

Ekologinen asuinalue Astanaan, Kazakstaniin





TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Ekologinen asuinalue Astanaan, Kazakstaniin

Lisa Salo
Diplomityö
Tarkastaja: Professori Markku Hedman
Aihe hyväksytty tiedekunnassa 12.8.2015

Tiivistelmä

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Arkkitehtuurin koulutusohjelma

Salo Lisa: Ekologinen asuinalue Astanaan, Kazakstaniin

Diplomityö, 112 sivua

Kesäkuu 2016

Tarkastaja: Professori Markku Hedman

Avainsanat: rakennettu ympäristö, asunosuunnittelu, ekologia, energiankulutus, kasvihuonekaasupäästöt, passiivirakentaminen, Astana, Kazakstan

Ilmastonmuutos on yksi merkittävimmistä ihmisen toiminnan aiheuttamista kriiseistä maapallolla. Sen vaikutuksia pyritään minimoimaan muun muassa kansainvälisten, kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiin tähtäävien ilmastopöytäkirjojen avulla. Rakennusteollisuuden rooli yhteiskunnan energiankulutuksen ja päästöjen pienentämisessä on merkittävä, sillä rakennettu ympäristö on suurin yksittäinen tekijä maailman kokonaisenergiankulutuksen ja päästöjen muodostumisessa.

Rakennusten loppukäytön aikainen energiankulutus muodostuu pääasiassa lämmityksestä, jäähdytyksestä ja sähkönkulutuksesta. Ulkovaipan tiiviys ja tehokas lämmöneristys tähtäävät energiahäviöiden minimoimiseen ja sitä kautta energiankulutuksen laskuun. Rakentamisen aikaiset ympäristövaikutukset ovat toistaiseksi vähäisiä verrattuna loppukäyttöön, mutta etenkin rakennusmateriaalien tuottamisen, työstön ja kuljetuksien suhteellinen merkitys kasvaa rakennusten energiatehokkuuden parantuessa. Rakennettuun ympäristöön tiiviisti kytkeytyvän liikenteen merkitys on suuri ennen kaikkea kasvihuonekaasupäästöjen osalta.

Yhdyskuntarakenne vaikuttaa rakennetun ympäristön energiankulutukseen ja kasvihuonekaasupäästöjen määrään monin tavoin. Alati tiukentuvien energiamääräysten edistäessä rakennuskannan energiatehokkuutta ja ajoneuvojen kehittyessä ekologisemmiksi yhdyskuntarakenteellisten ohjauskeinojen suhteellinen merkitys korostuu. Väärällä tavalla toteutuva kaupunkialueiden kasvu voi mitätöidä muilla tavoin saavutettuja ympäristöhyötyjä.

Expo Astana 2017 Future Energy on kansainvälinen ja mittava rakennetun ympäristön energiatehokkuuteen keskittyvä hanke. Kazakstanin pääkaupunkiin sijoittuvan maailmannäyttelyalueen yleissuunnitelman on laatinut kansainvälisten projektien parissa toimiva, ympäristökysymyksiin erikoistunut arkkitehtitoimisto Adrian Smith + Gordon Gill Architecture, ja ekologisessa mielessä yleissuunnitelma onkin monin tavoin onnistunut.

Tätä diplomityötä varten laadittiin energiatehokasta asuinrakentamista sekä siihen liittyviä oheistiloja käsitävä suunnitelma yhdelle Expo-alueen kolmannen vaiheen kortteleista. Suunnittelutyön pohjana toimi kevään 2015 ISOVER -opiskelijakilpailu. Energiatehokkuuden lisäksi sekä kilpailuohjelmassa että suunnitteluratkaisussa korostettiin ennen kaikkea työn arkkitehtonista laatua. Viihtyisyys ja toimivuus sekä joustavat tilaratkaisut ovat myös energiankulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen kannalta tärkeitä asuinympäristön ominaisuuksia, sillä korkealaatuinen kaupunkiympäristö kestää aikaa ja tukee ekologista elämäntapaa.

Abstract

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

School of architecture

Salo Lisa: An ecological residential district for Astana, Kazakhstan

Master's thesis, 112 pages

June 2016

Examiner: Professor Markku Hedman

Key words: built environment, housing design, ecology, energy consumption, greenhouse gas emissions, passive construction, Astana, Kazakhstan

Global warming is one of the most significant crises in the world caused by human actions. International treaties aim to reduce greenhouse gas emissions in order to minimize the effects of global warming. Construction industry has a major role in reducing energy consumption and emissions, as built environment is the largest single factor affecting the total energy consumption and emission formation.

Heating, cooling and the use of electricity make up the most of energy consumption of buildings. Dense and energy efficient outer envelope aims to minimize the loss of energy. Environmental effects of the construction are minimal compared to the end usage, but especially the energy efficiency of producing, machining and transporting construction materials plays a major role as the energy efficiency of buildings improves. The amount of traffic is strongly affected by the urban structure and as a part of built environment plays a significant role especially in terms of greenhouse gas emissions.

The energy consumption of built environment and the amount of greenhouse gas is affected by urban structure in many ways. Constantly tightening energy regulations increase the energy efficiency and vehicles become more and more environmentally friendly, which augments the role of regulations on urban structure. Disadvantageous growth of the cities may nullify the environmental benefits gained with other actions.

Expo Astana 2017 Future Energy is an international large scale project aiming to improve energy efficiency in built environment. Principal plan of this world fair located in the capital of Kazakhstan was created by architectural office Adrian Smith + Gordon Gill Architecture. The company works with international projects and is specialized in environmental issues. From the ecological point of view the master plan is a success in many ways.

For this thesis, a plan comprised of energy efficient residential buildings and incidental spaces was created for one of the third stage city blocks of the Expo area. Plan is based on the ISOVER student competition held at spring 2015. The competition emphasized architectonic quality in addition to energy efficiency. Comfort and functionality as well as flexible space solutions are equally important features of residential environment in terms of energy consumption and greenhouse gas emissions, as high quality city environment lasts long and supports environment friendly lifestyle.

	Johdanto	10
1	Diplomityön lähtöasetelma	12
	1.1 Astana Expo 2017	12
	1.2 ISOVER Multi-Comfort House –opiskelijakilpailu	13
2	Rakennetun ympäristön ekologia	14
	2.1 Rakennetun ympäristön rooli energiankulutuksessa ja kasvihuonekaasupäästöissä	14
	2.2 Kansainväliset ilmastosopimukset	15
	2.3 Rakennetun ympäristön energiatehokkuus	15
	2.4 Rakennetun ympäristön energiakulutus ja kasvihuonekaasupäästöt	16
	2.5 Rakennusvaiheen energiakulutus ja kasvihuonekaasupäästöt	18
	2.6 Rakennusten loppukäytön aikainen energiakulutus ja kasvihuonekaasupäästöt	19
	2.6.1 Rakennusten energiankulutus	19
	2.6.2 Lämmöntuotanto ja kasvihuonekaasupäästöt	20
	2.6.3 Sähköntuotanto ja kasvihuonekaasupäästöt	20
	2.7 Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt	21
	2.8 Muut kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajat	22
3	Rakennuskannan energiatehokkuuden kehitys	23
	3.1 Energiatehokkuuden kehitysmallit	23
	3.2 Energiahuoltoratkaisujen merkitys	23
4	Yhdyskuntarakenteen vaikutus energiatehokkuuteen	24
	4.1 Yhdyskuntarakenteen käsite	24
	4.2 Yhdyskuntarakenteen vaikutusten arvioinnin työkalut	24
	4.3 Kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt, kehitysvertailuja 2005-2050	25
	4.3.1 Hankkeen sisältö	25
	4.3.2 Liikenne	25
	4.3.3 Fyysinen rakenne	26
	4.4 Urban Zone	27
	4.4.1 Hankkeen sisältö	27
	4.4.2 Liikenne	27
	4.5 Tulosten merkitys	28
5	Suunnittelun lähtökohdat	29
	5.1 Astana, Kazakstan	29
	5.2 Ilmasto ja kasvillisuus	30
	5.3 Astanalainen arkkitehtuuri	31
	5.4 Maailmannäyttelyalue Astanassa	32
	5.4.1 Alueen perustiedot	32
	5.4.2 Energiatehokkuuden konsepti	33
	5.5 Suunnittelutehtävän yleiset vaatimukset	34
	5.6 Suunnittelupaikan lähiympäristö	34

6	Arkkitehtoninen ratkaisumalli	36
6.1	Burlap	36
6.2	Korttelisuunnittelun ratkaisuperiaatteet: BURLAP!	37
6.3	Asunnot	58
6.3.1	Asuntosuunnittelun lähtökohdat	58
6.3.2	Asuntosuunnittelun ratkaisuperiaatteet: BURLAP!	59
6.3.3	Tilajärjestelyt ekologisen elämäntavan tukena	60
6.4	Julkisivut	84
6.4.1	Julkisivujen ratkaisuperiaatteet: BURLAP!	84
6.4.2	Kaupunkikuva	93
7	Passiivitalon rakenneratkaisut	98
8	Rakennusten tekninen toiminta	103
8.1	Ilmanpaineen vaikutus rakennuksen fysikaaliseen toimintaan	103
8.2	Ilmanvaihto ja lämmitys	104
8.3	Ääneneristys ja paloturvallisuus	105
8.4	ISOVER MCH Designer passiivirakennuksen suunnittelun tukena	105
	Loppusanat	106
	Kiitokset	108
	Lähdeluettelo	110

Johdanto

Vaikka kiinnostus rakentamisen energiatehokkuutta kohtaan on kasvussa, ei nykyisen keinovalikoiman kattavuus yksinään riitä ympäristökatastrofien ehkäisemiseen. Tarve teknologioiden ja suunnittelutapojen kehittymiselle on olemassa, mutta kehitys vaatii toteutuakseen tietoisuuden lisäämistä.

Tämä diplomityö on ensisijaisesti energiatehokasta asuinrakentamista käsittävä suunnitelmatyö. Expo Astana 2017 Future Energy -hankkeen teemaa sekä Saint-Cobainin passiivitalokonsepteja kuitenkin taustoitetaan analysoimalla rakennetun ympäristön energiatehokkuuteen sekä kasvihuonekaasupäästöjen määrään liittyviä tekijöitä. Koska olennaista on ymmärtää ennemminkin päästörakenteen ja energiankulutuksen syy-seuraussuhteita kuin absoluuttisia lukuja tai edes prosenttiosuuksia, hyödynnetään taustaselvityksessä tiedon saatavuuden nimissä tarpeen mukaan joko maailmanlaajuisia tai suomalaisia vertailuarvoja.

Työn teoriaosuus toteutetaan pääasiallisesti kirjallisuuskatsauksena. Lähtötietona käytetään muun muassa ajankohtaisia suomalaisia selvityksiä ja tutkimushankkeita. Kirjallisessa osuudessa arvioidaan rakennetun ympäristön energiatehokkuuden merkitystä maailman kokonaisenergiankulutukselle ja kasvihuonekaasupäästöille, analysoidaan ympäristövaikutusten osatekijöitä ja esitetään sekä käytössä olevia että potentiaalisia uusia keinoja energiankulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen pienentämiseksi. Tietoja käsitellään niin yksittäisen rakennuksen ominaisuuksien kuin yhdyskuntarakenteellisten seikkojenkin näkökulmasta.

Suunnittelutehtävää lähestytään pääasiallisesti kahdesta eri näkökulmasta. Suunnitelman ensimmäisessä ja merkittävämmässä osuudessa käsitellään ratkaisumallia arkkitehtonisen laadun kannalta. Diplomityön luvuissa seitsemän ja kahdeksan esitellään suunnitelman rakenteellinen ja tekninen toiminta. Sekä rakennusteollista että teknisen tason suunnittelun päätavoitteena on tuottaa energiatehokasta ja toimivaa kaupunkiympäristöä.

1.1 Expo Astana 2017

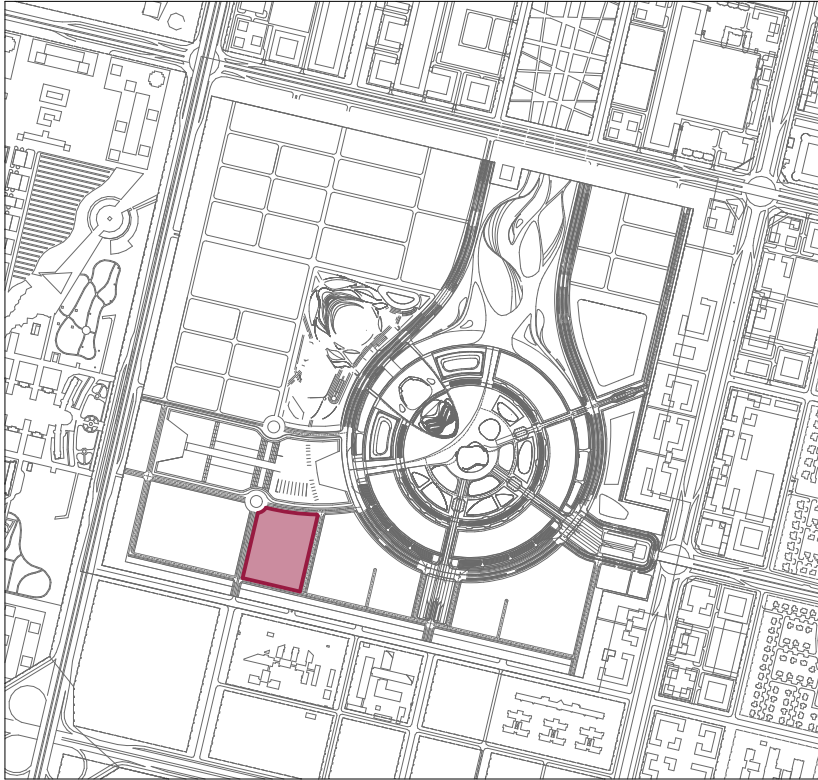
Maailmannäyttelyt ovat usein ajankohtaisiin teemoihin tukeutuvia, kaupallisia tapahtumia, joissa suurelle yleisölle esitellään uusia innovaatioita yli kulttuurirajojen. Kansainvälisiä maailmannäyttelyitä on järjestetty vuodesta 1851 alkaen BIE:n (The Bureau International des Expositions) valvonnassa (1). Kazakstanissa järjestettävä Expo Astana 2017 Future energy keskittyy nimensä mukaisesti alue- ja rakennussuunnittelun energiatehokkuuteen (2, s.3), Aihetta tarkastellaan kahdesta pääasiallisesta näkökulmasta, joista ensimmäinen on sosioekonominen ja toinen ympäristöön liittyvä (3).

Sosioekonominen konteksti koostuu uusiutuvan energiantuotannon ja vaihtoehtoisten energiamuotojen edistämisen, energiatehokkuuden ja vastuullisen energiankulutuksen, liikennevälineiden sähköistämisen, puhtaan energian saatavuuden, energian turvallisuuden sekä energian ja materian, elämän ja ihmisten erotamattomuuden teemoista. (3) Yhteiskunnallis-taloudelliset näkökohdat ovat energiakeskustelussa merkittävässä roolissa erityisesti kehitystä seuraavan taloudellisen hyödyn sitouttaessa päättäviä tahoja prosessiin.

Ympäristönäkökulmaan kuuluvat fossiilisten polttoaineiden käytön ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen minimiin, ilmaston lämpenemisen ja ilmastonmuutoksen pysäyttäminen sekä saastumisen ja sen aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisy. (3) Vaikka maapallon hyvinvointi on ihmiskunnan elinehto, on ympäristökysymyksissä lähtökohtaisesti kyse arvovalinnoista. Näyttelyn tarkoituksena on lisätä tietosuutta suunnittelijoiden keskuudessa, tarjota uusia energiatehokkaita ratkaisuvaihtoehtoja niin tuotanto- kuin käytövaiheittakin silmällä pitäen, sekä kannustaa niiden aktiiviseen hyödyntämiseen. (2, s.3) Ottamalla aktiivisen roolin suunnitteluprosessin ympäristökysymyksissä suunnittelija voi parhaimmillaan tarjota avaimia puhtaampaan tulevaisuuteen.

Kuva 1: Expo Astana 2017 Future Energy -alueen keskipisteenä toimii Kazakstanin kansallisparvilljonki sekä sitä ympäröivä kansainvälisten parvilljonkien alue.





Suunnittelupaikan sijainti maailmannäyttelyalueella.

1.2 ISOVER Multi-Comfort House -opiskelijakilpailu

Yhdestoista vuotuinen ja kansainvälinen ISOVER Multi-Comfort House -opiskelijakilpailu käytiin läheisessä yhteistyössä Astana Expo-2017 -hankkeen suunnittelijatiimin kanssa. Suunnittelupaikkana toimii yksi välittömästi Expo-alueen etelälaidan ulkopuolella sijaitsevista, asuinrakentamiselle kaavoitetuista kortteleista. Osallistujien tehtävänä oli suunnitella annetulle tontille kestävää asuinrakentamista Expo Astana 2017:n Tulevaisuuden energia -teeman mukaisesti.

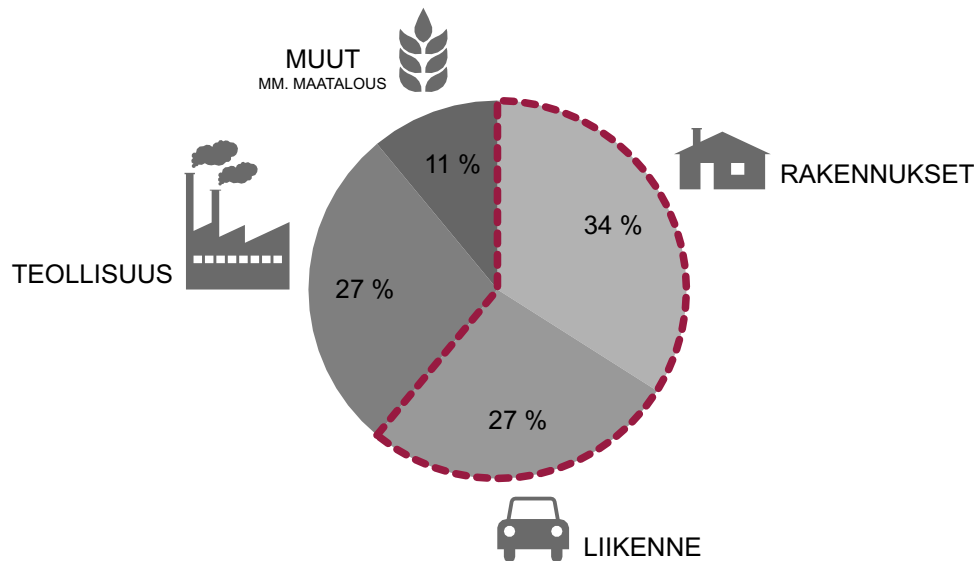
Kilpailutyössä tuli hyödyntää Saint-Gobainin Multi-Comfort -konseptia, ja sen ohella tuottaa uuteen urbaaniin ympäristöön sekä Astanan vaativiin ilmasto-olosuhteisiin soveltuva arkkitehtuuria. Energiatehokkuutta mitattiin muun muassa ISOVER:in omalla ohjelmistolla tehdyillä energialaskelmilla, jotka kuuluivat pakollisena osana luovutettavaan kilpailumateriaaliin.

Ekologisuuden ohella kilpailun tavoitteena oli luoda omaleimaista ja toimivaa, kaupunkimaista asuintilaa. Passiivirakentamisen asettamat rajoitteet rakennusten muotokielessä sekä kunnianhimoiset tilalliset tavoitteet synnyttivät toisen mielenkiintoisen vastakkainasettelun.

2.1 Rakennetun ympäristön rooli energiankulutuksessa ja kasvihuonekaasupäästöissä

Ilmaston lämpeneminen on kiistatta yksi suurimmista ihmisen toiminnan aiheuttamista kriiseistä maapallolla. Keskilämpötilojen nousu vaikuttaa ihmisten ja muiden eliöiden elämään monin tavoin niin lyhyellä kuin pitkälläkin tähtäimellä. Sääilmiöiden äärimmäistyminen, napajäätiköiden sulaminen ja sitä kautta merenpinnan kohoaminen ovat esimerkkejä ilmastonmuutoksen aiheuttamista vakavista seurauksista. Vaikka ilmaston lämpenemisen vaikutuksia ei voidakaan täysin korjata tai lyhyellä aikavälillä edes pysäyttää, voidaan niitä lieventää säästämällä energiaa, käyttämällä sitä tehokkaammin ja panostamalla uusiutuvien energiamuotojen käyttöön. (4)

Rakennetun ympäristön rooli energiansäästöissä ja päästöjen pienentämisessä on merkittävä. Maailmanlaajuisesti rakennusten osuus kokonaisenergiankulutuksesta oli vuonna 2012 noin 34 prosenttia. Koska liikenteen määrä on voimakkaasti riippuvainen yhdyskuntarakenteesta, voidaan rakennetun ympäristön energiankulutukseen tulkinnasta riippuen sisällyttää myös liikenteen osuus. Tällöin rakennetun ympäristön kokonaisosuudeksi esimerkkivuodelle 2012 saadaan 61 prosenttia, eli reilusti yli puolet koko maailman energiankulutuksesta. (5)



Maailman kokonaisenergiankulutuksen jakautuminen sektoreittain (5).
Rakennetun ympäristön osuus on korostettu punaisella.

Maailmanlaajuisen urbanisoinnin myötä kaupungit kehittyvät yhä suuremmiksi ja väkirikkaammiksi. Samalla kaupunkien energiankulutus ja hiilidioksidipäästöt ovat jatkuvassa nousussa. (2, s.2) Kulutuksen kasvu nostaa väistämättä ekologian yhdeksi merkittävimmistä 2000-luvun kaupunki- ja rakennussuunnitteluhaasteista. Olennaista on oppia tunnistamaan ne suunnittelun keinot, joilla vahvistetaan kaupunkiympäristön ekologista kantokykyä kasvusta huolimatta. Rakennustaiteellisessa mielessä ollaan yhä mielenkiintoisempien haasteiden äärellä, kun absoluuttisen energiatehokkuuden rinnalle tuodaan sosiaalisen kestävyuden konsepti: miten vastata kiristyviin ekologiisiin vaatimuksiin ilman, että sitä tehdään ympäristön laadun tai toimivuuden kustannuksella?

