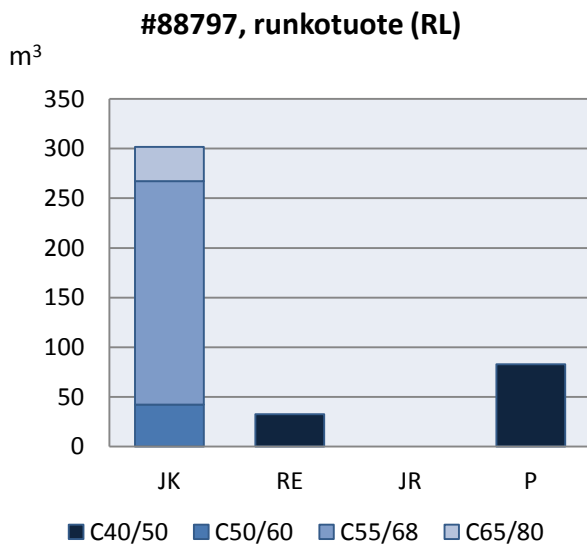
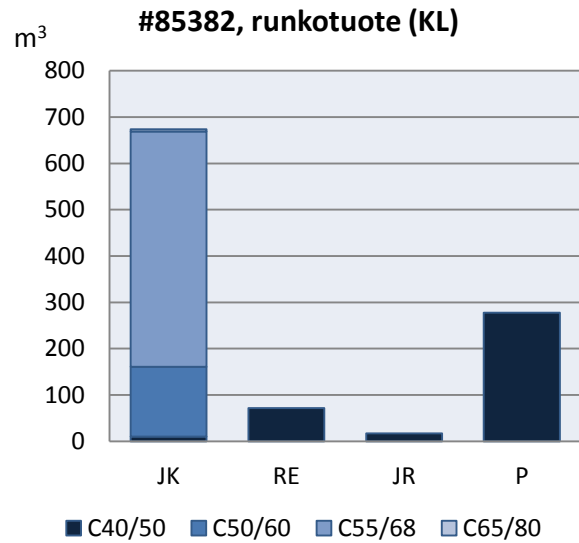
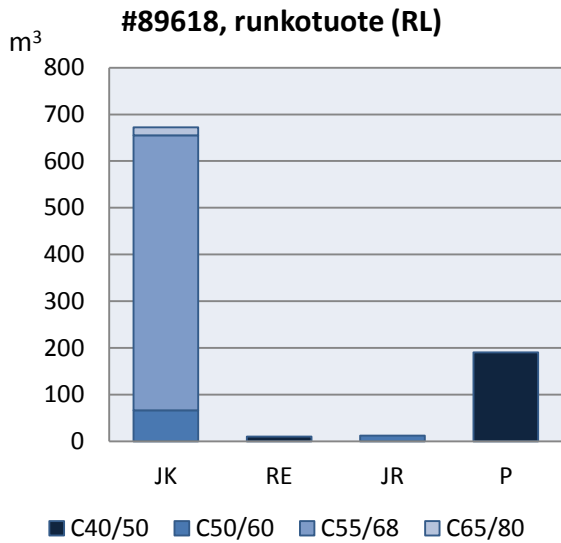
476 autopaikkaa -huomioltu kulkuväraukset -18 ap (porrasliisä)
 yksilösuojunta pysäköintikulma 75°
 (3krs) vapaa korkeus 2,5 metriä
 kerroskorkeus 3,55 m
 pilarivälit maksimoinnui laatan kapasiteetti huomioiden
 pilarikohta voidaan kasvattaa autopaikkakajakon vaikuttamatta
 RL-laattapaksuus ~8 metriä max 8400mm

LIITE 7



VERTAILUTASO 2

432 autopaikkaa -huomioitu kulkuvaraukset -18 ap
 (porrashissit)
 yksilajosmitta pysäköintikokulma 90°
 (3krs) vapaa korkeus 2,5 metria
 kerroskorkeus 3,55 m
 ns normaalisijottelu mod välil 7500 mm pillartvälil 17000 mm
 pillarkokoa voidaan kasvattaa autopaikkajakoon vaikuttamatta