2.2 Kansainväliset ilmastopimukset

Vuonna 1997 Kiotossa, Japanissa neuvotellun kansainvälisen ilmastopimuksen, Kioton pöytäkirjan perusteella kaikille teollisuusmaille asetettiin sitova tavoite pienentää kasvihuonepäästöjen määrää 5,2 prosentilla vuoteen 1990 verrattuna. HFC:n (fluorihilivety-yhdisteet), PFC:n (perfluoratut yhdisteet) ja SF₆:n (rikkiheksafluoridi) kohdalla vertailuvuodeksi hyväksyttiin myös valtioiden omasta valinnasta riippuen vuosi 1995. Päästövähennyksien toteutumistavoitteeksi asetettiin vuodet 2008-2012. (6) Euroopan Unionin sisällä vähennystaakka jaettiin valtiokohtaisesti, joten esimerkiksi Suomen veloitteeksi jäi päästöjen pitäminen vuoden 1990 tasolla (7, s.1).

Kioton pöytäkirja oli ensimmäinen laillisesti sitova ja päästövähennystavoitteet sisältävä kansainvälinen sopimus (6), jonka ratifioi 191 valtiota ja Euroopan Unioni (7, s.1). Vaativuudestaan huolimatta tavoitteet eivät sellaisenaan vielä vastanneet kansainvälistä päämäärää maapallon enintään kahden asteen keskilämpötilojen noususta verrattuna teollisen aikakauden alkuun (6).

Kioton pöytäkirjan toinen veloittekausi astui voimaan 1.1.2013 ja päättyy vuoden 2020 lopussa. EU:n toisen sopimuskauden tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä minimissään 20 prosentilla vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. EU:n ohella toiselle sopimuskaudelle osallistuvat Australia, Islanti, Kroatia, Liechtenstein, Monaco, Norja, Sveitsi, sekä mahdollisesti Kazakstan, Ukraina ja Valko-Venäjä. (7, s.1)

Tuorein kansainvälinen ilmastopimus allekirjoitettiin joulukuussa 2015 Pariisissa, ja se koskee 195 valtiota. Veloittekausi alkaa vuonna 2020. Sopimuksen pääasiallinen tavoite on maapallon keskilämpötilojen nousun rajoittaminen kansainvälisen tavoitetason mukaisesti enintään kahteen asteeseen. Vaihtoehtoiseksi tavoitteeksi on kirjattu myös optimistinen 1,5 asteen enimmäisnousu, jolla saavutettaisiin edelleen yhä merkittävämpiä etuja ilmastonmuutoksen riskien hallinnassa. Tämänhetkinen keinovalikoima päästöjen rajoittamiseksi on toistaiseksi riittämätön asetettujen tavoitteiden vaativuuteen nähden, joten sopimus sisältää veloitteen tarvittavien työkalujen kehittämisestä. (8)

2.3 Rakennetun ympäristön energiatehokkuus

Suomessa rakennetun ympäristön energiatehokkuus nousi ensimmäistä kertaa tapetille 1970-luvulla taloudellisten kysymysten sivutuotteena. Erityisesti öljyn hinnan voimakas nousu sekä taloudelliseen kasvuun tähtäävä tutkimustoiminta suuntasivat rakennusteollisuuden huomion lämmitysenergian säästöön. Rakennuksen ulkoseinien, ikkunoiden ja ovien lämmöneristystä kehitettiin, taloteknisten laitteiden lämpöhäviöitä minimoitiin, ja uusiutuvien energialähteiden käyttöä kokeiltiin. 1960-luvulla alettiin keskustella myös yhdyskuntarakenteen eheyttämisestä, jota tosin perusteltiin ennen kaikkea olemassa olevan infrastruktuurin hyödyntämisen kautta saavutettavilla taloudellisilla säästöillä, ei niinkään ekologisilla näkökohdilla. Useista myöhemmistäkin keskustelunavauksista huolimatta suomalaiset kaupungit ovat tähän päivään saakka kuitenkin jatkuvasti hajautuneet. (9, s72)

Energiatehokkuus oli olennainen osa myös ISOVER -opiskelijakilpailun sisältöohjelmaa. Koska toimivien ratkaisumallien löytäminen vaatii tietoa olemassa olevasta tilanteesta ja sen kehittämismahdollisuuksista, on tässä diplomityössä avattu rakennetun ympäristön vaikutuksia energiankulutukseen ja kasvihuonekaasupäästöihin. Vaikka astanalainen rakennuskanta onkin suurelta osin hyvin nuorta verrattuna keskimääräisen suomalaisen kaupungin rakennuskantaan, käytetään Suomea tässä yhteydessä energiankulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen vertailumaana, ovathan esimerkiksi kylmien talvien ekologisuudelle aiheuttamat haasteet pitkälti samansuuntaisia. Lisäksi luotettavaa tietoa kazakstanilaisten kaupunkien ja yksittäisten rakennusten energiatehokkuudesta on Suomesta käsin varsin niukasti saatavilla.

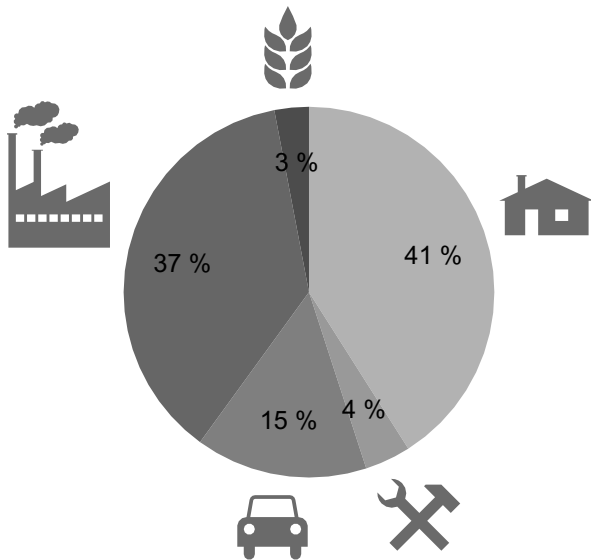
2.4 Rakennetun ympäristön energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt

Rakennetun ympäristön energiankulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjä arvioidaan tässä yhteydessä lähtökohtaisesti kolmen osatekijän suhteen. Energiaa kuluu ja päästöjä syntyy paitsi rakentamisen aikana, myös ennen kaikkea rakennusten loppukäytön seurauksena. Lisäksi rakennetun ympäristön ympäristövaikutuksiin lasketaan liikenteen kuluttama energia ja päästöt. Rakennusvaiheen polttoaineenkulutus lukeutuu ensiksi mainittuun kategoriaan. (9, s.10)

RAKENNETTU YMPÄRISTÖ

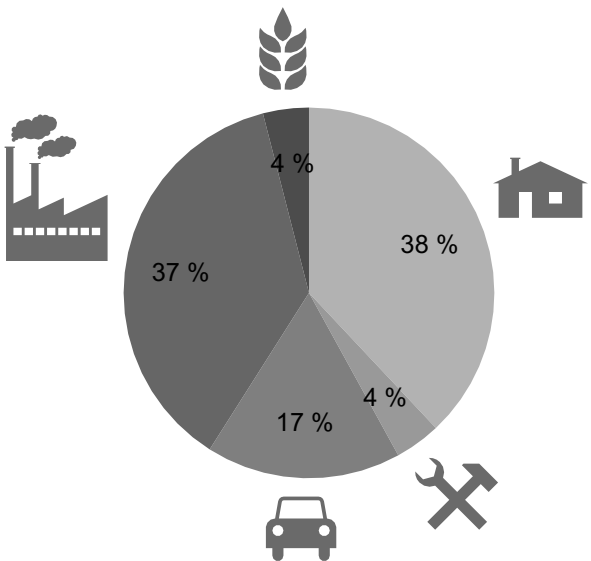


Kehittyneiden maiden energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt syntyvät useiden osatekijöiden yhteisvaikutuksen summana. Rakennetun ympäristön käsittää tässä yhteydessä rakennusten loppukäytön, rakentamisen sekä liikenteen päästöt ja energiankulutuksen. (9, s.10)



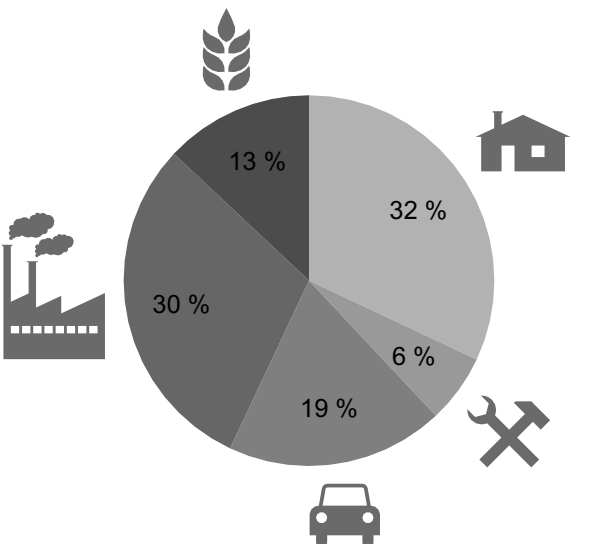
Primäärienergian kulutuksen jakautuminen Suomessa sektoreittain vuonna 2007 (9, s.13).

Rakennettu ympäristö kuluttaa reilusti yli puolet kaikesta Suomessa tuotetusta primäärienergiasta.



Sekundäärienergian kulutuksen jakautuminen Suomessa sektoreittain vuonna 2007 (9, s.11).

Sähköenergian suuri osuus rakennusten energiankulutuksessa selittää primäärienergian tuotannon ja loppukäytön välistä prosenttiosuseroa. Sähköenergian tuotannosta syntyy muiden energiamuotojen tuotantoon verrattuna suuremmat energiahäviöt.



Kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen Suomessa sektoreittain vuonna 2007 (9, s. 16).

Liikenne tuottaa merkittävän osuuden koko yhteiskunnan kasvihuonekaasupäästöistä, mikä näkyy sektoreiden välisissä suhteissa verrattuna energiankulutukseen. Rakentamisen kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat muun muassa kuljetuksista aiheutuva liikennepolttoainesten runsas käyttö sekä rakennusmateriaalien valmistusprosesseista syntyvät päästöt. Myös maatalouden osuus kasvihuonekaasupäästöistä on energiankulutuksen osuuteen verrattuna merkittävä.

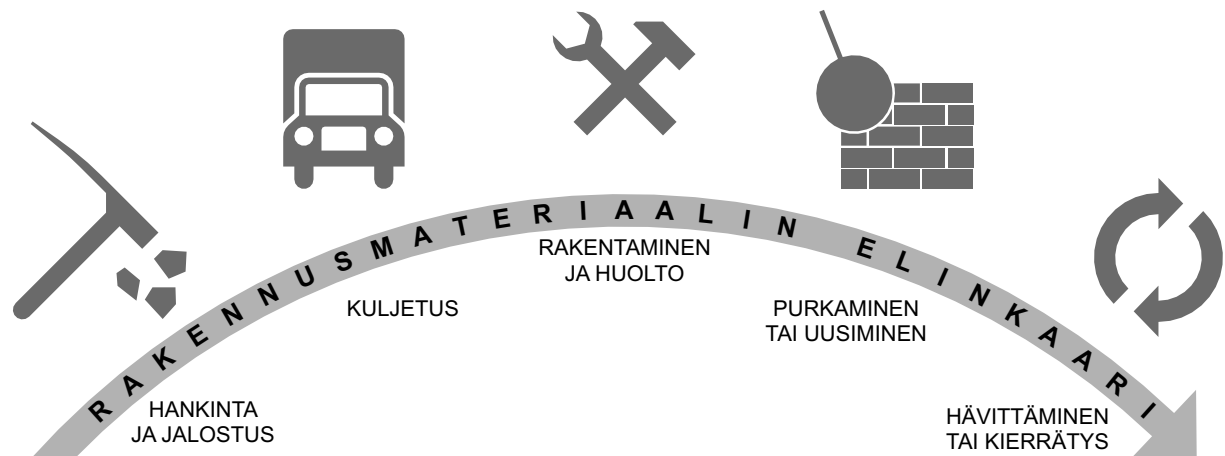
Primääri- ja sekundääri-energia

Primäärienergialla tarkoitetaan energiaa siinä muodossa, jossa se esiintyy energialähteessä. Primäärienergiasta tuotetaan energiamuunnosten kautta kulutukseen ostettavaa energiaa eli sekundäärienergiaa. (10) Se ei sisällä energian tuotannon, jakelun tai siirron häviöitä, eikä tässä tapauksessa myöskään kiinteistöjen itsenäisesti tuottamaa uusiutuvaa energiaa. Häviöistä johtuen primäärienergian määrä on aina loppukäyttöön päätyvää energiamäärää suurempi. (9, s.11-13)

2.5. Rakentamisvaiheen energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt

Rakentamisen aikaiset ympäristövaikutukset ovat kolmesta mainitusta kategoriasta hankalimmin arvioitavissa. Myös niiden merkitys energiankulutuksessa ja -päästöissä on kokonaisuuteen verrattuna melko vähäinen, vain noin 4 prosenttia Suomen kokonaisenergiankulutuksesta sekä 6 prosenttia kasvihuonekaasupäästöistä. Rakennusmateriaalien valmistuksen osuus on ympäristövaikutuksiltaan rakentamisvaiheen osatekijöistä merkittävin, mutta sen tarkkaa osuutta on tilastoinnin puutteen vuoksi erityisen vaikea arvioida. (9, s.26-27)

Olemassa olevan tiedon perusteella voidaan kuitenkin todeta, että rakennusmateriaalien valinnalla voidaan vaikuttaa rakennuksen elinkaaren mittaiseen ekologisuuteen. Ulkovaipan rakenteiden tiivistyessä ja rakennusten yleisen energiatehokkuuden parantuessa yhä suurempi suhteellinen osuus rakennuksen hiilijalanjäljestä muodostuu käytettyjen rakennusmateriaalien valmistuksesta ja kuljetuksista. Karkeasti yleistäen voidaan todeta, että mitä painavampi materiaali, sitä mittavammat ovat sen elinkaaren aikana muodostuvat ympäristövaikutukset. (11)



Rakennusmateriaalin hiilijalanjälki muodostuu sen elinkaaren aikaisesta käsittelystä ja kuljetuksesta (11).

2.6 Rakennusten loppukäytön aikainen energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt

2.6.1 Rakennusten energiankulutus

Suomessa rakennukset kuluttavat loppukäytön aikana energiaa pääasiassa kahdella tavalla: lämmitys- ja sähköenergiana. Jäähdytyksen merkitys on toistaiseksi pieni, mutta kasvamassa. Lämmitysenergiasta suurin osa kuluu tilojen, ja lähes yhtä suuri osa ilmanvaihtoilman lämmittämiseen. Lisäksi pienempi määrä energiaa kuluu käyttöveden lämmittämiseen. Ulkovaipan rakenteiden tiivistyessä tiukentuneiden energiamäärysten seurauksena sisäilmalta kaivataan tyypillisesti tehokkaampaa ilmanvaihtoa, mikä puolestaan kasvattaa entisestään ilmanvaihdon energiankulutusta. Toisaalta yleistyvä lämmön talteenotto pienentää energiahäviöiden määrää, mutta lisää hieman rakennusten kuluttaman sähköenergian osuutta. (9, s.22-25)

Yleisesti ottaen rakennukset kuluttavat lämmitysenergian lisäksi yhä suuremman määrän sähköenergiaa. Pääasiassa sähköä kuluu kuluttajalaitteiden, kuten kodinkoneiden ja viihde-elektroniiikan, sekä työnteossa tarvittavien laitteiden, esimerkiksi tietokoneiden ja tutkimusvälineiden, käyttöön. Valaistuksen ja talotekniikan sähkönkulutus on ennen kaikkea asuinrakennuksissa merkittävästi pienemmässä roolissa. (9, s.22)

Jäähdytys on toistaiseksi suomalaisittain marginaalinen tekijä rakennusten energiankulutusta tarkasteltaessa, mutta kasvaa jatkuvasti käyttäjien vaatimustason sekä määräysten kiristyessä. (9, s.23) Astanassa kuumat kesät sen sijaan tekevät myös jäähdytyksestä merkittävän osan rakennusten energiankulutusta.

Rakennusten energiantarve ja sen kattaminen (9, s.42).
Lämpöhäviöiden määrää vähentämällä voidaan pienentää rakennuksen nettoenergian tarvetta.



2.6.2 Lämmöntuotanto ja kasvihuonekaasupäästöt

Kasvavan energiankulutuksen yhteiskunnassa käytetyn energian tuotantotavoilla on yhä enemmän merkitystä. Uusiutuvien energialähteiden suosimisella ja energiantuotantoteknologian kehittämällä voidaan vaikuttaa ennen kaikkea rakennetun ympäristön kasvihuonekaasupäästöjen määrään.

Yksittäisen rakennuksen lämmitysmuodon valintaan vaikuttavat muun muassa sen sijainti ja käyttötarkoitus (9, s.19). Lähes kaikki suomalaiset asuinkerrostalot sekä suurin osa taajamissa sijaitsevista liike- ja julkisista rakennuksista ovat kaukolämmön piirissä. Kaukolämmön tuotannossa uusiutuvia energiamuotoja käytetään noin 15 prosentin osuudelle. Loput 85 prosenttia suomalaisesta kaukolämpöenergiasta tuotetaan polttamalla maakaasua, kivihiiltä, turvetta ja erilaisia puupolttoaineita. (9, s.39-40) Kaukolämmitys on sitä taloudellisempaa, mitä suuremmista rakennuksista ja tiheämmin rakennetusta alueesta on kyse. Ekologisimmillaan kaukolämpö syntyy sähköntuotannon yhteydessä tai erilaisten teollisten prosessien jätelämpönä. (12)

Etenkin taajamien ulkopuoliset liike- ja julkiset rakennukset lämmitetään Suomessa toistaiseksi vielä useimmiten öljyllä, vaikka sen osuus ensisijaisena lämmitystapana onkin viime vuosina ollut pienenemään päin. Toisaalta perinteisen öljylämmityksen rinnalle ovat tulleet erilaiset hybridilämmitystavat, joissa öljylämmityksen rinnalla hyödynnetään vuodenajasta riippuen esimerkiksi aurinkoenergiaa ja ilmalämpöpumppuja, sekä ekologiset ja uusiutuvat bioöljyt. (9, s.22)

Sähkölämmitys on yleistä pienemmissä liike- ja julkisissa rakennuksissa, useissa omakoti- ja rivitaloissa sekä vapaa-ajan rakennuksissa. Vaikka sähkölämmityksen rinnalla onkin tarjolla lukuisia vaihtoehtoja, on sen merkitys jopa kasvussa peruslämmön käytön yleistyessä loma-asunnoissa talvikaudella. Pientalorakentamisessa taas hyödynnetään enenevässä määrin maalämpöä. Rakennuskohtaisella järjestelmällä voidaan lämmittää ekologisesti niin rakennuksia kuin niiden käyttövätkin, ja rakennuksen koon kasvaessa myös järjestelmän taloudellisuus kasvaa. Puun käyttö pientalojen päälämmitysmuotona on vähenemässä, mutta menettää tuskin koskaan merkitystään toissijaisena lämmityspolttoaineena esimerkiksi takoissa ja saunojen kiukaissa. (9, s. 20)

2.6.3 Sähköntuotanto ja kasvihuonekaasupäästöt

Kulutuksen kasvaessa myös kestävien sähköntuotantotapojen merkitys kasvihuonekaasupäästöjen määrän rajoittamisessa korostuu. Suurin osuus, vuonna 2015 hieman vajaat 34 prosenttia, suomalaisesta sähköenergiasta tuotettiin ydinvoimalla. Uusiutuvien energialähteiden osuus sähköntuotannosta oli viime vuonna noin 45 prosenttia, mutta osuudet vaihtelevat vuosittain riippuen muun muassa ruotsalaisen ja norjalaisen vesivoiman tarjonnasta. (13)

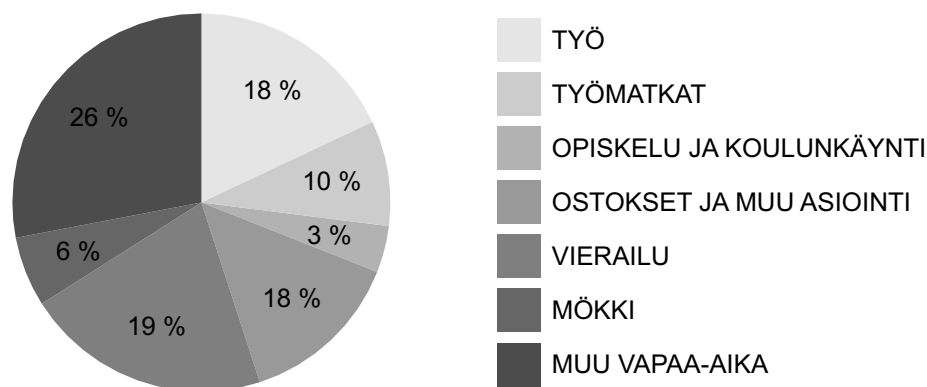
Maailmanlaajuisesti ydinvoiman osuus sähköntuotannosta on merkittävästi suomalaista keskiarvoa pienempi, vuonna 2014 vain noin 11 prosenttia. Uusiutuvien energialähteiden osuus oli samana vuonna noin 29 prosenttia sähköenergian kokonaismäärästä ympäristöä runsaasti kuluttavien fossiilisten polttoaineiden kattaessa tuotannosta peräti 61 prosenttia. (14)

2.7 Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt

Vaikka liikenteen osuus suomalaisesta kokonaisenergiankulutuksesta onkin rakennusten loppukäytön kuluttamaan energiaan verrattuna maltillinen, ovat liikenteen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ja ennen kaikkea ajoneuvojen tuottama hiilidioksidi merkittävä ilmastokatastrofin edistäjä. 91 prosenttia liikenteen energiankulutuksesta sekä lähes yhtä suuri osuus sen tuottamista päästöistä on peräisin tieliikenteestä, ja edelleen pääasiallisesti henkilöautoliikenteestä. (9, s.28)

Liikenteen päästövaikutuksia arvioidaan muun muassa liikennesuoritteen avulla (9, s.55). Käsitteellä tarkoitetaan tapauskohtaisesti esimerkiksi tietyn ajoneuvotyypin tai sen osajoukon ajamaa kilometrimäärää aikayksikössä. Tarkasteluajanjaksona käytetään yleisimmin yhtä vuotta. (15) Liikennesuoritteen lisäksi päästömääriin vaikuttaa paitsi kulkumuotojakauma, myös ajoneuvoteknologian kehitys sekä uusiutuvien polttoaineiden käyttöönotto. Suomessa peräti 80 prosenttia kokonaissuoritteesta muodostuu henkilöautoliikenteestä, mikä tarkoittaa lukumäärällisesti noin 60 prosenttia kaikista kuljetuista matkoista. Loput matkat taitetaan joko joukkoliikenteen avulla, jalkaisin tai pyöräillen. Vaikka yksittäisen henkilöauton tuottamat päästöt tulevatkin teknologian kehityksen ja autokannan uudistumisen myötä todennäköisesti vähenemään, kompensoi kokonaisliikennemäärien kasvu saavutettuja päästöhyötyjä. (9, s.55)

Pohjimmiltaan kaikki liikenne on seurausta eri toimintojen välisestä yhteystarpeesta (16, s.169). Asumisen, palveluiden ja työnteon tai opiskelun lisäksi liikennettä syntyy monipuolisesti vapaa-ajan vieton sekä virkistäytymisen seurauksena (9, s.31). Toimintojen keskinäisellä sijoittelulla voidaan vaikuttaa liikkumistarpeen syntyyn sekä kulkutavan valintaan. Kestävän kehityksen mukaisen kaupunkisuunnittelun periaatteet suosivat tiivistä ja monimuotoista kaupunkiympäristöä, jossa päivittäinen liikkuminen on mahdollista suorittaa kävellen, pyöräillen tai joukkoliikennettä hyödyntäen. (16, s.169)



Matkasuoritteiden jakautuminen matkojen tarkoituksen mukaan Suomessa vuonna 2011 (17, s.19).

Henkilöautoliikenteen päästövaikutukset ovat riippuvaisia muun muassa ajoneuvoteknologian kehittymisestä, sähköautoistumisesta sekä biopolttoaineiden lisääntyvästä käyttöasteesta. Sitran teettämässä Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasut -selvityksessä päästökehitystä ennustettiin hyödyntämällä erilaisia skenaarioita, joissa tekijöiden oletettiin kehittyvän eriasteisesti. Skenaariokohtaisesti vaihtelivat muun muassa sähköautojen osuus tulevasta autokannasta, biopolttoaineiden käyttöosuus suhteessa uusiutumattomiin polttoaineisiin sekä liikennemuotojakauman kehitys. Runsas biopolttoaineiden käytön odote saattaa toisaalta myös vääristää ennusteita, koska tulkintatavasta riippuen niiden aiheuttamat päästöt voidaan liikenteen sijaan lukea myös osaksi maatalouden päästövaikutusta, jolloin näennäinen vaikutus liikenteen päästövähennyksiin olisi todellisuutta optimistisempi. (9, s.57)

Myös kuluttajien mieltymykset vaikuttavat henkilöautoliikenteen päästökehitykseen. Erityisesti uusien dieselkäyttöisten autojen ominaiskulutus ja -päästöt kasvoivat Suomessa vuosituhannen alusta vuoteen 2007 mennessä kuluttajien valitessa yhä suurempia ja tehokkaampia autoja. (9, s.57) Vuoden 2008 alussa Suomessa astui voimaan autoverouudistus, jonka mukaan vuoden 2001 aikana tai jälkeen käyttöön otettujen autojen verotus alkoi määräytyä päästöperusteisesti (18), minkä jälkeen tilanne suosittujen automallien suhteen kääntyi pääläelleen (9, s.57). Taloudelliset sanktiot ovatkin usein tehokas keino muokata kuluttajien tottumuksia ekologisempaan suuntaan.

2.8 Muut kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajat

Teollisuus on kokonaisenergiankulutuksen sekä kasvihuonekaasupäästöjen kannalta merkittävä tekijä. Rakennetun ympäristön osuus liittyy pääasiassa teollisuusrakennusten lämmitykseen sekä kiinteistö­sähkön kulutukseen. Suomalaisittain kolme eniten kuluttavaa teollisuudenalaa: massa- ja paperiteollisuus, kemian-teollisuus sekä metallien jalostus tuottavat neljä viidesosaa kaikesta teollisuuden energiankulutuksesta sekä kasvihuonepäästöistä. Tässä kohdassa ei huomioida rakennusteollisuutta eikä kotimaista rakennusaineiden tuotantoa, koska ne on sisällytetty rakennetun ympäristön osuuteen. (9, s. 32-33)

Edellisten lisäksi maa- ja metsätalous, palvelut sekä muu julkinen sähkönkulutus ja kotitalouksien polttoaineenkulutus tuottavat osan päästöistä ja energiankulutuksesta. Näistä suurin yksittäinen tekijä on maa- ja metsätalous, ja edelleen ennen kaikkea maanviljely ja eläintenhoito. Julkinen sähkönkulutus käsittää muun muassa tie- ja katuvalaistuksen, jonka osuus kokonaiskulutuksesta perustuu alueellisten valaisinmäärien perusteella tuotettuihin arvioihin. (9, s. 34-36)

Sähkön- ja lämmöntuotannon sekä -kulutuksen välisessä siirtovaiheessa muodostuu väistämättä energiahäviöitä. Sähkönsiirron häviöt ovat Suomessa vakiintuneet noin vajaan viiden prosentin suuruusluokkaan. Kaukolämmön siirtohäviöt ovat sen sijaan 90-luvun alusta kasvaneet parilla prosenttiyksiköllä noin kymmenen prosentin suuruusluokkaan. Kasvu selittyy ainakin osin kaukolämpöverkoston laajenemisella, koska pidempien putkistojen myötä myös potentiaalisten lämpöhäviöiden riski suurenee. (9, s. 37)

3.1 Energiatehokkuuden kehitysmallit

Uudisrakentamisen merkittävä osuus Astanan rakennustuotannossa antaa kaupungille esimerkiksi Helsinkiin nähden etumatkaa rakennusten energiatarkastelussa. Korjausrakentamisessa päästään harvoin ekotehokkuuden suhteen samalle tasolle kuin uudisrakentamisessa.

Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt –selvityksessä esitetyn arvion mukaan noin neljäsosa Suomessa tällä hetkellä olemassa olevasta rakennuskannasta tullaan purkamaan vuoteen 2050 mennessä, ja samalla vanhat rakennukset korvataan uudistuotannolla. Asukasmäärien kasvu ja hajautuminen uusille alueille, väestörakenteen muutos sekä lisääntyvä palveluiden tarve ovat lisäksi johtaneet noin 30 prosentin lisärakentamistarpeeseen. Uudistuotannon yhteenlaskettu osuus rakennusteollisuudesta on tulevana vuosikymmeninä noin 40 prosenttia. Vanhoja rakennuksia myös korjataan jatkuvasti kiihtyvällä tahdilla. Uuden rakennuksen rakentaminen energiatehokkaaksi on kuitenkin yksinkertaisempaa kuin vanhan korjaaminen vastaavat kriteerit täyttäväksi. (9, s.44)

Nyky aikaisten energiamääräysten noudattaminen uudistuotannossa johtaa väistämättä rakennuskannan keskimääräisen energiankulutuksen laskuun. Mikäli kaikki uudistuotanto toteutettaisiin vallitsevien määräysten mukaisesti, eikä vanhaa rakennuskantaa korjattaisi lainkaan ekologisemmaksi, olisi saavutettu energiansäästö Suomessa noin 4 prosentin luokkaa. Kasvihuonepäästöjen osalta päästäisiin 54 prosentin alennukseen. Jos taas uudisrakentamisen ohella kaikki olemassa olevat rakennukset korjattaisiin vastaamaan nykyaikaisia rakennusmääräyksiä, voitaisiin saada aikaan 24 prosentin säästöt energiankulutuksessa. Realistisesti voidaan kuitenkin odottaa, että kokonaissäästö aiemmin esitetyillä tuotanto-osuuksilla voisi olla noin 16 prosenttia. Tässä tapauksessa normaalin korjaustoiminnan yhteydessä uusittavien rakennusosien energiankulutus pyritään vähentämään noin puoleen. Samassa tapauksessa voidaan kasvihuonekaasupäästöjen suhteen saavuttaa peräti 94 prosentin vähennys. (9. s. 49-53)

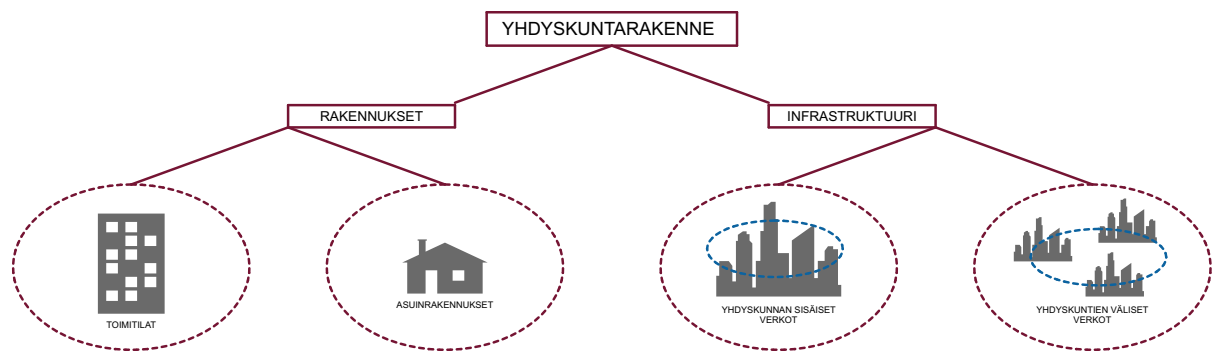
3.2 Energiahuoltoratkaisujen merkitys

Energiahuolto tarkoittaa energiantuotannon, -siirron ja -jakelun muodostamaa kokonaisuutta, jolla katetaan rakennetun ympäristön energian- eli käytännössä sähkön ja lämmön tarvetta. Rakennetun ympäristön energiatehokkuudella on merkittävä rooli tulevaisuuden päästövähennystavoitteiden toteutumisessa. Energiahuoltoratkaisujen vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin arvioitiin Sitran teettämässä selvityksessä jälleen erilaisten skenaarioiden avulla. Ennusteet esimerkiksi ydin- ja tuulivoiman sekä biopolttoaineiden käyttöönotosta, energiatarpeen kehittymisestä sekä valittujen toimien onnistumisesta vaihtelevat skenaariokohtaisesti. Vaihtoehtojen tavoitteena onkin ollut luoda realistinen kuva tulevaisuuden energiankäytön ja kasvihuonekaasupäästöjen määrällisen kehityksen epävarmuudesta. (9, s59-60) Ennusteiden välisistä ristiriidoista huolimatta kaikille skenaarioille yhteistä on uusiutuvien energiamuotojen käyttöönotosta ja teknologian kehittymisestä johtuva merkittävä kaukolämmön ja sähköntuotannon päästöjen vähentyminen vuoteen 2050 mennessä. (9, s.67-68)

4. Yhdyskuntarakenteen vaikutus energiatehokkuuteen

4.1. Yhdyskuntarakenteen käsite

Fyysinen yhdyskuntarakenne jakautuu kahteen osaan: rakennuksiin ja perusrakenteisiin. Rakennukset voidaan käyttötarkoituksensa perusteella luokitella joko asuin- tai palvelurakennuksiksi. Pääluokat jakautuvat pienempiin ryhmiin edelleen esimerkiksi toiminnan tarkemman luonteen tai pysyvyyden perustella. Perusrakenteet sen sijaan ovat eriasteisia verkostoja, jotka voidaan karkeasti hahmottaa kahdessa eri mitataavassa: aluerakenteelliselle tasolle kuuluvat yhdyskuntien väliset verkot; yhdyskuntarakenteellinen taso puolestaan käsittää yhdyskuntien sisäiset verkot. Modernissa yhdyskuntarakenteessa erilaisia verkkoja löytyy ainakin viisi kappaletta. Liikenne- ja viherverkostot ovat näkyvä osa fyysistä kaupunkirakennetta, mutta näiden lisäksi omat verkostonsa syntyvät veden, energian ja tiedon liikkussa. Yhdyskuntarakenteen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin tarkoittaa sitä määrää hiilidioksidiekvivalenttitonneja, joka syntyy yhdyskuntien fyysisten rakenteiden tuottamisesta, käytöstä sekä yhdyskuntarakennetta käyttävien henkilöliikenteestä. (9, s.73-74)



Fyysinen yhdyskuntarakenne koostuu rakennuksista ja perusrakenteesta eli infrastruktuurista (9, s 73).

4.2 Yhdyskuntarakenteen vaikutusten arvioinnin työkalut

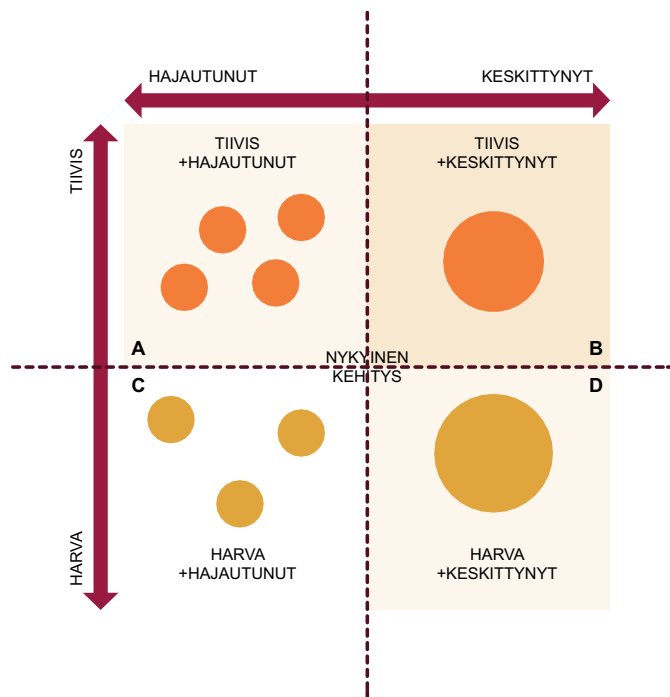
Sitran teettämässä selvityksessä yhdyskuntarakenteen vaikutusta rakennetun ympäristön energiatehokkuuteen ja kasvihuonekaasupäästöihin arvioitiin kahden erilaisen, Suomessa toteutetun hankkeen pohjalta. Ensimmäinen oli ympäristöministeriön, liikenne- ja viestintäministeriön sekä työ- ja elinkeinoministeriön yhdessä rahoittama selvitys "Kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt, kehitysvertailuja 2005 -2050". Tutkimuksen tavoitteena oli muodostaa yhdyskuntien realistisiin kehitysvaihtoehtoihin perustuva arvio kaupunkirakenteen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä, sekä päästöjen vähentämisen mahdollisuuksista vuoteen 2050 mennessä. Tarkastelun kohteena käytettiin 34 Suomen suurinta kaupunkiseutua. (9, s.70)

Jälkimmäinen hanke oli Suomen ympäristökeskuksen, Tampereen teknillisen yliopiston sekä Aalto-yliopiston yhteistyössä toteuttama Urban Zone -tutkimusprojekti, joka valmistui syksyllä 2010. Hankkeessa tarkasteltiin yhdyskuntarakenteen vyöhykkeisyyttä sekä siihen pohjaavaa liikkumiskäyttäytymistä, ja arvioitiin valittujen tekijöiden ympäristövaikutuksia. (9, s.71)

4.3 Kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt, kehitysvertailuja 2005 -2050

4.3.1 Hankkeen sisältö

”Kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt, kehitysvertailuja 2005 -2050” -hankkeessa kaupunkiseutujen tulevaisuutta tarkasteltiin erilaisten, kaupunkirakenteiden tiivistymiseen tai hajautumiseen keskittyvien skenaarioiden suhteen. Perusuran skenaariossa kehityksen oletettiin jatkuvan nykyisenlaisena; vaihtoehtoiset kehitysurat vaativat muutoksia yhdyskuntien laajenemisperiaatteissa. Tutkimuksessa vertailtiin keskenään useaan pienempään yksikköön hajautunutta tai pääosin yhteen suurempaan taajamaan keskittynyttä asutusta, nykyrajojen sisäpuolelle laajenevia tai pinta-alaltaan kasvavia taajama-alueita sekä edellisten kombinaatioita. (19, tiivistelmä)



Kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt, kehitysvertailuja 2005-2050 -hankkeessa käytetyt kaupunkialueiden laajenemisen skenaariot (9, s.75).

4.3.2 Liikenne

Kaupunkialueiden laajenemista mallinnettiin yhtenäisellä periaatteella, jossa kasvusuuntien oletettiin toteutuvan alueiden saavutettavuuden mukaisesti siten, että parhaiten saavutettavat alueet hyödynnetään ensimmäisinä, minkä jälkeen rakentamista jatketaan muiden alueiden saavutettavuusjärjestyksessä. Saavutettavuuden mittarina toimii alueen sijainti suhteessa liikenneverkkoa pitkin kuljettaviin etäisyyksiin lähimmistä keskuksista sekä niiden koosta. (9, s.75) Aluekohtaisen saavutettavuuden avulla arvioitiin toimintojen välisten etäisyyksien vaikutusta liikennesuoritteiden määrään ja kulkutapajakaumaan. (9, s.77)

Liikenne- ja viestintäministeriön vuoden 2010 ennusteen mukaan henkilöautoliikenteen suorite kasvaa Suomessa vuoteen 2050 mennessä noin 37 prosenttia (20, s.50). Hallituksen tulevaisuusselonteossa vastaava luku oli 33 prosenttia. (9, s.77) Henkilöautoliikenteen suorite lienee suurin yksittäinen tekijä, johon voidaan vaikuttaa yhdyskuntasuunnittelun keinoin päästöjä alentavasti.

Vaikka suurin osa vapaa-ajan liikenteestä onkin luonteeltaan satunnaista, on sen merkitys kokonaisliikennesuoritteeseen nähden huomattava yksittäisten matkojen ollessa pituudeltaan usein jopa satoja kilometrejä. Yhdyskuntarakeella ei sen sijaan ole suoraviivaista yhteyttä vapaa-ajanliikennesuoritteeseen. (9, s.78) Tavara-liikenteen osuus liikenteen päästöistä ja energiankulutuksesta on puolestaan noin 35 prosenttia (21, s.128), mutta koska tavaraliikenne sijoittuu suurimmaksi osaksi kaupunkien ulkopuolelle, ei se näin ollen ole juurikaan riippuvainen yhdyskuntarakenteen tiiviyydestä. (9, s.78)

4.3.3 Fyysinen rakenne

Rakennusten päästöjen arvioinnissa käytettiin laskentamallia, jonka lähtökotana toimi yhdyskuntarakennetyyppeihin perustuva, neliportainen luokitus. Kaikkien tarkasteltavien kaupunkialueiden jokainen neliökilometrin kokoinen alue jaoteltiin selvitystä varten korkean, keskitason tai matalan tehokkuuden alueisiin tai haja-asutusalueisiin. Erilaisille alueille määriteltiin tyypillinen rakennustapa, joka käsittää käytännössä erilaisten talotyyppien suhteellisen jakauman. Laskentamallia varten jokaiselle talotyypille on lisäksi arvioitu rakentamisen ja käytön aikaiset ominaispäästöluvut, jotka perustuvat pitkälti nykyiseen rakennustapaan ja rakennusten käyttöön. Tiukentuvien energiamääräysten seurauksena arvioon kuitenkin sisällytettiin myös olemassa olevan rakennuskannan peruskorjaamisesta aiheutuvat arvioidut päästömäärien vähennykset. Jaottelun perusteella on tutkittu yhdyskuntarakenteellisen sijainnin merkitystä alueelliseen rakennustehokkuuteen ja talotyyppivalintoihin, sekä edelleen näiden vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöjen määriin. (9, s.76)

Nykymallin mukaiseen kaupunkikehitykseen pohjautuvassa ennusteessa energiamääräysten tiukentaminen johtaisi lähestulkoon suomalaisen rakennuskannan suhteellisen kokonaisenergiankulutuksen puolittumiseen ilman yhdyskuntarakenteeseen kohdistuvia erityistoimenpiteitä. Väestönkasvusta, muuttoliikkeestä ja asumisväljyyden lisääntymisestä johtuva rakennuskannan kasvu kuitenkin jossain määrin kompensoi energiatehokkaalla rakentamisella saavutettuja ympäristöhyötyjä niin rakennus- kuin käyttövaiheessakin. Rakennusten määrän lisääntyessä myös perusrakenne ja liikennemäärät ovat noususuuntaisia, mikä edelleen heikentää saavutettuja ilmastohyötyjä. Perusuran kaupunkikehitysskenaariossa yhdyskuntarakenteen aiheuttamat kasvihuonepäästöt pienenisivät kokonaisuudessaan noin 26 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. (9, s.78)

Tutkimuksen tulokset osoittivat selkeästi, että yhdyskuntarakenteen muutoksilla voidaan tiivistämisen tai harventamisen sekä keskittämisen tai hajauttamisen keinoin vaikuttaa rakennetun ympäristön kasvihuonekaasupäästöihin. Ilman kaupunkikehityksen muutoksia tai rakennuskannan energiatehokkuuteen vaikuttavia toimenpiteitä päästöt kuitenkin kasvaisivat merkittävästi vuoteen 2050 mennessä. Yksinomaan rakennusten energiatehokkuutta parantamalla saavutettaisiin päästötaso, joka olisi noin puolet tästä vaihtoehdosta. Yhdyskuntarakenteen muutokseen kohdistuvat toimenpiteet joko lisäisivät tai vähentäisivät pelkällä rakennusten energiatehokkuuden parantamisella saavutettua päästötasoa. Tutkimuksen perusteella ilmaston kannalta edullisimmaksi osoittautui malli, jossa yhdyskuntarakennetta sekä tiivistettäisiin että keskittäisiin kohti isoja yksiköitä, minkä lisäksi edellä mainittuja kehityssuuntia vahvistettaisiin erikseen valittavilla lisätoimenpiteillä. (9, s.84)

4.4 Urban Zone

4.4.1 Hankkeen sisältö

2000-luvun Suomessa urbanisoituminen on yhä enenevässä määrin ajanut väestöä pienistä kunnista kaupunkeihin. Alueellisesti vaihteleva väestönkehitys asettaa erilaiset kaupunkiseudut hyvin eriarvoisiin asemiin tarkasteltaessa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen mahdollisuuksia. Muuttovoittoalueilla kaupunkisuunnittelulliset haasteet muodostuvat lähinnä kasvun ohjaamisesta olemassa olevan yhdyskuntarakenteen sisälle. Väestötappioalueilla kyse on puolestaan harvenevan yhdyskuntarakenteen ekologisten haittavaikutusten minimoimisesta. (22, tiivistelmä)

Erlaisilla alueilla myös liikkumisen mahdollisuudet poikkeavat merkittävästi toisistaan. Urban Zone –tutkimushankkeen mukaisessa vyöhykemallissa kaupunki jaettiin pääasiallisten liikkumistapojen perusteella jalankulku-, joukkoliikenne- ja autovyöhykkeisiin, joiden avulla arvioitiin yhdyskuntarakenteen vaikutuksia liikkumistapavalintoihin ja henkilöliikenteen hiilidioksidipäästöihin (22, tiivistelmä).