LIITE 9

YRITE 1 (VAIHTOEHTO 1,2,3)

Kohde		Runkotuote			Laattatuote			Paikallavalu			Runko+laatta			Runko+laatta+paikallavalu			CO2 kg/ autopaikka
		CO2/tuote	CO2 päästö	päästö/ olempaino	CO2/tuote	CO2 päästö	päästö/ olempaino	CO2/tuote	CO2 päästö	päästö/ olempaino	CO2/tuote	CO2 päästö	PV ei huom	CO2/tuote	CO2 päästö	PV huom	
		kg/m2	tn	kg/tn	kg/m2	tn	kg/tn	kg/m2	tn	kg/tn	kg/m2	tn	ero % ±	kg/m2	tn	ero % ±	
89618 (RL)	1)	658	583	266	40,2	477	155	34,4	406	138	698,2	1060	0,00	732,6	1466	0,0	18315
	2)	665	589	269	41,2	488	158	34,8	410	139	706,2	1077	1,15	741	1487	1,1	18525
	3)	663	587	269	41,2	488	158	35,7	421	143	704,2	1075	0,86	739,9	1496	-0,1	18498
85382 (KL) HUOM!	1)	691	719	278	111,8	1319	387	34	340	136	802,8	2038	0,00	836,8	2378	0,0	20920
	2)	693	721	279	113,8	1318	393	34,5	345	138	806,8	2039	0,50	841,3	2384	0,5	21033
	3)	690	718	279	42	486	145	35,4	353	141	732	1204	-8,82	767,4	1557	-8,8	19185
88797 (RL)	1)	669	271	279	42,6	169	162	34,8	129	139	711,6	440	0,00	746,4	569	0,0	18660
	2)	679	283	275	42,5	168	161	35,7	131	142	721,5	451	1,39	757,2	582	1,4	18930
	3)	675	282	273	42,4	168	161	36,1	133	141	717,4	450	0,82	753,5	583	-0,5	18838
89085 (RL)	1)	693	863	282	42,2	706	144	35,2	615	141	735,2	1569	0,00	770,4	2184	0,0	19260
	2)	701	872	285	43,8	858	149	35,7	624	143	744,8	1730	1,31	780,5	2354	1,3	19513
	3)	649	808	263	45,5	761	155	36,1	631	145	694,5	1569	-5,54	730,6	2200	-6,4	18265
86458 (KL)	1)	682	716	275	49	511	181	33,6	350	134	731	1227	0,00	764,6	1577	0,0	19115
	2)	687	721	277	49,9	521	185	35,7	373	143	736,9	1242	0,81	772,6	1615	1,0	19315
	3)	697	732	282	40,6	423	150	35	365	140	737,6	1155	0,90	772,6	1520	0,0	19315
Vertailukohde 1	1)	680	243	275	41,6	160	416	35,7	478	143	721,6	403		757,3	881		18933
Vertailukohde 2	1)	668	219	270	40,5	156	327	35,7	353	143	708,5	375		744,2	728		18605

1) todellinen sijainti ja tilanne

2) sijainnin vaikutus poistettu, verrokkisijainti Toijalassa (yhtäläinen matka)

3) valmistavan tehtaan vaikutus huomioitu (keskitetty yhdelle tehtaalle)
tarkastellaan reseptiikan merkitystä tuotteeseen

HUOM! Valmistava tehdas alun perin kaukana, kun on laskettu teoreettiselle sijainnille & massalle, matkan määrä kohteeseen on n 100 km lyhyempi siksi näin poikkeava tulos ! Lisäksi 27% laattaelementeistä on TEK laattaa

75°

90°

LIITE 10
YRITE2 (VAIHTOEHTO 4)