4.4.2 Liikenne

Päästöjen kannalta olennainen tekijä on henkilöautoliikenteen määrä suhteessa kokonaisliikennesuoritteeseen. Tutkimuksessa todettiin kapunkikeskustan läheisyyden ja kattavan joukkoliikennetarjonnan vaikuttavan positiivisesti yksilön liikkumistapavalintoihin. Myös joukkoliikenteen laadulla todettiin olevan merkitystä: raideliikenne näyttäisi kasvattavan joukkoliikenteen käyttöaktiivisuutta merkittävästi myös hyvän joukkoliikenteen vyöhykkeillä. (9, s. 88)

Väestön ikä- ja elämänvaihejakoumassa on havaittavissa vyöhykekohtaisesti selkeitä eroja. Jalankulkuvyöhykkeellä asuu muihin aluetyyppeihin verrattuna selkeästi enemmän yksin asuvia, vanhuksia sekä opiskelijoita; kehyskunnissa puolestaan asuu keskimääräistä enemmän lapsiperheitä. Tietty väestötyyppi ei tutkimuksen mukaan kuitenkaan selitä aluekohtaisia liikkumistapaeroja: saman demografisen ryhmän edustaja liikkuu ja kuluttaa keskimäärin eri tavalla asuessaan eri vyöhykkeillä. (9, s.89)

Työpaikkojen ja palveluiden sijainti yhdyskuntarakenteessa on yksi merkittävä tekijä tarkasteltaessa liikkumisen aiheuttamia päästöjä ja energiankulutusta. Liikkumistarpeen vähentämisen kannalta ihanteellista olisi sijoittaa suuret tai pitkälle erikoistuneet, runsaasti asiointiliikennettä aiheuttavat työpaikat ja palvelut kaupunkiseutujen ydinalueille hyvien joukkoliikennedyhteyksien ulottuville. Vastaavasti pienemmille paikkakunnille ja kaupunkiseutujen alakeskuksiin tulisi sijoittaa runsaasti erikoistumattomia työpaikkoja ja palveluja. Kattavat kevyen liikenteen reitit keskusten yhteydessä mahdollistavat joustavan liikkumisen jalan tai polkupyörällä. Jalkaisin taitetuista työmatkoista suurin osa tehdään suurten ja keskisuurten kaupunkien keskusta-alueilla sekä niiden läheisyydessä. Polkupyörän käyttö työmatkaliikenteessä on yleisintä pienten ja keskisuurien kaupunkien keskustaajamissa. (9, s. 91)

Vapaa-ajan liikenteen osalta yhdyskuntarakenteellinen työkalupakki päästöjen rajoittamiseen on suhteellisen niukka. Suurin osa vapaa-ajan matkoista tehdään henkilöautolla johtuen muun muassa matkojen ajoittumisesta viikonloppuihin, jolloin julkisen liikenteen tarjonta on yleensä heikkoa. Uusien vapaa-ajan kohteiden sijoittelussa tulisikin huomioida joukkoliikenteen käyttömahdollisuudet. (9, s.91)

4.5. Tulosten merkitys

Mainittujen hankkeiden tulokset osoittavat yhtenevästi, että yhdyskuntarakenteen vaikutus kasvihuonekaasupäästöjen määrään on merkittävä, minkä seurauksena tehokkaalla yhdyskuntarakenteen muutoksen ohjaamisella voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä (9, s.71). Olennaista on ymmärtää, että huolimatta teknologian kehityksen merkityksestä päästöjen vähentämisessä, ei yksinomaan teknisillä innovaatioilla voida saavuttaa kansainvälisesti tavoiteltuja päästövähennyksiä. Yhdyskuntarakenteen kehittämällä voidaan kuitenkin vahvistaa teknologian kehityksestä seuraavia päästövähennyksiä. (9, s.86)

Yhdyskuntarakenteen vaikutuskirjo rakennetun ympäristön energiankulutukseen ja kasvihuonekaasupäästöihin on hyvin monimuotoinen. Suoraviivaisimmillaan yhdyskuntarakenteella voidaan vaikuttaa esimerkiksi toimintojen välisiin etäisyyksiin, ja edelleen välimatkoista syntyvään liikkumisen tarpeeseen. Monisyisemmälle tasolle päästään, kun tarkastellaan vaikkapa yhdyskuntarakenteen vaikutusta alueellisesti valikoituviin talotyyppeihin, sekä niiden indusoimiin elämäntapoihin ja sitä kautta muun muassa liikennemuodon valintaan. (9, s.70)

Yksinomaan päästöjen kannalta merkittävin vaikutus yhdyskuntarakenteella lienee liikkumisen ja kuljetusten määrään sekä valittuihin kulkutapoihin (9, s. 70). Kohtuulliset välimatkat asumisen ja työn tai palvelujen välillä mahdollistavat kävelyn tai polkupyörän käytön jokapäiväisessä liikkumisessa, mutta kevyen liikenteen suosioon vaikuttavat myös kulkemisen vaivattomuus ja turvallisuus (9, s.70) sekä ympäristön viihtyisyys. Toimiva joukkoliikenne vähentää tarvetta henkilöautoiluun, mutta palvelun kannattava kehittäminen vaatii alueellisesti riittävän asukas pohjan riittävällä tiheydellä (9, s.70).

Alueen sisäisiin kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat muun muassa rakentamisen tehokkuus sekä valitut rakennustyyppit ja niihin mahdollisesti kytkeytyvät energiantuotantotavat. Alueen sijainti suhteessa olemassa olevaan kaukolämpö- ja joukkoliikenneverkostoon, tai mahdollisuus verkostojen ulottamiseen alueelle ovat riippuvaisia yhdyskuntarakenteen muodosta ja kustannussyistä myös rakennetun ympäristön tehokkuudesta. Suunnitteluvaihtojen vaikutukset näkyvät energiankulutuksessa ja päästöissä usein jo rakentamisvaiheessa, mutta viimeistään käytön aikana. (9, s.70)

Yhdyskuntarakenteen päästömäärien pienentämisen tueksi tarjoamien lääkkeiden käyttöönotto vaatii tehokasta ja järjestelmällistä, kaavoitusvaiheesta lähtevää suunnittelunohjausta. Keinojen toimivuus ei välttämättä edellytä niiden luonteelta sitovuutta. Tehokkaimmat tavat muutoksen aikaansaamiseksi lähtevät usein asukkaista, yrityksistä tai muista toimijoista itsestään. Jakamalla tietoutta esimerkiksi valintojen taloudellisista vaikutuksista luodaan tahtotila kehitymiselle. (9, s.85)

Vaikka muutokset yhdyskuntarakenteessa tapahtuvatkin hitaasti, ovat ohjaavien toimenpiteiden vaikutukset kauaskantoisia. Yhdyskuntarakenteen oikeanlaisella tiivistämisellä voidaan tehokkaasti vahvistaa myös muiden ilmastotoimenpiteiden vaikuttavuutta. (9, s.71)

5.1 Astana, Kazakstan

Kazakstan on pinta-alaltaan maailman yhdeksänneksi suurin valtio. Se sijaitsee Euroopan ja Aasian liittymäkohdassa, Euraasian mantereiden keskiosissa. (3) Valtio on huomattavan harvaan asuttu: Suomen väestötiheys on noin kolminkertainen Kazakstaniin verrattuna (luvut: 23, 24). Väkiluku on samaa tasoa Alankomaiden väkiluvun kanssa valtion pinta-alan ollessa noin 65-kertainen (luvut: 24, 25).



Suomen, Kazakstanin ja Alankomaiden väkiluvut suhteessa valtioiden pinta-alaan.

Astana on toiminut Kazakstanin pääkaupunkina vuodesta 1997, jolloin pääkaupunki siirrettiin presidentti Nursultan Nazarbayevin esityksen mukaisesti Almatysta silloiseen Akmolaan. Vuotta myöhemmin kaupunki nimettiin uudelleen Astanaksi, joka tarkoittaa kazakin kielellä pääkaupunkia. Siirtopäätöksen taustalla vaikutti uuden pääkaupungin tärkeä geopoliittinen sijainti paitsi valtion, myös koko mantereiden keskiosassa, sekä olemassa oleva kommunikaatio- ja liikenneverkosto. Sijainti oli lisäksi ihanteellinen nuorelle, kasvavalle pääkaupungille, sillä sitä ympäröivät rakentamattomat maa-alueet mahdollistivat kaupungin laajenemisen ja kehittymisen. (3)



Kuva 2: Astanan sijainti maailmankartalla.

5.2. Ilmasto ja kasvillisuus

Astana sijaitsee 347 metriä merenpinnan yläpuolella, ja siellä vallitsee äärimmäinen kontinentaalinen ilmastotyyppi. (2, s.8) Mannerilmastolle ominaista ovat suuret lämpötilavaihtelut: kesät ovat polttavan kuumia, talvet tuulisia ja kylmiä (26). Astana on maailman toiseksi kylmin pääkaupunki (2, s.9) heti Mongolian Ulan Batorin jälkeen ja ennen Venäjän Moskovaa. Helsinki on kylmimpien pääkaupunkien listalla neljäntenä. (27)

Kylmin Astanassa koskaan mitattu lämpötila on $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$ kuumimman ollessa $+42\text{ }^{\circ}\text{C}$; ääripäiden vaihteluväli on siis lähes $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Keskimääräinen lämpötila lämmityskaudella on $-8,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, ja lämmityskauden pituus on vuosittain 216-229 päivää. Mannerilmaston mukanaan tuomat kovet tuulet korostavat edelleen pakkasen kylmettävää vaikutusta: Astanassa on vuosittain 280-300 tuulista päivää, ja voimakkaimmat tuulet osuvat talvikaudelle. (2, s.9-10) Sademäärät sen sijaan pysyvät pitkin vuotta alhaisina. (26)

Lämpötilojen vaihtelu asettaa erityisiä haasteita ekologiselle rakentamiselle, sillä talvikauden lämmitystarvetta seuraa niin ikään rakennuksen energiankulutukseen vaikuttava kesäinen jäädytystarve. Oikeanlaisella eristämällä ja ilmanvaihdolla lämpö voidaan kuitenkin saada pysymään riittävässä määrin joko rakennuksen ulko- tai sisäpuolella.



Kuva 3: Laajat ja avoimet aroalueet ympäröivät Astanan kaupunkia (28).

5.3. Astanalainen arkkitehtuuri

Astana sijaitsee Kazakstanin keskiosissa, Ishim-joen varrella. Kaupungin vanha osa sijaitsee joen pohjoispuolella, mutta vuoden 1997 jälkeen uutta Astanaa on rakennettu pääasiassa joen eteläpuolelle. (29) Uusi Astana rakentui 10 vuoden kuluessa useiden ulkomaisten rakennusyhtiöiden toimesta, ja siitä muodostui nopeasti symboli Kazakstanin kehitykselle, luovuudelle ja edistykselle. Kaupungin yleiskaava on japanilaisen arkkitehdin, Kisho Kurokawan, käsialaa. Istuvan presidentin Nazarbayevin vision mukaisesti suunnittelussa yhdistettiin eurooppalaisia ja aasialaisia piirteitä, ja lopputuloksena kaupunki onkin ainutlaatuinen yhdistelmä itää ja länttä -ultramodernia arkkitehtuuria perinteisillä itämaisilla mausteilla. (3) Räjähdysmäisesti kasvanut Astana on nykyään Kazakstanin toiseksi suurin kaupunki vajaan miljoonan asukkaan väkiluvullaan (2, s.8).

Kaupungin nuoren kaupallisen ja hallinnollisen keskustan päänähtävyytenä voidaan pitää Nurzholin bulevardia –kolmatta kilometriä pitkää, vehreää jalankulkureittiä, joka johtaa presidentin virka-asunnolta, Mabetex -yhtymän rakennuttamalta Ak Ordalta, Norman Fosterin suunnittelemalle Khan Shatyr –viihdekeskukselle. Reitin varrella sijaitsee useita paikallisten ja kansainvälisten arkkitehtikuulusuuksien taidonnäytteitä, tunnetuimpana niistä Foster Partnersin suunnittelema Bayterek Monument, joka symboloi pääkaupungin siirtämistä Almatysta Astanaan. (30)



Kuva 4: Ak Orda

Kuva 5: Bayterek Monument

Kuva 6: Khan Shatyr

5.4 Maailmannäyttelyalue Astanassa

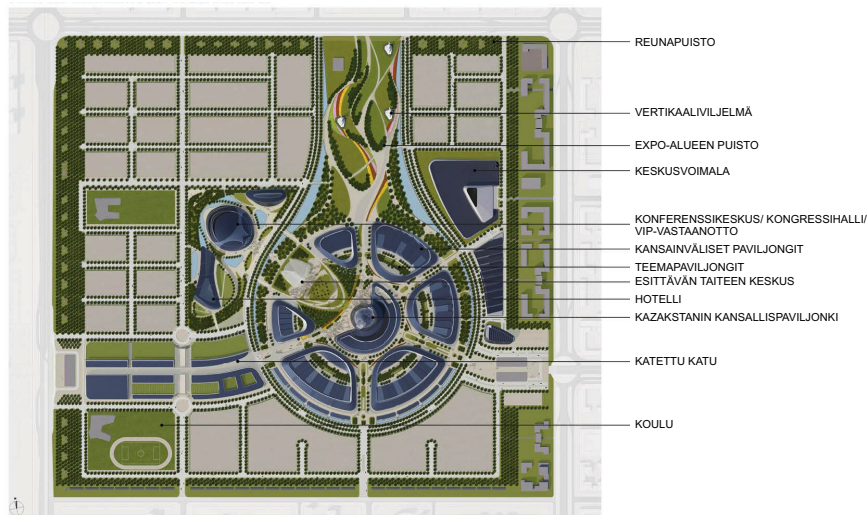
5.4.1 Alueen perustiedot

EXPO-alueen yleissuunnitelman on kansainvälisten projektien parissa työskentelevän, ekologiseen suunnitteluun ja kestäväan arkkitehtuuriin keskittyneen arkkitehtitoimisto Adrian Smith + Gordon Gill Architecture (AS+GG) käsialaa. (31) Hankkeen suunnittelijat valikoituivat kansainvälisen arkkitehtuurikilpailun kautta (32, s.11).



Kuva 7: Expo-alueen sijoittuminen suhteessa Astanan keskustaan. Kilometrien mittainen viherakseli liittää maailmannäyttelyalueen osaksi kaupunkia.

Maailmannäyttelyalue sijaitsee noin neljän kilometrin päässä Astanan keskustasta sekä vastakkaiseen suuntaan mentäessä lentokentästä, lähellä Nazabayevin yliopiston kampusaluetta. Alueen kokonaislaajuus on 173,4 hehtaaria, yleissuunnitelman mukainen rakennusala alueella tulee olemaan noin 250 000 m². Hanke on jaettu kolmeen alueeseen: varsinainen EXPO-alue rakentuu vihreän puistovyöhykkeen varrelle ja käsittää useita paviljonkeja, hotellin, esittävän taiteen keskuksen, katetun kauppakadun sekä kongressihallin. Toinen alue sisältää näyttelyn aikaiset majoitustilat. Kolmannelle alueelle toteutetaan varsinaisen EXPO-hankkeen jälkeen lisää asuntorakentamista. (2, s.11) Kilpailutyön suunnittelupaikka sijaitsee näyttelyvaiheen jälkeisellä täydennysalueella.



Kuva 8: Expo-alueen yleissuunnitelma.

5.4.2 Energiätehokkuuden konsepti

Parhailaan rakentuvasta maailmannäyttelyalueesta syntyy kokonaan uusi kaupunginosa kaupunkikeskustan läheisyyteen keskelle laajaa ja litteää rakentamatonta aluetta. Uudisrakentamisen myötä keskusta-alue laajenee etelään päin, mikä tuntuu ratkaisuna luonnolliselta muun muassa olemassa olevien lentokenttäyhteyksien johdosta. Uuden asuinalueen rakentaminen on myös ekologisesti perusteltu vaihtoehto, sillä se liittyy kaupungin reuna-alueiden pientaloalueet sekä yliopiston kampusalueen osaksi kaupunkirakennetta.

Mikäli alue on lähtökohtaisesti tarjonnut luonnon tai maastonmuotojen puolesta lähtökohtia suunnittelulle, ovat ne jääneet formalistisen yleissuunnitelman jalkoihin. Perusratkaisu muodostuu visuaalisesti suuresta pyöreästä keskuksesta, josta erkaantuu suorat akselit kahteen suuntaan. Geometrisia keskusaiheita ympäröivät alueet on jaettu ruutukaavahengessä asuinkortteleiksi.

Alue yhdistyy Nurzhol Bulevardiin massiivisen, useiden kilometrien mittaisen viherakselin välityksellä. Neljän kilometrin matka on vielä kohtuullinen ainakin polkupyörällä kuljettavaksi, mutta käytännössä alueelle sijoitettavat asumiseen oheistoiminnoilla on mahdollista tehdä alueesta palveluiden suhteen omavarainen. Asuinkortteleiden sisälle sijoitettavat kaupallisen toiminnan yksiköt tuovat niin työpaikat kuin palvelutkin ekologisen yhdyskuntarakenteen mallin mukaisesti lähelle asumista.

Alueen perusratkaisu on voimakkaasti vyöhykkeellinen. Ilmastotyyppin haasteisiin on pyritty vastaamaan muun muassa katetuilla ulkotiloilla ja voimakkaan tuulen häiritseviä vaikutuksia ehkäisevillä puskurivyöhykkeillä. Energiantuotannossa hyödynnetään uusiutuvia energiamuotoja, kuten aurinko- ja tuulienergiaa. Maailmannäyttelyalue on Astanan ensimmäinen täysin ekologisen kestävyyskonseptin pohjalta rakentuva kaupunkialue, ja sellaisenaan pääasiallisesti melko onnistunut.

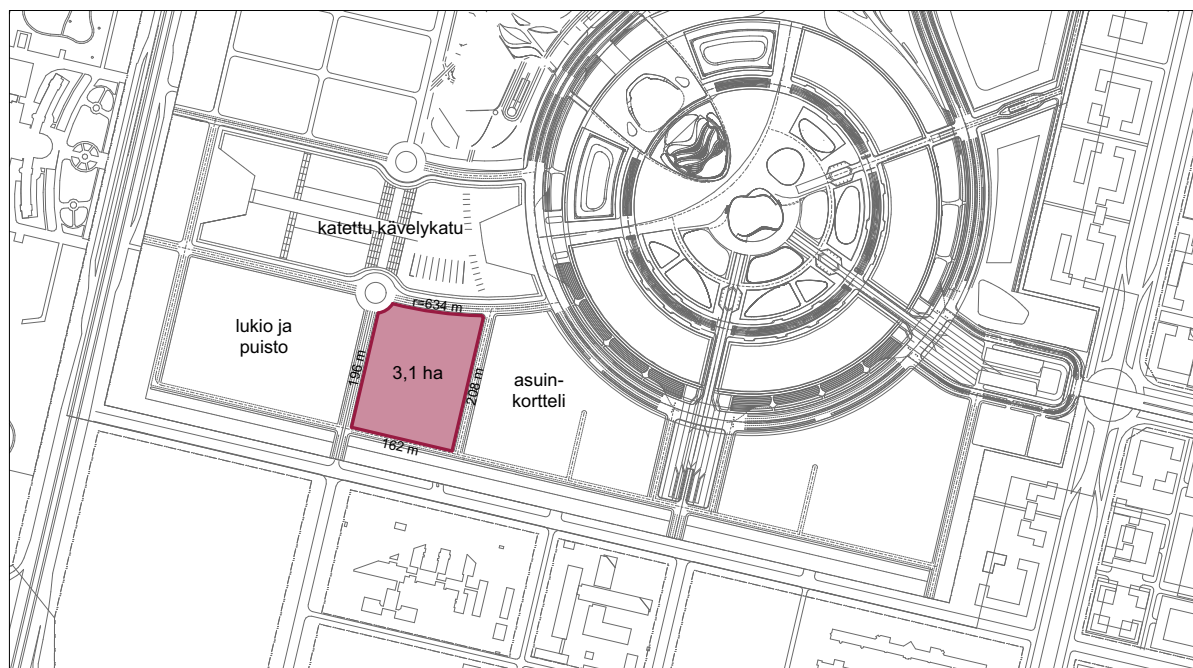
5.5 Suunnittelutehtävän yleiset vaatimukset

Suunnittelualue on kokonaispinta-alaltaan 3,1 hehtaaria, ja sinne toivottiin kilpailuohjelman mukaisesti sijoitettavan 10-12 asuinrakennusta. Ohjeellinen kerrosluku oli kuudesta kahdeksaan kerrosta. Asuinrakennusten kerrosalataavoite oli noin 31 000 m², jonka tuli sisältää myös asukkaiden käyttöön tarkoitettut pysäköintitilat (1ap/ asuinyksikkö). Asuntojen tavoitemäärä oli 320-250 kappaletta. (2, s.13) Tämän lisäksi suunnitelmaan sai vapaasti sisällyttää muita suunnittelijan olennaisiksi katsomia, toiminnallisia tiloja (33).

Rakennusten lisäksi tontille tuli sijoittaa lasten leikkialue, naapuruston yhteinen aukio tai aukioita, jotka voivat olla esimerkiksi pihoja, sisäpihoja, rakennuksiin integroituja ulkotiloja tai edellisten yhdistelmiä, puutarhamainen ulkoilualue, polkupyöräpysäköintipaikkoja yhdistettynä polkupyörien lainaustoimintaan sekä autoille vieraspysäköintipaikkoja maantasoon. Lisäksi suunnitelmasta tuli osoittaa paikka jätteenkeräysasemalle tai -asemille. (2, s.13)

Asuinrakentamisen ohella alueelle tuli suunnitella yhteisöllistä asumista tukevaa kaupallista toimintaa sekä muita suunnitelman luonteen kannalta olennaisia tiloja. Toiminnan laadussa tuli kuitenkin ottaa huomioon Astanan ilmasto-olosuhteet ja niiden asettamat rajoitteet. (2, s.13)

5.6 Suunnittelupaikan lähiympäristö



Suunnittelutontin mittasuhteet ja lähiympäristö.

Suunnittelualan eteläpuolelle rakentuu laaja puistovyöhyke, jonka ensisijainen tarkoitus on toimia puskurivyöhykkeenä aluetta ympäröivien moottoriteiden aiheuttamaa meluhaittaa vastaan. Samalla se suojaa aluetta talvikauden kovilta etelätuulilta. Puistovyöhyke on niin ikään osa EXPO-alueen kestävästä energiankäytön hallintasuunnitelmaa toimimalla osana luonnonmukaista myrskyvesien hallintaa sekä tarjoamalla alustan laajalle aurinkopaneeliverkostolle. (2, s.14)

Pohjoisreunaltaan tontti liittyy EXPO-alueen eteläisen osan katettuun kävelykatuun. Kattamisen ansiosta kadusta muodostuu miellyttävä asiointialue sääolosuhteista riippumatta. Sen varrelle sijoitetaan runsaasti erityyppisiä toimintoja: kauppoja ja toimistoja, kuntosali, taidegalleria sekä pysäköintipaikkoja. Katu toimii niin ikään linkkinä EXPO-alueen ja nopean liikenteen linja-autoaseman välillä. Rakennusten tuleva maksimikorkeus on 30 metriä. (2, s.14)

Tontin länsipuolelle on suunnitteilla noin kolmikerroksinen, 1200 oppilaan lukio sekä sitä ympäröivä puistomainen piha-alue. Itäpuoliseen kortteliin on suunnittelualan tavoin kaavoitettu asuntorakentamista. (2, s.14)

Kuva 9: Havainnekuva maailmannäyttelyalueen yleissuunnitelmasta.



6.1 Burlap

Vaikka ekologisuuden teema yhdistettynä toimivaan ja arkkitehtonisesti korkeatasoiseen kaupunkiympäristöön olikin kiinnostava lähtökohta suunnittelutyölle, ei yleissuunnitelman itseisarvoinen geometria juuri herättänyt ajatuksia itse toteutuksesta. Henkilökohtaisen arkkitehtuurifilosofiani mukaisesti kuitenkin kaipaasin suunnittelutyölle kaikkiin kysymyksiin vastaavaa johtoajatusta, ja sellaisen löysinkin eräänä iltana istuskellessani kotona vilttiin kääriytyneenä. Passiivitalon konsepti perustuu tiiviisti rakennusta suojaavaan kerrokseen, joten mikä olisikaan parempi teemallinen elementti suunnittelun tueksi kuin meitä ihmisiä samalla tavoin niin kylmältä kuin kuumaltakin suojaava kangas.

Erilaisten kankaiden joukosta johtoajatuksiksi valikoitui kudoksellisen rakenteensa ansiosta juuttisäkkimateriaali, joka toistuu suunnitelman teemallisena elementtinä lukuisissa eri mittakaavoissa niin mikro- kuin makrotasoilla. Englanninkielisen kilpailutyön nimi "Burlap" tarkoittaa suomeksi säkkikangasta.

Burlap

7.1 Korttelisuunnittelun ratkaisuperiaattet: BURLAP!

Tonttipinnan käsittely lähti liikkeelle ikään kuin maahan piirretystä rasterista, joka kuvastaa säkkikankaan rakennetta. Rasterin eri kentät käsiteltiin joko tontin tasossa tai kolmiulotteisesti toistuvan periaatteen mukaan: osa kentistä on painettu maanpinnan alapuoliseksi piha-aukioiksi, osa on nostettu tontin tasosta ylöspäin rakennuksiksi. 0-tason pinnassa vaihtelevat geometrisesti erilaiset kasvillisuusvyöhykkeet ja maanta-sopinnoitteet.

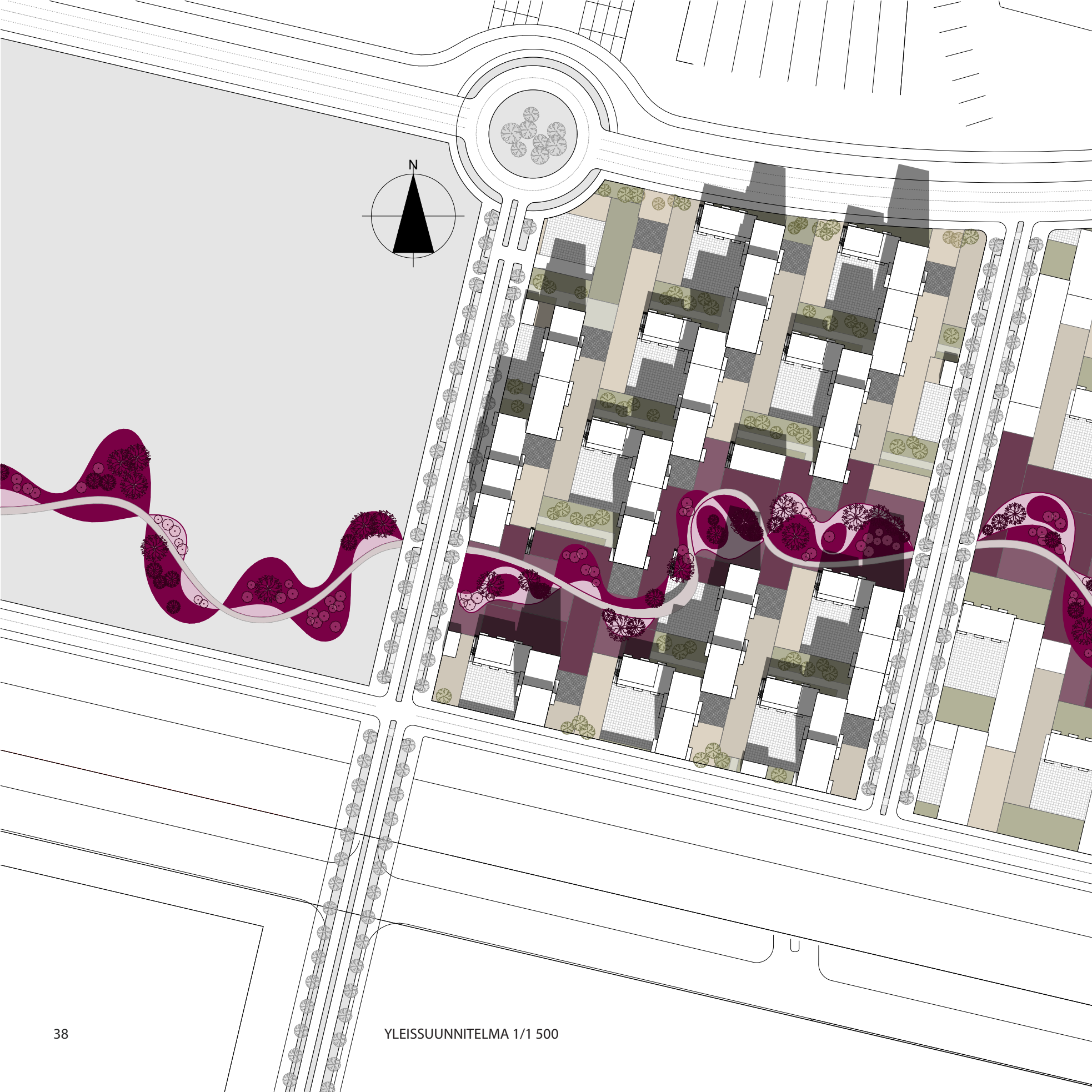
Poikkeuksena lähes sotilaalliseen tontinkäsittelyyn pinnan rasteri joustaa mutkittelevan kevyen liikenteen väylän työntyessä sen läpi. Orgaanisena elementtinä väylä tuo vaihtelua tontin sisäisiin maisemiin. Kevyen liikenteen väylän varrella toimii polkupyörien lainauspiste, joka on kaikkien alueella liikkuvien käytettävissä. Voimakkaita katutasoa tuulia on yleissuunnitelman puskurivyöhykkeen ohella pyritty hillitsemään potentiaaliset tuulitunnelit katkaisevilla kaupunkirivitalomassoilla sekä istuttamalla riittävässä määrin puita etenkin korttelin reuna-alueille.

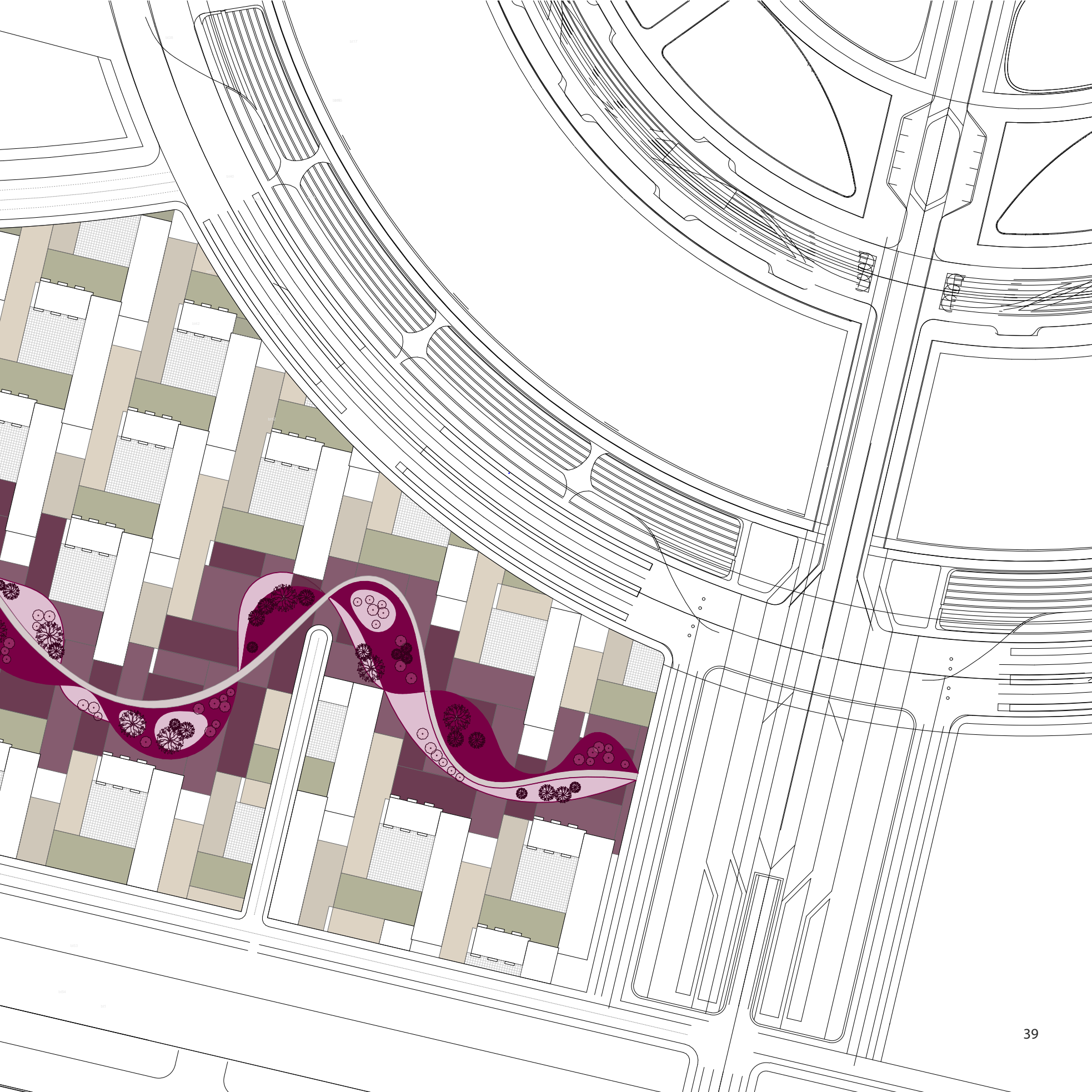
Suunnittelutyössä tonttia on käsitelty kokonaisuutena myös vertikaalisuunnassa, ja lähiomaisuuden kitkemiseksi on kerrostaloja kilpailuvaiheen jälkeisessä jatkokehityksessä osittain madallettu. Vierekkäisten kerrostalojen korkeudet aaltoilevat toisiinsa nähden eri vaiheissa jolloin yläkerroksista tarjoutuu suoria näkymiä toisten kerrostalojen yli korttelin lähiympäristöön. Mittakaavallista kontrastia on lisäksi pienennetty tonttipunokseen tuodulla kilpailuohjelmasta poikkeavalla tasolla. Kerrostaloihin nähden poikittain asettuvat townhouse –säikeet tuovat asumisen jälleen askeleen verran lähemmäs katutasoa ja vahvistavat kokonaisuunnitelman kudelmamaisuutta.

Kylki kylkeen suunnitellut rakennukset muodostavat toisiinsa liittyviä yksiköitä, joiden välillä liikkuminen on mahdollista myös sisäkautta. Suunnitteluprosessin aikana eri yksiköille muodostui omat teemat, ja lopputuloksena erilaiset toiminnalliset konseptit ryhmittäytyivät tonttitasolla eri sijainneille. Kaikki rakennukset ja rakennusyksiköt yhdistyvät maantasokerroksen lisäksi maanalaisessa kerroksessa. Maan alla sijaitseekin asukaspysäköinnin ohella moderni kivijalkapuoitien verkosto. Pysäköinti- ja kaupallisten tilojen risteymäkohtiin on suunniteltu viihtyisiä miniatyyriostoskatuja. Nämä minimaaliset katuaukiot saavat luonnonvaloa kangasmaista verkkoperiaatetta hyödyntävien yläpuolisten valoaukkojen kautta. Käänteisesti pimeinä vuorokaudenaikoina maan alta loistava valo toimii osana persoonallista pihavalaistusta. Monimuotoisten yhteistilojen lisäksi myös rakennusten liikennöintitiloista on pyritty tekemään viihtyisiä kohtaamispaikkoja.

Ohikulkijoiden asiointia varten kellarikerroksen piha-aukioille pääsee kaupunkirivitalojen kyljestä kulkevien ulkoportaiden kautta. Lisäksi kaikista rakennusyksiköistä löytyy sisäyhteys -1-kerrokseen. Myös syvennysten reunoille on sijoitettu pieniä liikkeitä sekä kahviloita, joiden ulkoistuskelualueet muodostavat osan asuinrakennusten pihajärjestelyjä. Samalla nuorimmat palveluiden käyttäjät voivat hyödyntää aukoiden suojaisia leikkialueita. Kaupallisten tilojen lisäksi kellarikerrokseen on sijoitettu rakennusten aputiloja sekä asukkaiden käyttöön tarkoitettua varastotilaa.

Kaupunkirivitalot korostavat kellarikerroksen merkitystä kokonaisratkaisussa. Osa townhouse -asuntojen tiloista avautuu suoraan -1-kerroksen piha-aukioille, ja asuntokohtaiset autotallit johtavat lämmitettyyn pysäköintihalliin.



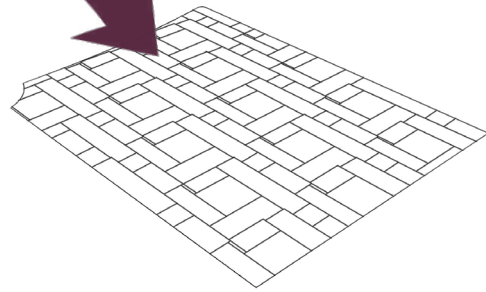




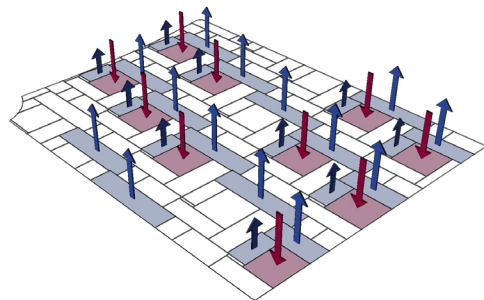
PYSÄKÖINTI
12 500,0 m²

Kellarikerros
267,0 m²

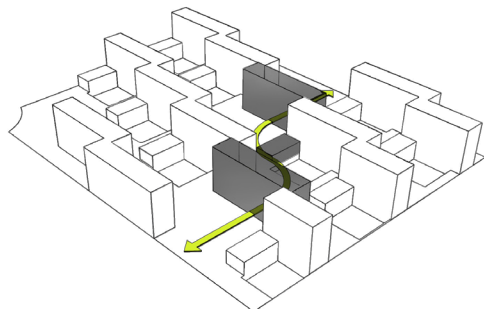




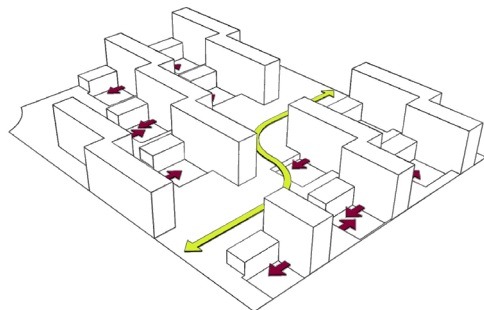
#1 Ensimmäisessä vaiheessa tontin pintaan tuotiin säkkikangastekstuuri.



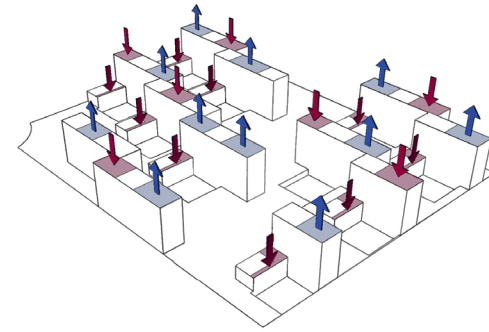
#2 Osa rasterin säikeistä nostettiin peruspinnasta ylös, osa painettiin alaspäin.



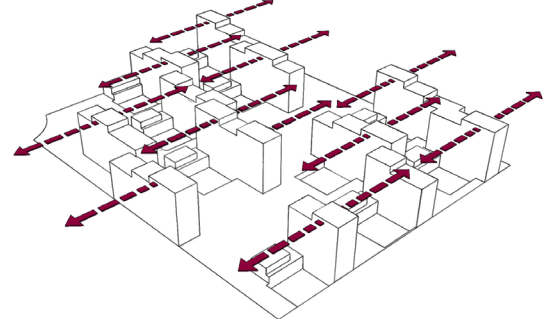
#3 Tarvittava määrä rakennuksia poistettiin korttelin läpi kiemurtelevan virkistysreitintä.



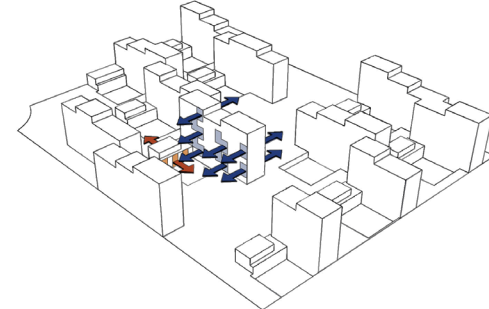
#4 Piha-aukiot ovat kellarikerroksen kautta yhteydessä toisiinsa.



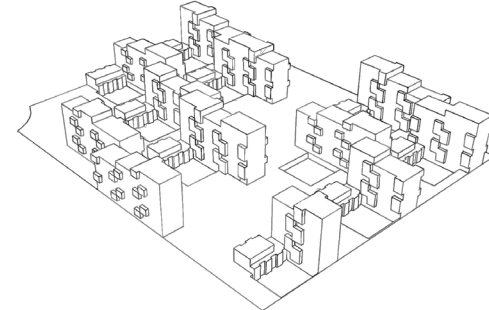
#5 Rakennusten kattokorkeudet käsiteltiin samalla periaatteella kuin tontin pinta: rakennuksia paikoitellen korotettiin, paikoitellen madallettiin yhdellä kerroksella.



#6 Vaihtelevat kattokorkeudet tarjoavat yläkerrosten asunnoille näkymiä naapurirakennusten yli korttelin lähiympäristöön.



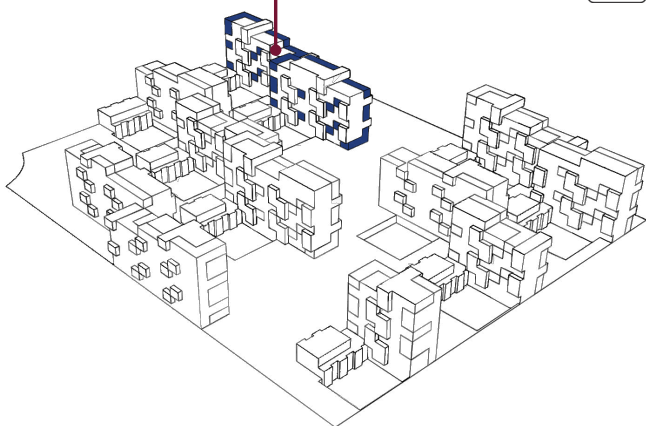
#7 Säkkikangastrasteri tuotiin myös julkisivupintaan.



#8 Kokonaisratkaisusta syntyi useissa eri mittakaavoissa varioitua kudelman.