Kohde		Runkotuote			Laattatuote			Paikallavalu			Runko+laatta			Runko+laatta+paikallavalu			CO2 kg/ autopaikka
		CO2/ tuote	CO2 päästö	päästö/ olempaino	CO2 (tuote)	CO2 päästö	päästö/ olempaino	CO2/ tuote	CO2 päästö	päästö/ olempaino	CO2/ tuote	CO2 päästö	PV ei huom	CO2/ tuote	CO2 päästö	PV huom	
		kg/m2	tn	kg/tn	kg/m2	tn	kg/tn	kg/m2	tn	kg/tn	kg/m2	tn	ero % ±	kg/m2	tn	ero % ±	
89618 (RL)	1)	658	583	266	40,2	477	155	34,4	406	138	698,2	1060	0,00	732,6	1466	0,00	18315
	2)	665	589	269	41,2	489	158	34,8	410	139	706,2	1078	1,15	741	1488	1,15	18525
	3)	663	587	269	41,2	489	159	35,7	421	143	704,2	1076	0,86	739,9	1497	1,00	18498
85382 (KL) HUOM!	1)	691	719	278	115	1332	397	34	340	136	806	2051	0,40	840	2391	0,38	21000
	2)	693	721	279	117	1355	404	34,5	345	138	810	2076	0,90	844,5	2421	0,92	21113
	3)	690	718	279	45	521	155	35,4	353	141	735	1239	-8,45	770,4	1592	-7,93	19260
88797 (RL)	1)	669	271	279	42,6	169	162	34,8	129	139	711,6	440	0,00	746,4	569	0,00	18660
	2)	679	283	275	42,5	168	161	35,7	131	142	721,5	451	1,39	757,2	582	1,45	18930
	3)	675	282	273	42,7	169	162	36,1	133	141	717,7	451	0,86	753,8	584	0,99	18845
89085 (RL)	1)	693	863	282	42,2	706	144	35,2	615	141	735,2	1569	0,00	770,4	2184	0,00	19260
	2)	701	872	285	43,8	858	149	35,7	624	143	744,8	1730	1,31	780,5	2354	1,31	19513
	3)	649	808	263	45,5	761	155	36,1	631	145	694,5	1569	-5,54	730,6	2200	-5,17	18265
86458 (KL)	1)	682	716	275	53,2	555	197	33,6	350	134	735,2	1271	0,57	768,8	1621	0,55	19220
	2)	687	721	277	54,2	565	200	35,7	373	143	741,2	1286	1,40	776,9	1659	1,61	19423
	3)	697	732	282	44,8	474	168	35	365	140	741,8	1206	1,48	776,8	1571	1,60	19420

HUOM! Valmistava tehdas alun perin kaukana, kun on laskettu teoreettiselle sijainnille & massalle, matkan määrä kohteeseen on n 100 km lyhyempi siksi näin poikkeava tulos ! Lisäksi 27% laattaelementeistä on TEK laattaa

LIITE 11

YRITE3 (VAIHTOEHTO 5,6,7(KL&RL))