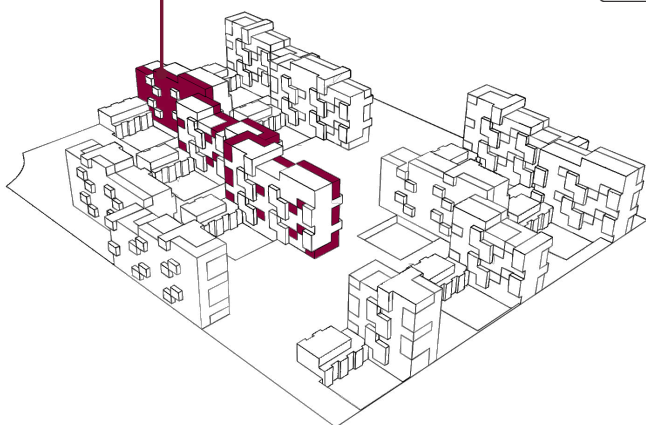
TAIDE JA KÄSITYÖT



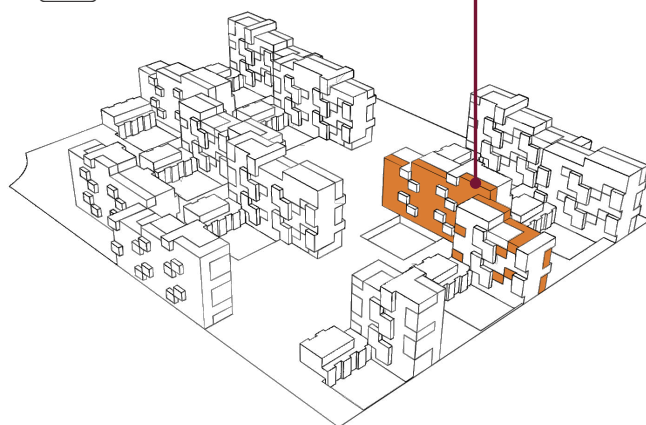
KASVIEN HOITO JA PIENVILJELY



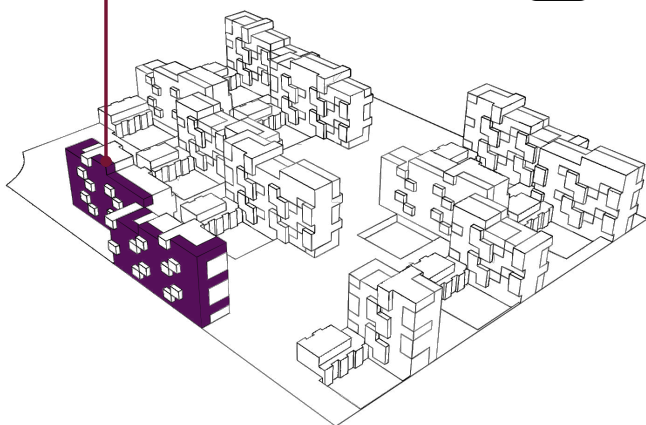
TEKNIikka JA KIRJALLISUUS



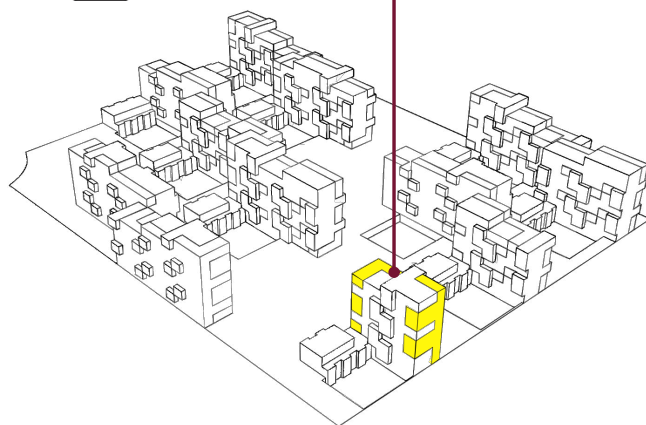
ELOKUVA JA TEATTERI



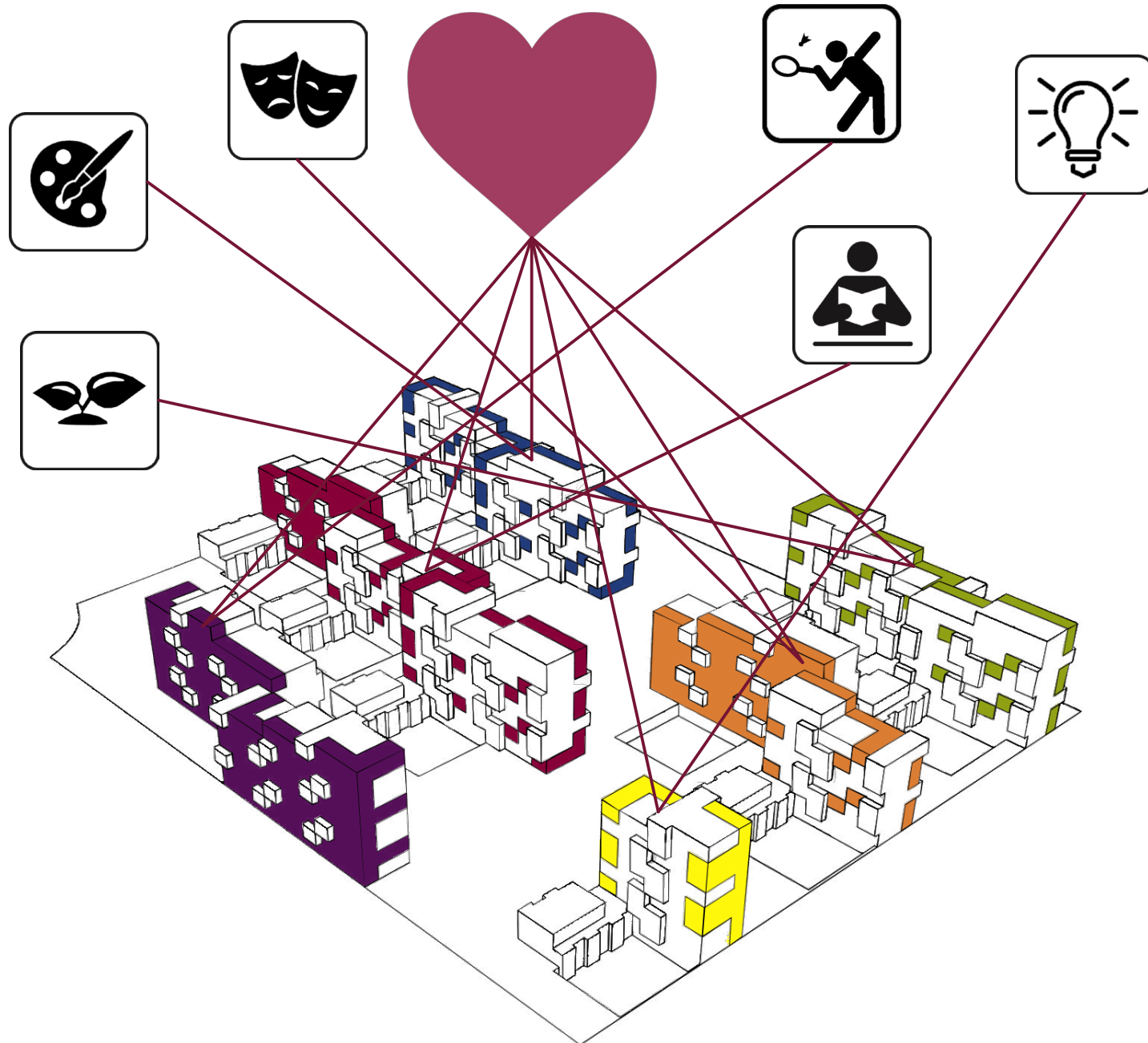
LIIKUNTA JA VIRKISTYS



YRITTÄJYYS







Teemalliset yksiköt muodostavat yhdessä korttelin laajuisen kokonaisuuden, jonka monipuolisesta tarjonnasta hyötyvät myös naapurikortteleiden asukkaat.





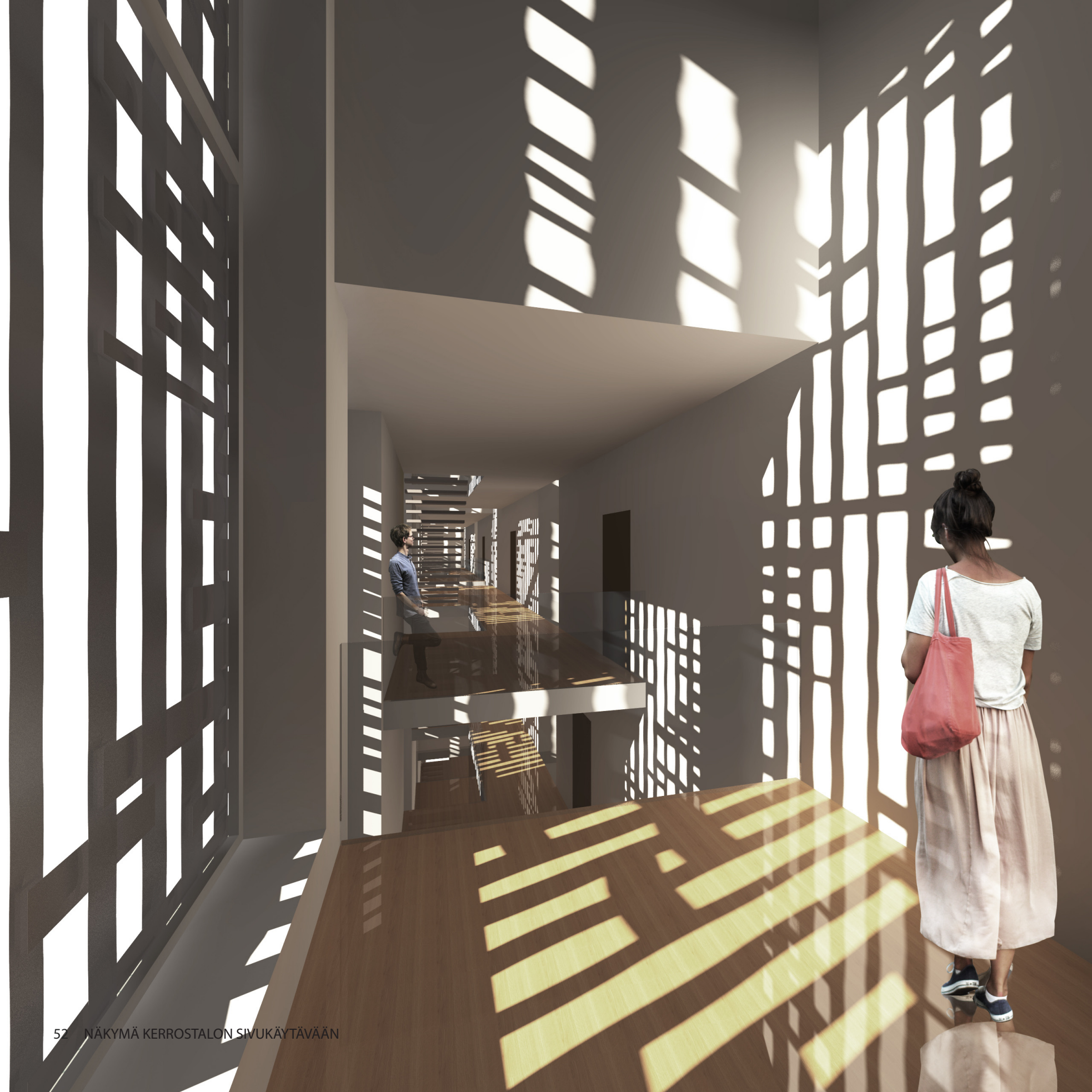




NÄKYMÄ MAANALAISELLE OSTOSAUKIOLLE

50 Kiinteiden liiketilojen lisäksi aukiolle pystytetään sesonkikontaisesti erilaisia pop-up -myymälöitä.







TALOKOHTAINEN ASUNTOJAKAUMA:

TALO A:

1H+TPK	49,0 m2	4 kpl
1H+TPK	49,5 m2	4 kpl
2H+K	49,5 m2	3 kpl
2H+K	53,0 m2	3 kpl
3H+K	74,0 m2	2 kpl
3H+K	80,0 m2	1 kpl
3H+K	86,0 m2	8 kpl
3H+K+at	88,0 m2	1 kpl
5H+K+at	125,0 m2	2 kpl
Yhteensä:		28

TALO E:

1H+TPK	49,0 m2	2 kpl
1H+TPK	49,5 m2	5 kpl
1H+TPK	49,5 m2	5 kpl
2H+K	53,0 m2	6 kpl
3H+K	80,0 m2	2 kpl
3H+K	82,5 m2	2 kpl
3H+K	86,0 m2	6 kpl
5H+K+at	125,0 m2	3 kpl
Yhteensä:		31

TALO I:

1H+TPK	49,0 m2	1 kpl
1H+TPK	49,5 m2	3 kpl
2H+K	49,5 m2	2 kpl
2H+K	53,0 m2	3 kpl
3H+K	82,5 m2	1 kpl
3H+K	86,0 m2	5 kpl
3H+K+at	88,0 m2	1 kpl
5H+K+at	125,0 m2	2 kpl
Yhteensä:		18

TALO B:

1H+TPK	49,0 m2	2 kpl
1H+TPK	49,5 m2	4 kpl
2H+K	49,5 m2	4 kpl
2H+K	53,0 m2	7 kpl
3H+K	82,5 m2	1 kpl
3H+K	86,0 m2	8 kpl
3H+K+at	88,0 m2	1 kpl
5H+K+at	125,0 m2	2 kpl
Yhteensä:		31

TALO F:

1H+TPK	49,0 m2	4 kpl
1H+TPK	49,5 m2	4 kpl
2H+K	49,5 m2	4 kpl
2H+K	53,0 m2	2 kpl
3H+K	74,0 m2	2 kpl
3H+K	86,0 m2	8 kpl
3H+K+at	88,0 m2	1 kpl
5H+K+at	125,0 m2	2 kpl
Yhteensä:		27

TALO J:

1H+TPK	49,0 m2	3 kpl
1H+TPK	49,5 m2	4 kpl
2H+K	49,5 m2	3 kpl
2H+K	53,0 m2	7 kpl
3H+K	80,0 m2	2 kpl
3H+K	82,5 m2	3 kpl
3H+K	86,0 m2	6 kpl
Yhteensä:		28

TALO C:

1H+TPK	49,0 m2	4 kpl
1H+TPK	49,5 m2	4 kpl
2H+K	49,5 m2	3 kpl
2H+K	53,0 m2	3 kpl
3H+K	80,0 m2	2 kpl
3H+K	82,5 m2	1 kpl
3H+K	86,0 m2	8 kpl
3H+K+at	88,0 m2	1 kpl
5H+K+at	125,0 m2	2 kpl
Yhteensä:		28

TALO G:

1H+TPK	49,0 m2	2 kpl
1H+TPK	49,5 m2	5 kpl
2H+K	49,5 m2	3 kpl
2H+K	53,0 m2	8 kpl
3H+K	82,5 m2	3 kpl
3H+K	86,0 m2	8 kpl
3H+K+at	88,0 m2	1 kpl
5H+K+at	125,0 m2	2 kpl
Yhteensä:		32

TALO K:

1H+TPK	49,0 m2	4 kpl
1H+TPK	49,5 m2	4 kpl
2H+K	49,5 m2	4 kpl
2H+K	53,0 m2	3 kpl
3H+K	74,0 m2	2 kpl
3H+K	82,5 m2	1 kpl
3H+K	86,0 m2	8 kpl
Yhteensä:		26

TALO D:

1H+TPK	49,5 m2	4 kpl
1H+TPK	51,0 m2	2 kpl
2H+K	49,5 m2	1 kpl
2H+K	53,0 m2	8 kpl
3H+K	76,5 m2	1 kpl
3H+K	82,5 m2	2 kpl
3H+K	86,0 m2	4 kpl
3H+K+at	88,0 m2	1 kpl
5H+K+at	125,0 m2	2 kpl
Yhteensä:		25

TALO H:

1H+TPK	49,0 m2	2 kpl
1H+TPK	49,5 m2	5 kpl
2H+K	49,5 m2	4 kpl
2H+K	53,0 m2	6 kpl
3H+K	80,0 m2	2 kpl
3H+K	82,5 m2	3 kpl
3H+K	86,0 m2	6 kpl
Yhteensä:		28

TALO L:

1H+TPK	49,0 m2	4 kpl
1H+TPK	49,5 m2	2 kpl
2H+K	49,5 m2	2 kpl
2H+K	53,0 m2	2 kpl
3H+K	82,5 m2	2 kpl
3H+K	86,0 m2	3 kpl
3H+K+at	88,0 m2	1 kpl
5H+K+at	125,0 m2	2 kpl
Yhteensä:		18



SUUNNITELMAN TUNNUSLUVUT:

ASUNNOT:

Asuntojen lukumäärä	320 kpl
josta	yksiöitä 87 kpl
	kaksioita 93 kpl
	kolmioita 121 kpl
	suuria asuntoja 19 kpl

KERROSALAT:

Kokonaiskerrosala	53 160 kem ²
josta	asuntoja ja aputiloja 26 170 kem ²
	yhteis- ja liikennetiloja 13 000 kem ²
	liiketiloija 1 490 kem ²
	pysäköintitiloja 12 500 kem ²

AUTOPAIKAT:

Kokonaisautopaikkamäärä	460 ap
josta	maanalaisessa pysäköintihallissa 320 ap
	kellarikerroksen asuntokohtaisissa autotalleissa 27 ap
	maantasossa 113 ap vieraspaikoiksi (yhteisiä naapurikortteleiden kanssa)



6.3 Asunnot

6.3.1 Asuntosuunnittelun lähtökohdat

Kilpailuohjelmaan oli listattu tarkasti asuntosuunnittelua ohjaava kriteeristö. Asuntojen makuuhuoneiden lukumäärä oli suunnittelijan päätettävissä, mutta ehdotuksissa kehoitettiin keskittymään pääasiallisesti kahden ja kolmen huoneen asuntoihin. Kukin makuuhuone tuli voida sisustaa kahdelle asukkaalle, ja jokaista asukasta kohden asumistilaa tuli olla varattuna 18m². Käytännössä edellä mainitut rajoitteet kasvattivat esimer-kiksi yksiön vähintään 36m² kokoiseksi kahden hengen asunnoksi. (2, s.13) Kilpailuvaiheessa järjestetyssä kansainvälisessä webinaarissa asumistilaksi määriteltiin yksinomaan kaikki asunnon oleskelutilat (33). Aputilat, kuten kylpyhuone, mahdollinen kodinhoituhuone sekä keittiö kasvattivat asunnon kokoa vielä edellisten päälle. Myös asuinkerrosten kerroskorkeus oli määritelty jo kilpailuohjelmassa: lattiasta lattiaan korkeuden tuli olla 3,3 metriä. (2, s.13)

D urlap

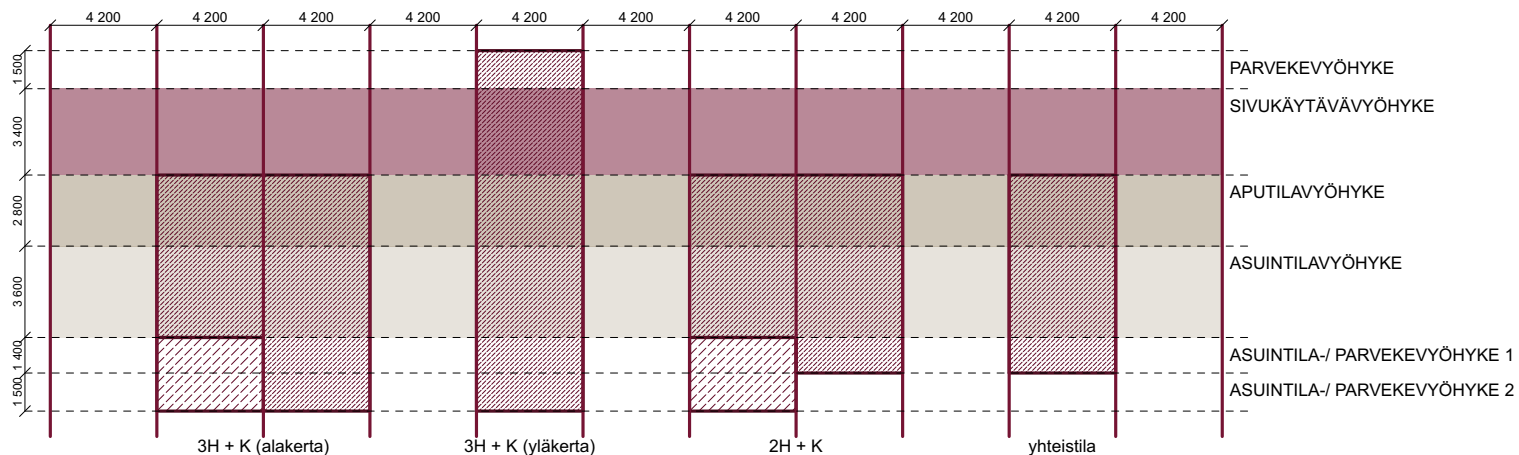
6.3.2 Asuntosuunnittelun ratkaisuperiaatteet: BURLAP!

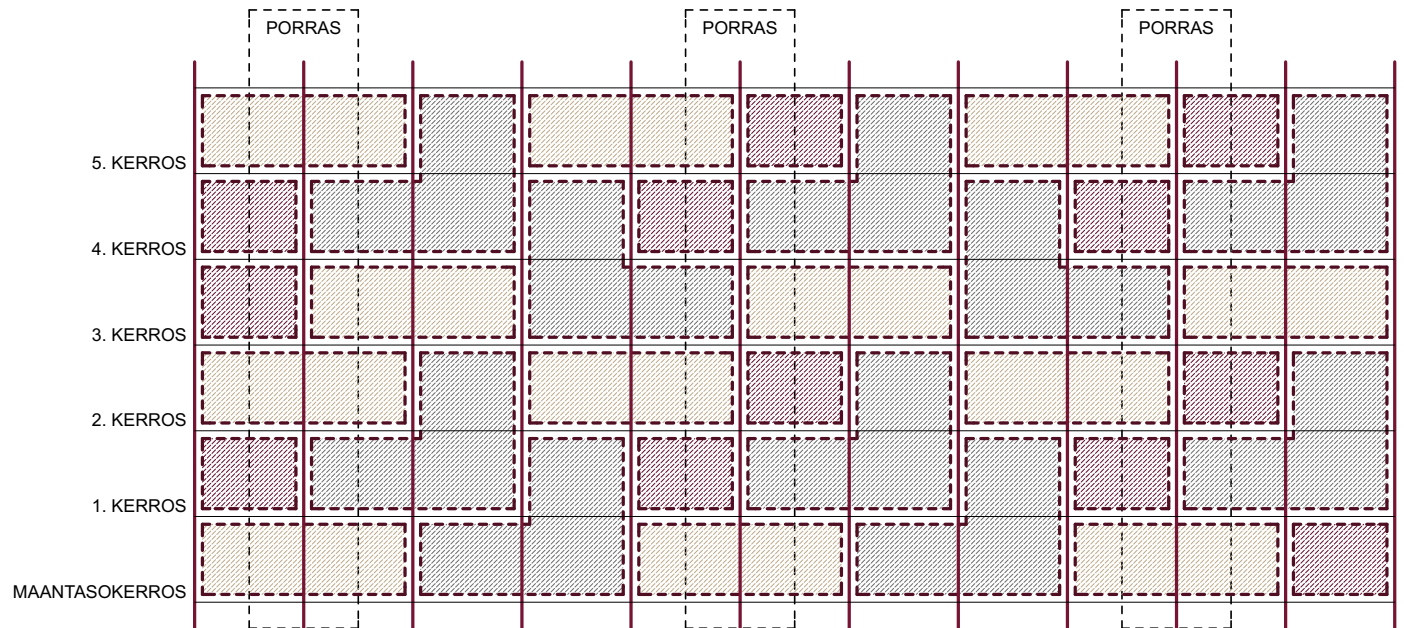
Kerrostalojen tilaratkaisuissa on korttelitason suunnitelman tavoin hyödynnetty keskenään risteilevien kangassäikeiden teemallista periaatetta. Tilamaailma rakentuu yksi- ja kaksikerroksisista asunnoista, koko rakennuksen pitkäsuunnassa halkaisevasta sivukäytävävyöhykkeestä sekä vaihtelevanluonteisista yhteistiloista.

Kerrostaloasunnot on kilpailuohjelman suosituksen mukaisesti ratkaistu yksioina, kaksioina ja kolmioina; kilpailuvaiheen jälkeen suunnitelluista kaupunkirivitaloista löytyy suurempia perhe- tai edustusasuntoja. Kerrostalot ovat jakautuneet pituussuunnassa 4,2 metrin mittaisiin yksiköihin. Kolmion alakerta on kooltaan kaksi yksikköä ja toinen kerros yhden yksikön. Kaksio muodostuu kahdesta vierekkäisestä yksiköstä. Sivukäytävän julkiselta vyöhykkeeltä työntyy asuntovyöhykkeen läpi yhden yksikön kokoisia yhteistiloja. Vastaavasti kaksikerroksisten kolmioiden ylempi kerros työntyy sivukäytävän läpi rakennuksen toiselle puolelle. Periaate tuottaa kudosmaista, x- y- ja z-akselien suhteen varioituvaa tilamaailmaa.

Kaikki asunnot ovat perusrakenteeltaan samanlaisia: keittiöt, kylpyhuoneet ja muut asuntojen aputilat muodostavat puskurivyöhykkeen sivukäytävän ja asuinhuoneiden välille. Pienillä, asuntojen sijainnista aiheutuvilla variaatioilla asuntojakaumaa on saatu monipuolistettua.

Esimerkkitulojen sijoitteluperiaatteet x-y-koordinaatistossa. Kerrostalon peruspohja jakautuu pituutensa suhteen yhteentoista yhtäpitkään osaan. Erilaiset asuntoyksiköt sekä yhteistilat sijoittuvat tilavyöhykkeille toistuvan periaatteen mukaisesti. Tilayksiköiden keskinäisen järjestyksen vaihtelu kerroksittain tuo tilamaailmaan monipuolisuutta.





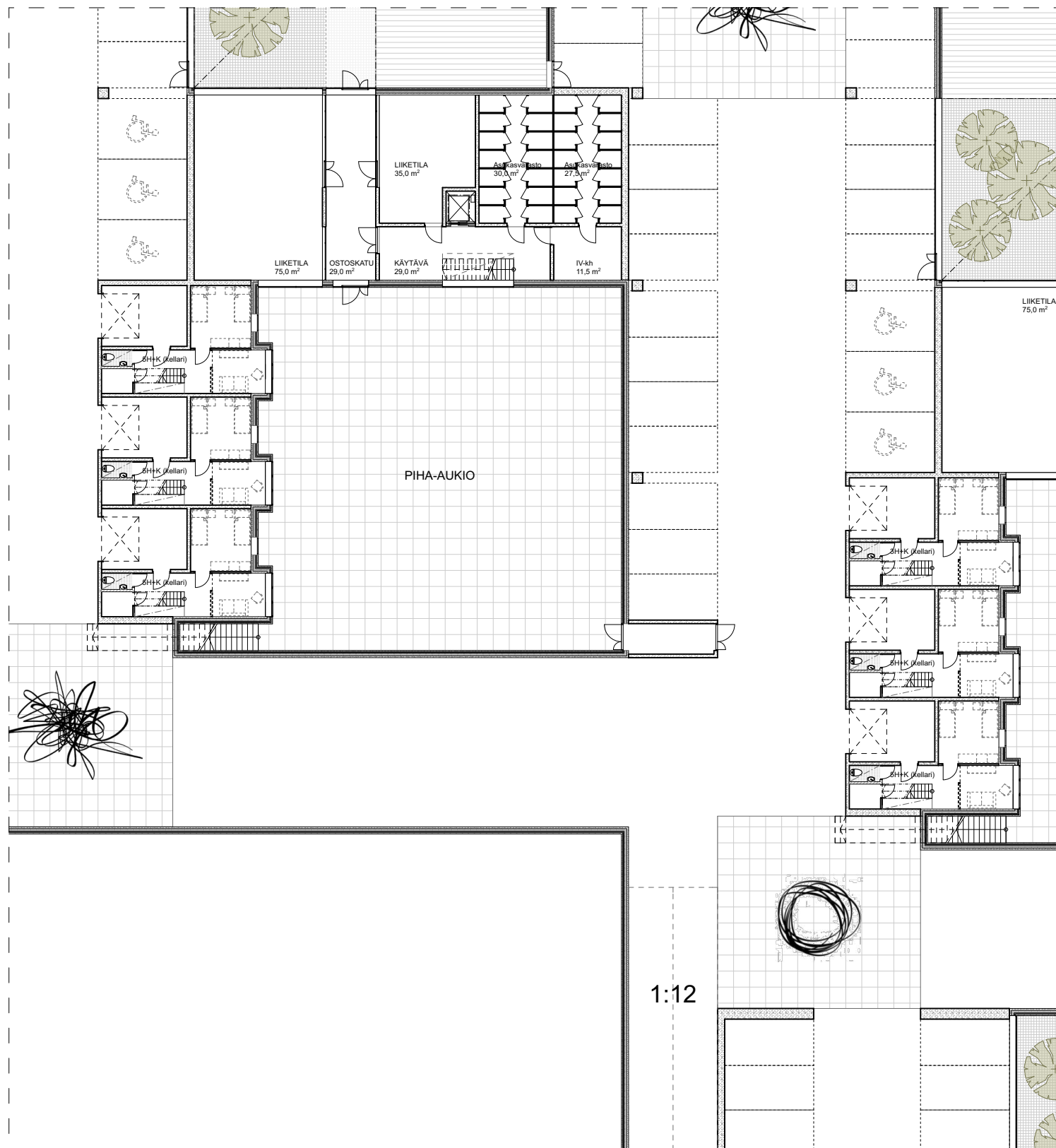
Kaksioiden, kolmioiden ja yhteistilojen keskinäinen sijoitteluperiaate leikkauskoordinaatistossa.

Kaupunkirivitalot muodostavat tonttirasteriin kerrostalojen suuntaukseen nähden kohtisuoran layerin. Asuntojen katseenvangitsija on näyttävä porras ja sen vieressä sijaitseva, koko asunnon korkuinen taideseinä. Maantasokerroksessa sijaitsevat asunnon puolijulkiset tilat: keittiö sekä tilava olohuoneen ja ruokailutilan yhdistelmä. Ylä- ja alakerrassa löytyy makuuhuoneiden lisäksi tiloja työskentelyyn ja virkistäytymiseen. Väliseiniä rakentamalla asuntoihin voidaan tarpeen mukaan järjestellä lisää huoneita. Kellarikerroksesta on suora yhteys asunnon omaan autotalliin. Lisäripauksen arjen luksusta omakotitalomaiseen kaupunkiasumiseen tuovat etelään suuntautuvat kattoterassit.

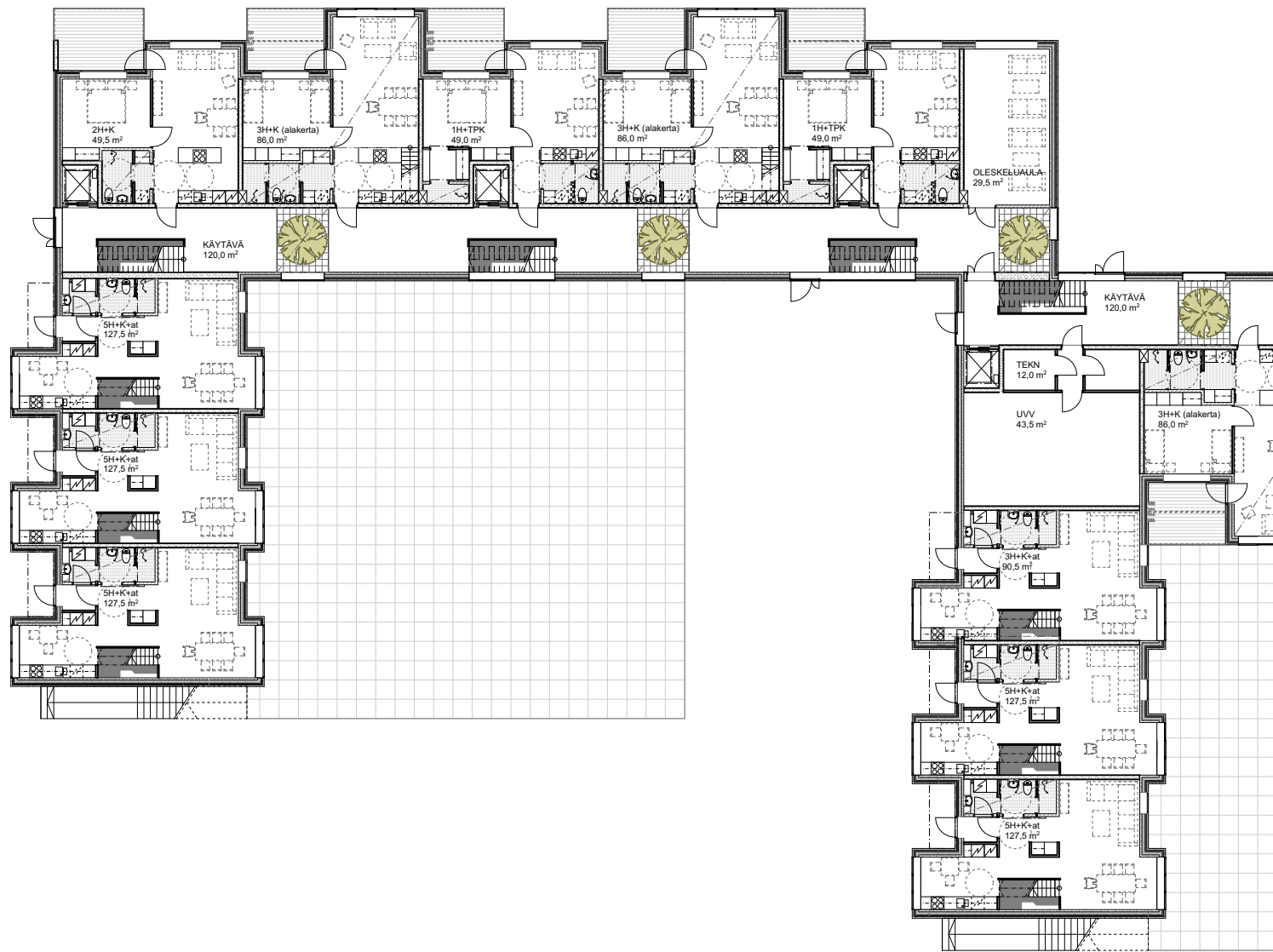
6.3.3 Tilajärjestelyt ekologisen elämäntavan tukena

Asumisen yhdistyminen muihin toimintoihin korttelin sisällä kannustaa ekologisen elämäntavan ylläpitämiseen. Monikäyttöiset yhteistilat soveltuvat niin työnteekoon, vapaa-ajan viettoon kuin vaikkapa pieniksi opiskelija- tai tilapäisasunnoiksi. Palveluiden sisällyttäminen kokonaistilaratkaisuun vähentää liikkumisen tarvetta, ja onnistuessaan pienentää asukkaiden liikennesuoritetta. Toisaalta kevyen liikenteen käyttö on pyritty mahdollistamaan monella eri tasolla, minkä lisäksi kaupunkiympäristön viihtyisyyteen ja vaihtelevamitakaavaisuuteen panostamalla on lisätty hitaan liikkumisen houkuttelevuutta.