Kohde	Runkotuote			Laattatuote			Paikallavalu			Runko-laatta			Runko-laatta+paikallavalu			CO2 kg/autopaikka		
	CO2/ tuote	CO2 päästö	päästö/ olempaino	CO2 (tuote)	CO2 päästö	päästö/ olempaino	CO2/ tuote	CO2 päästö	päästö/ olempaino	CO2/ tuote	CO2 päästö	PV ei huom	CO2/ tuote	CO2 päästö	PV huom			
	kg/m2	tn	kg/tn	kg/m2	tn	kg/tn	kg/m2	tn	kg/tn	kg/m2	tn	ero % ±	kg/m2	tn	ero % ±			
89618 (RL)	663	587	269	41,3	489	159	35,7	421	143	704,3	1076	0,87	740	1497	1,01	18500	norm valumassa (KL)	
	597	529	242	39,7	471	153	35,7	421	143	636,7	1000	-8,81	672,4	1421	-8,22	16810	kierrätysaste +1 % (kl)+frame (plus 50/rap 50)	
	577	484	222	39,7	471	153	35,7	421	143	616,7	955	-11,67	652,4	1376	-10,95	16310	kierrätysaste +2 % (kl)+frame (plus 75 +rap 25)	
	577	484	222	43,1	510	165	35,7	421	143	620,1	994	-11,19	655,8	1415	-10,48	16395	C50/60 IT (RL)	
	577	484	222	35,3	418	136	35,7	421	143	612,3	902	-12,30	648	1323	-11,55	16200	C40/50 IT +kierrätysaste +1,2 % (RL plus 75 rap 25)	
	577	484	222	35,3	418	136	31,8	360	122	612,3	902	-12,30	644,1	1262	-12,08	16103	paikallavalu IT C30/40	
85382 (KL)	690	718	279	52,2	604	180	35,4	353	141	742,2	1322	-7,55	777,6	1675	-7,07	19440	norm valumassa	
	623	648	251	51,9	601	179	35,4	353	141	674,9	1249	-15,93	710,3	1602	-15,12	17758	kierrätysaste +1 % (kl)+frame (plus 50/rap 50)	
	607	631	245	48,5	561	167	35,4	353	141	655,5	1192	-18,35	690,9	1545	-17,44	17273	kierrätysaste +2 % (kl)+frame (plus 75 +rap 25)	
	607	631	245													-100,00	0	C50/60 IT (RL)
	607	631	245													-100,00	0	C40/50 IT +kierrätysaste +1,2 % (RL plus 75 rap 25)
	607	631	245	48,5	561	167	31,4	304	122	655,5	1192	-18,35	686,9	1496	-17,91	17173	paikallavalu IT C30/40	
88797 (RL)	675	282	273	43,7	173	166	36,1	133	141	718,7	455	1,00	754,8	588	1,13	18870	norm valumassa	
	609	254	247	43,5	172	165	36,1	133	141	652,5	426	-8,31	688,6	559	-7,74	17215	kierrätysaste +1 % (kl)+frame (plus 50/rap 50)	
	589	246	239	43,1	171	164	36,1	133	141	632,1	417	-11,17	668,2	550	-10,48	16705	kierrätysaste +2 % (kl)+frame (plus 75 +rap 25)	
	589	246	239	46,8	185	178	36,1	133	141	635,8	431	-10,65	671,9	564	-9,98	16798	C50/60 IT (RL)	
	589	246	239	37,9	150	144	36,1	133	141	626,9	396	-11,90	663	529	-11,17	16575	C40/50 IT +kierrätysaste +1,2 % (RL plus 75 rap 25)	
	589	246	239	37,9	150	144	32,2	115	125	626,9	396	-11,90	659,1	511	-11,70	16478	paikallavalu IT C30/40	
89085 (RL)	649	808	263	45,5	761	155	36,1	631	145	694,5	1569	-5,54	730,6	2200	-5,17	18265	norm valumassa	
	595	740	241									-100,00			-100,00	0	kierrätysaste +1 % (kl)+frame (plus 50/rap 50)	
	585	728	237									-100,00			-100,00	0	kierrätysaste +2 % (kl)+frame (plus 75 +rap 25)	
	585	728	237	49,4	825	168	36,1	631	145	634,4	1553	-13,71	670,5	2184	-12,97	16763	C50/60 IT (RL)	
	585	728	237	39	652	133	36,1	631	145	624	1380	-15,13	660,1	2011	-14,32	16503	C40/50 IT +kierrätysaste +1,2 % (RL plus 75 rap 25)	
	585	728	237	39	652	133	31,9	540	124	624	1380	-15,13	655,9	1920	-14,86	16398	paikallavalu IT C30/40	
86458 (KL)	697	732	282	56	207	584	35	365	140	753	939	3,01	788	1304	3,06	19700	norm valumassa	
	625	656	252	54	200	563	35	365	140	679	856	-7,11	714	1221	-6,62	17850	kierrätysaste +1 % (kl)+frame (plus 50/rap 50)	
	601	630	243	49,1	181	512	35	365	140	650,1	811	-11,07	685,1	1176	-10,40	17128	kierrätysaste +2 % (kl)+frame (plus 75 +rap 25)	
	601	630	243	49,1	181	512	31,1	314	120	650,1	630	-11,07	681,2	944	-10,91	17030	paikallavalu IT C30/40	