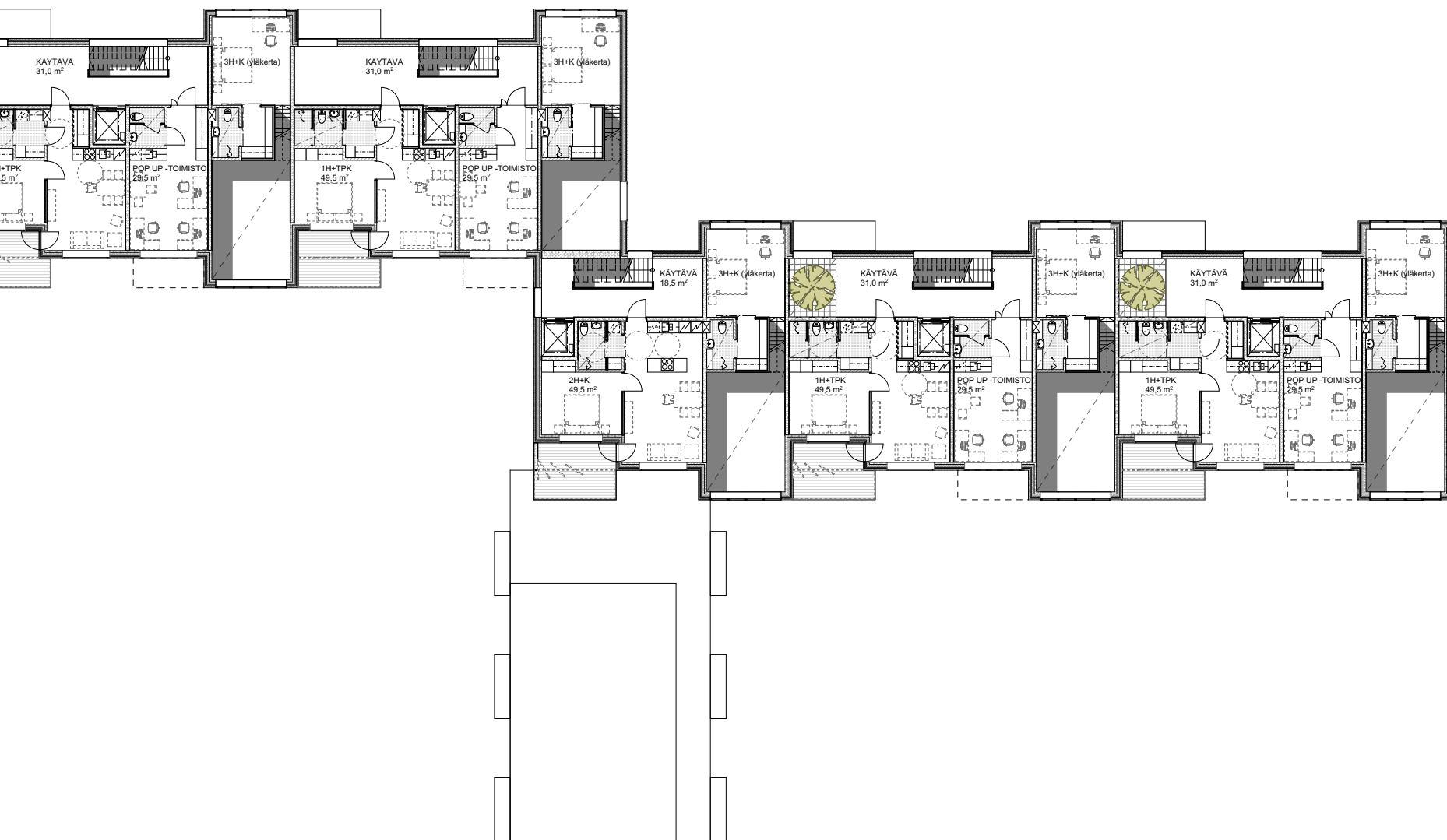






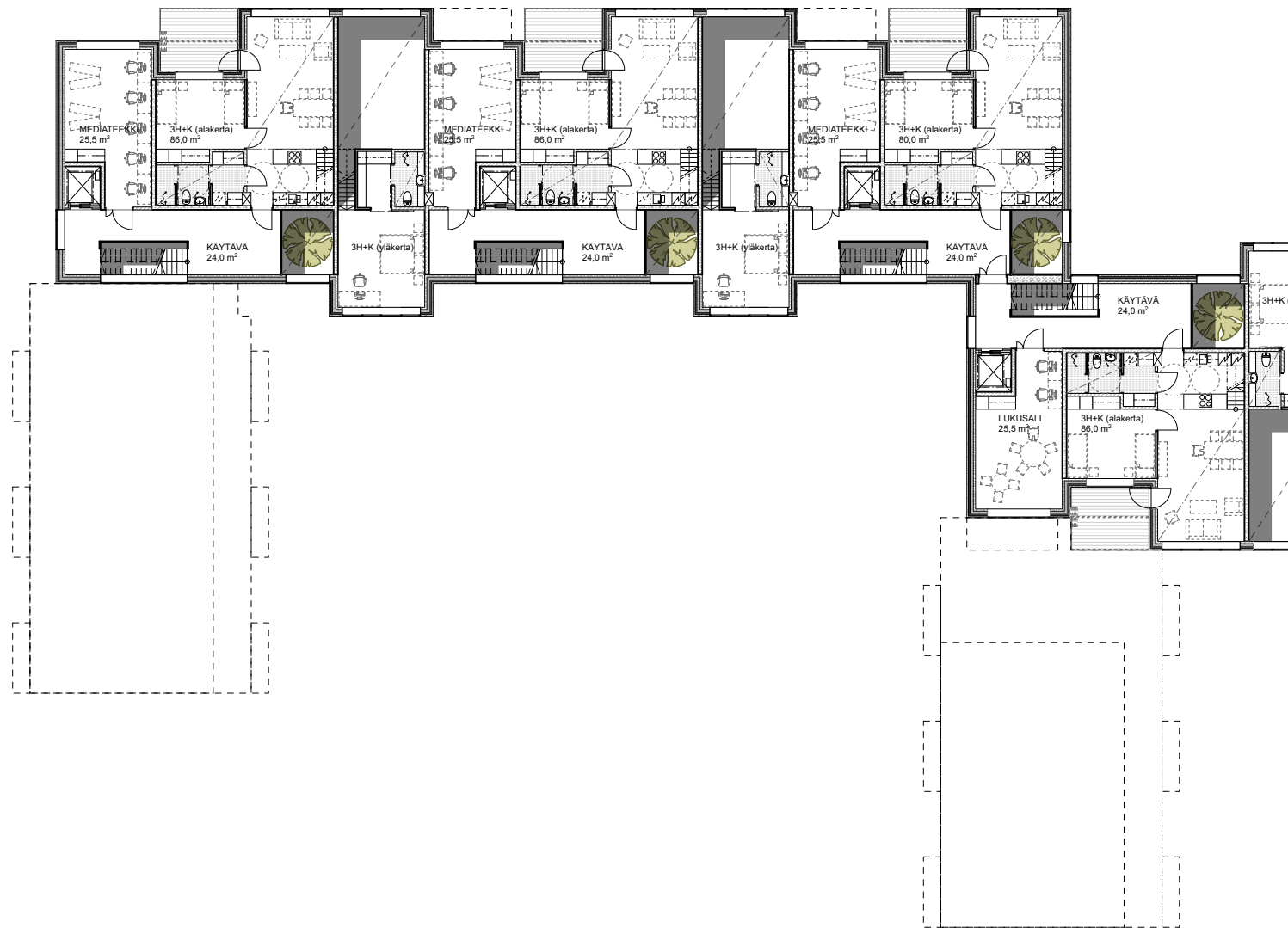


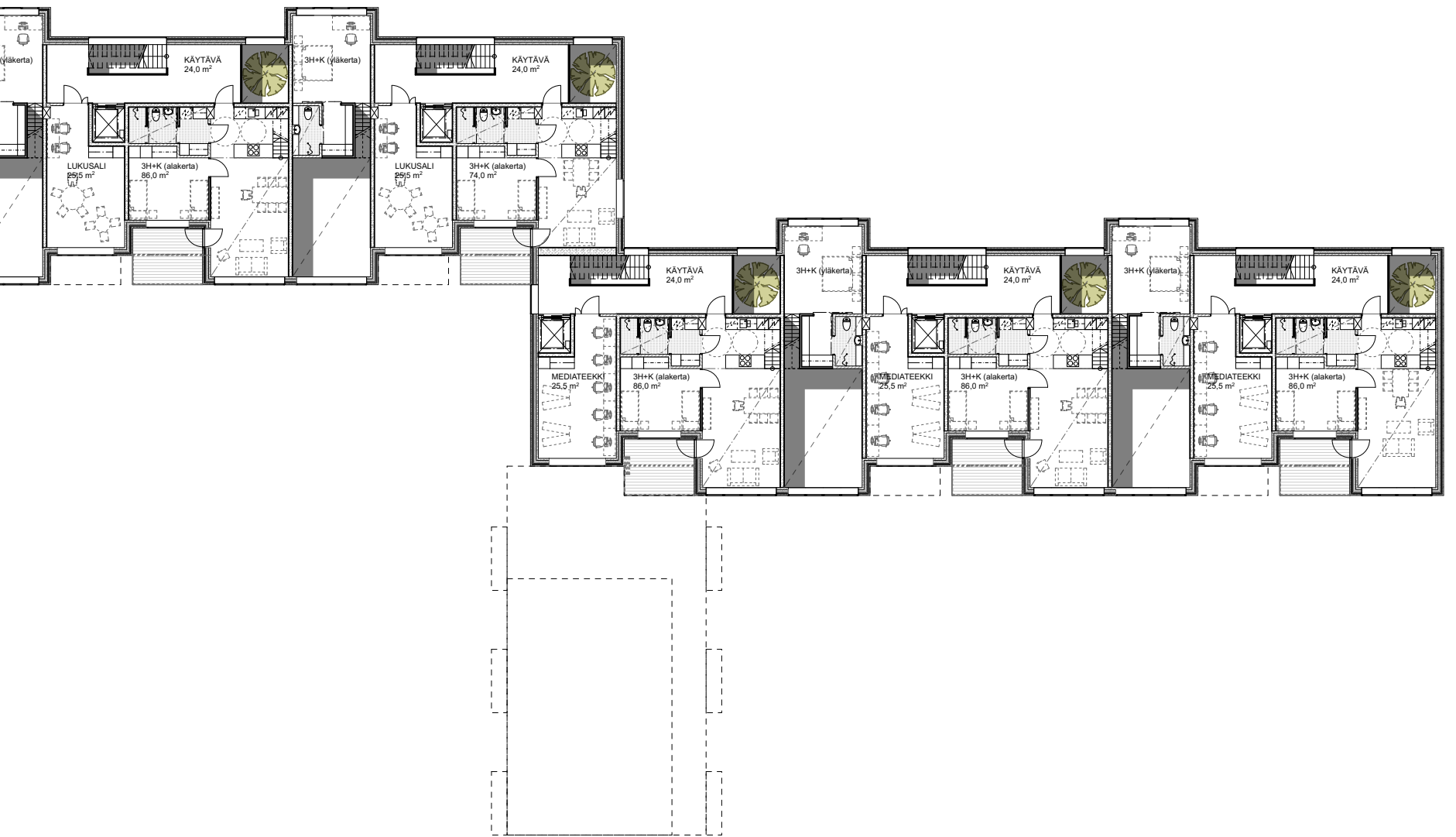


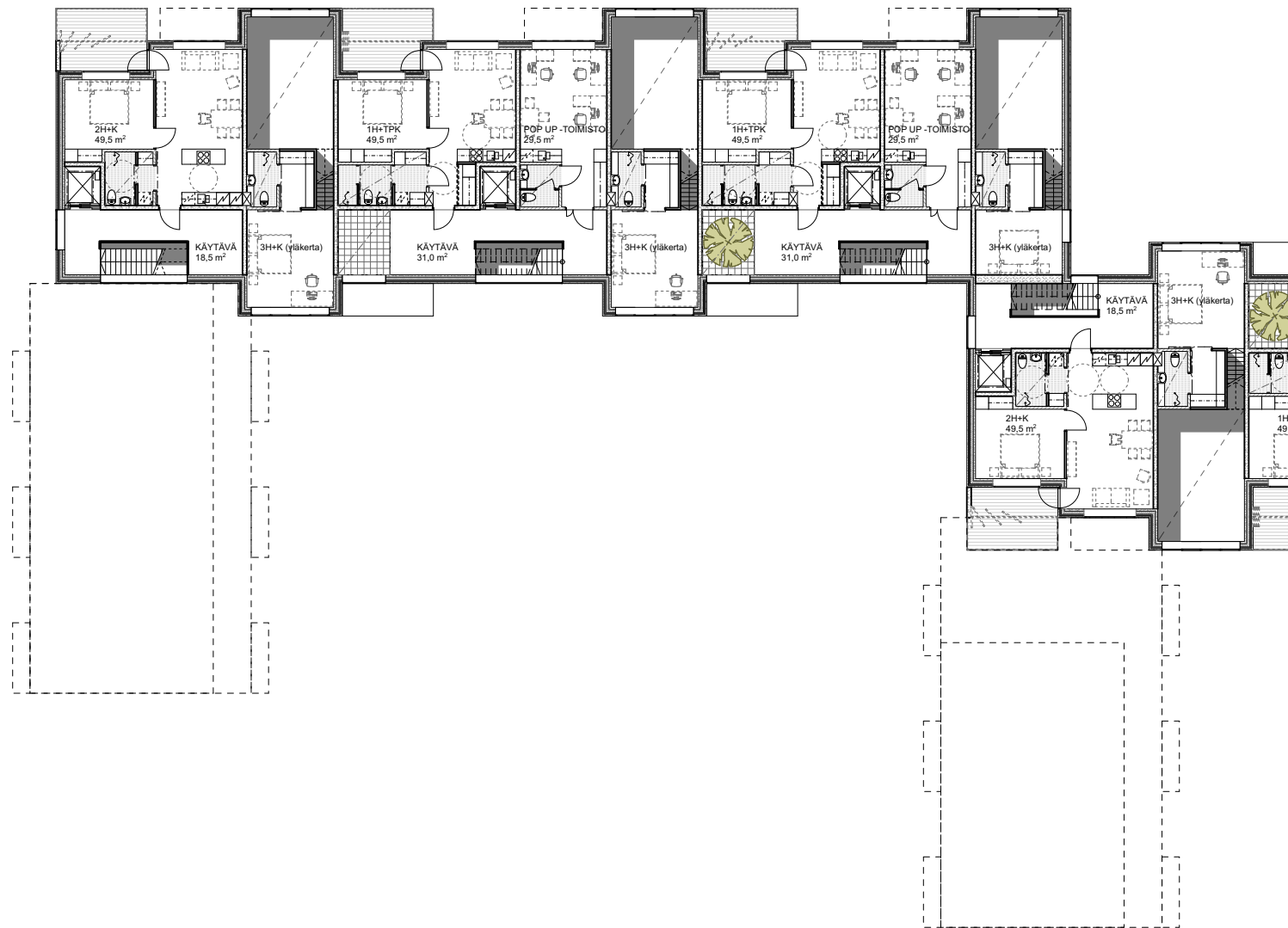


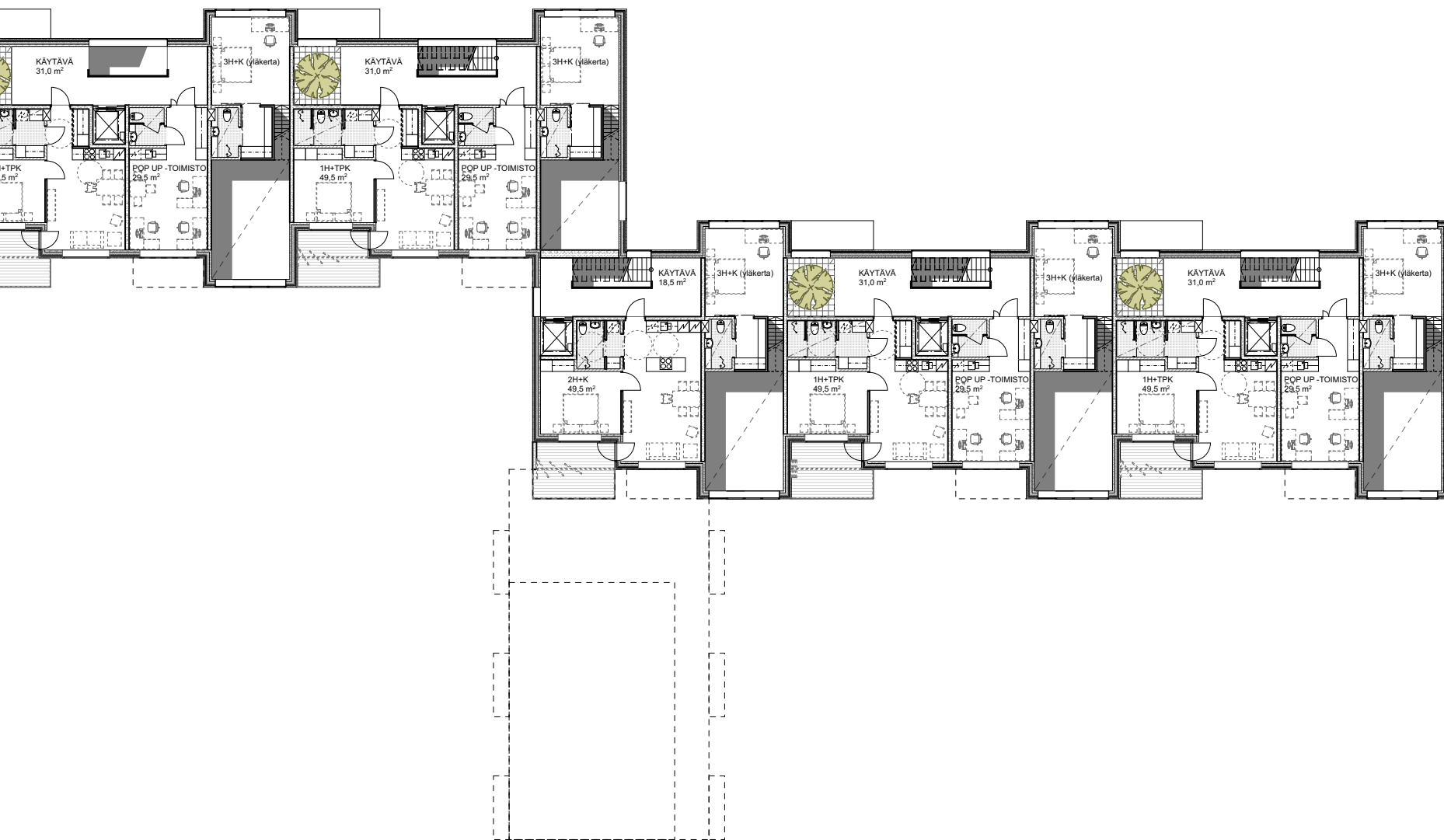




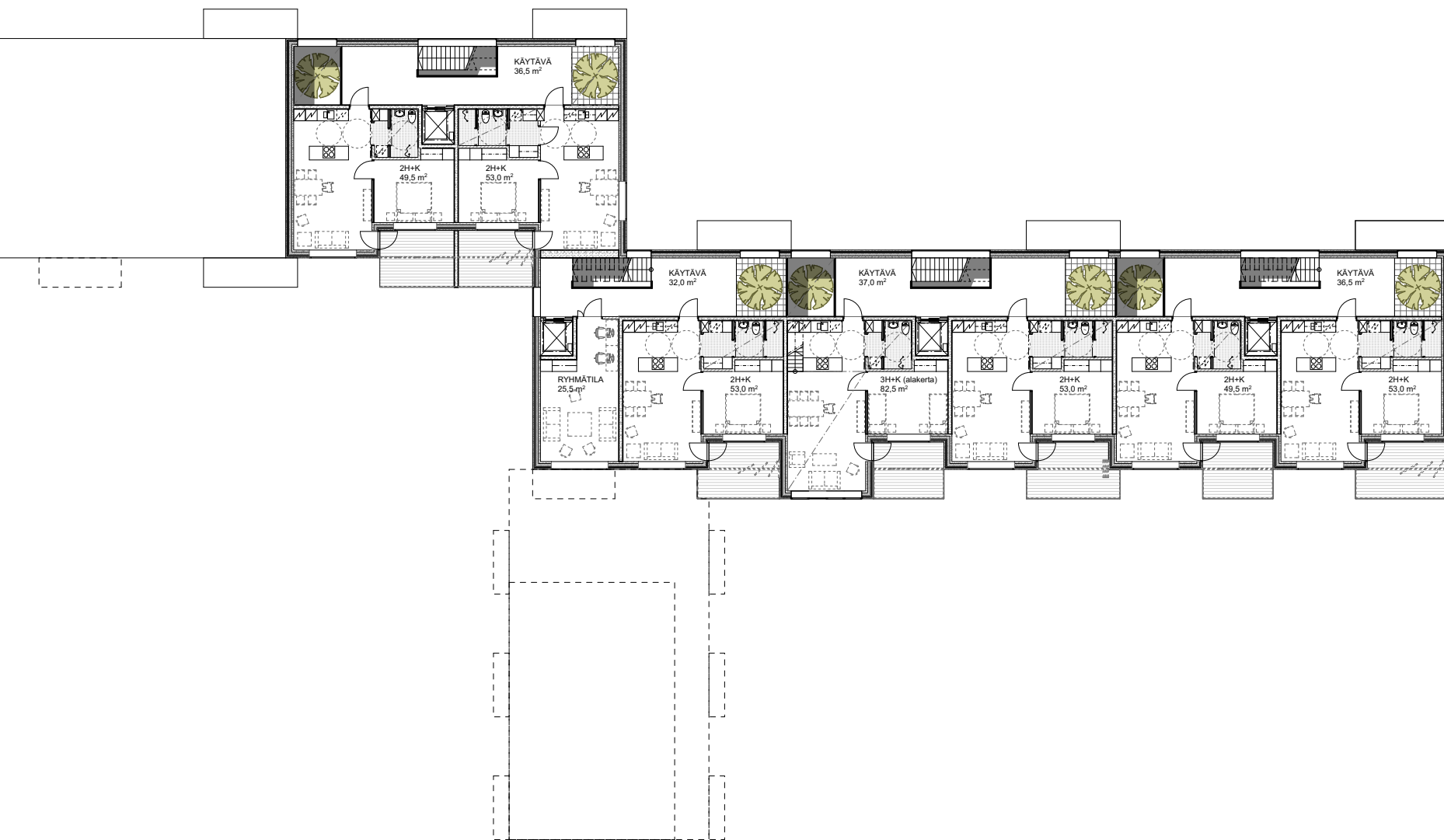


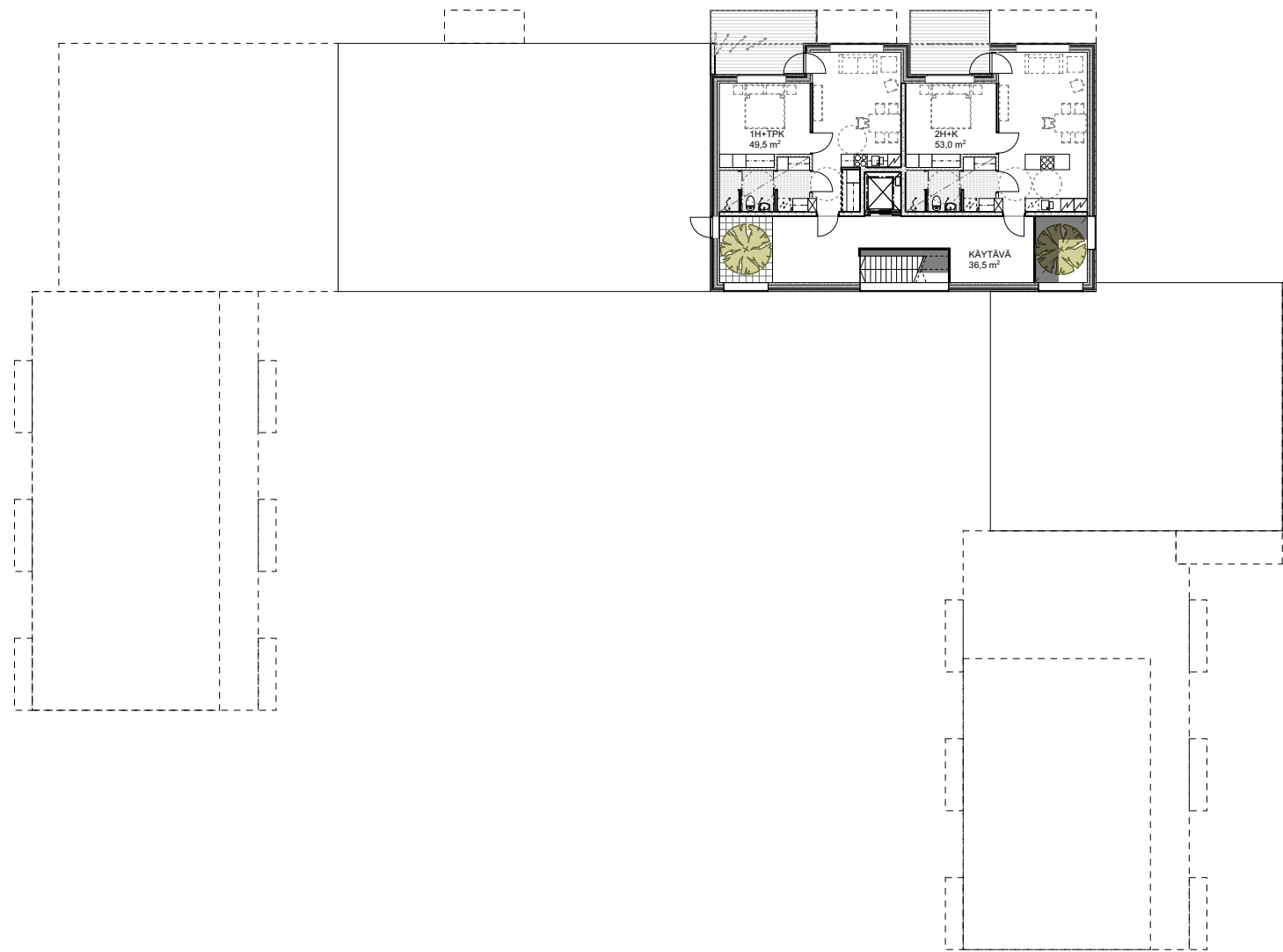


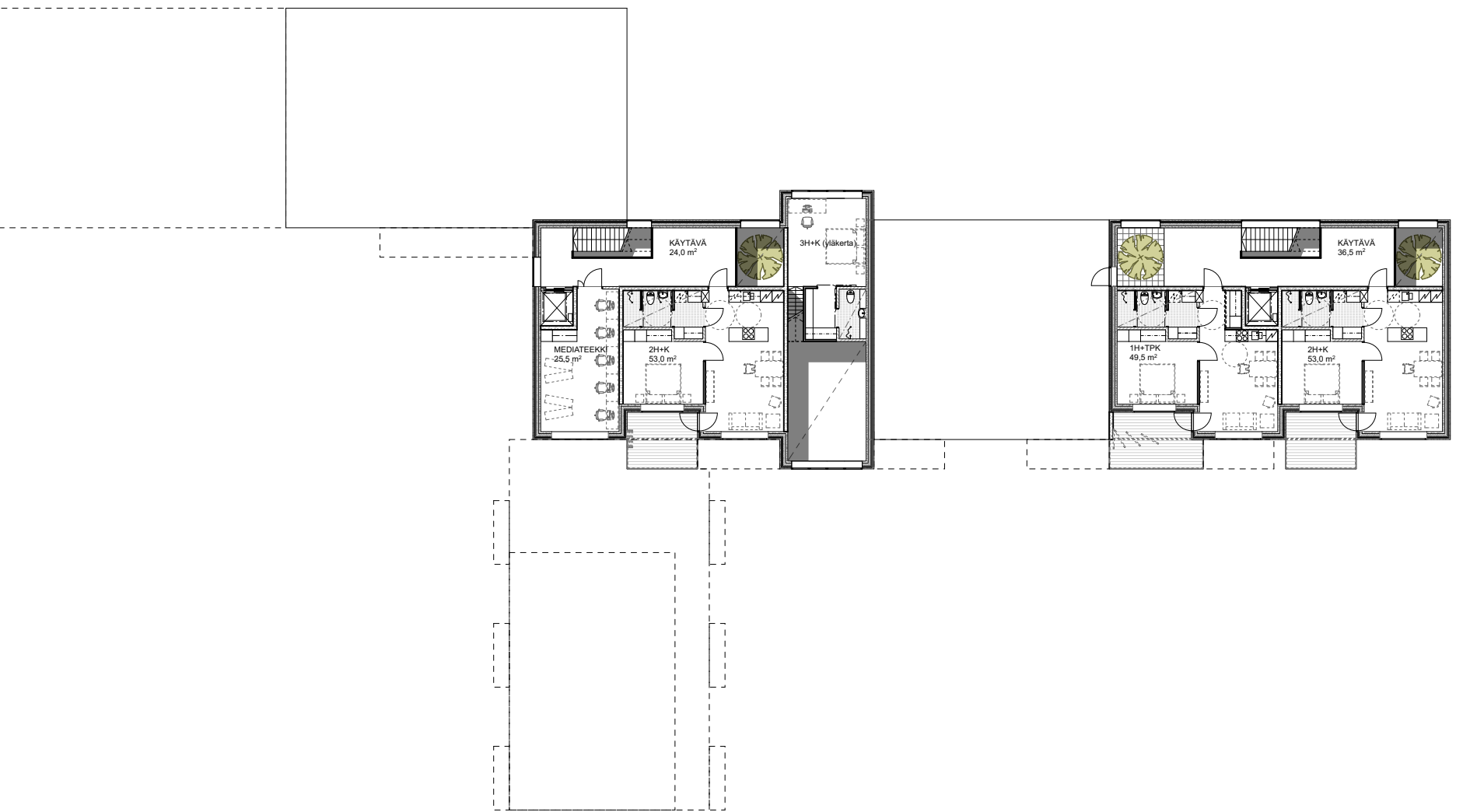


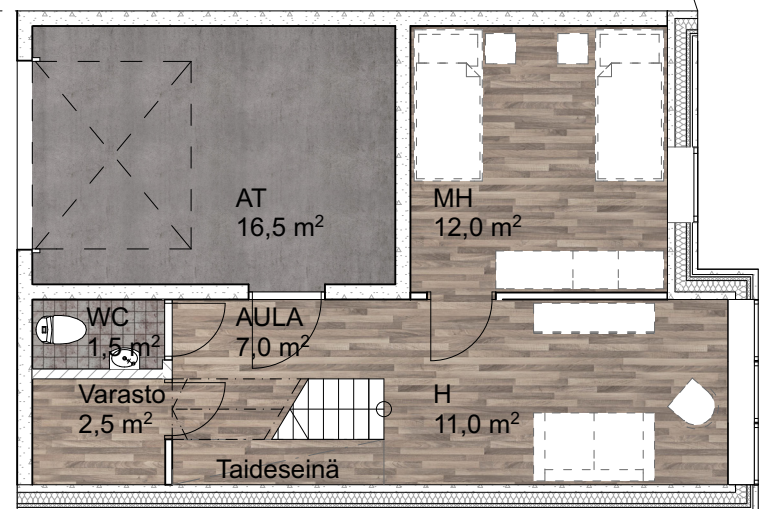
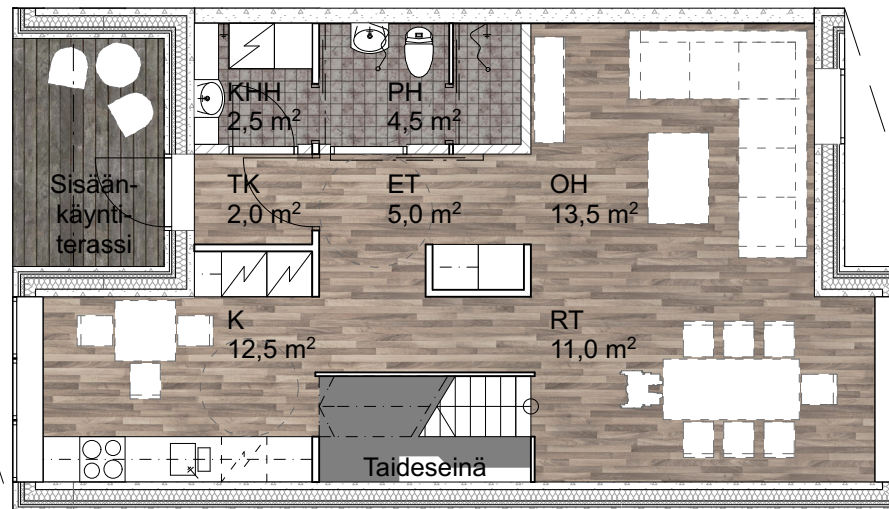
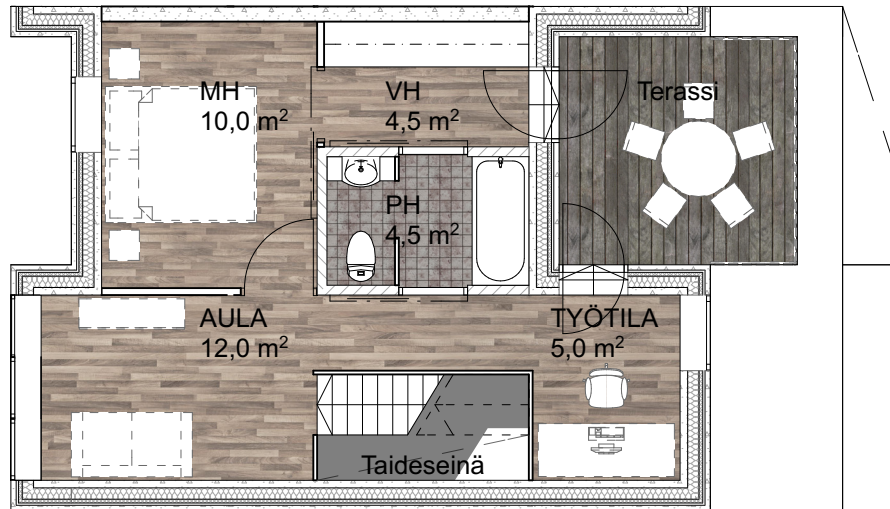




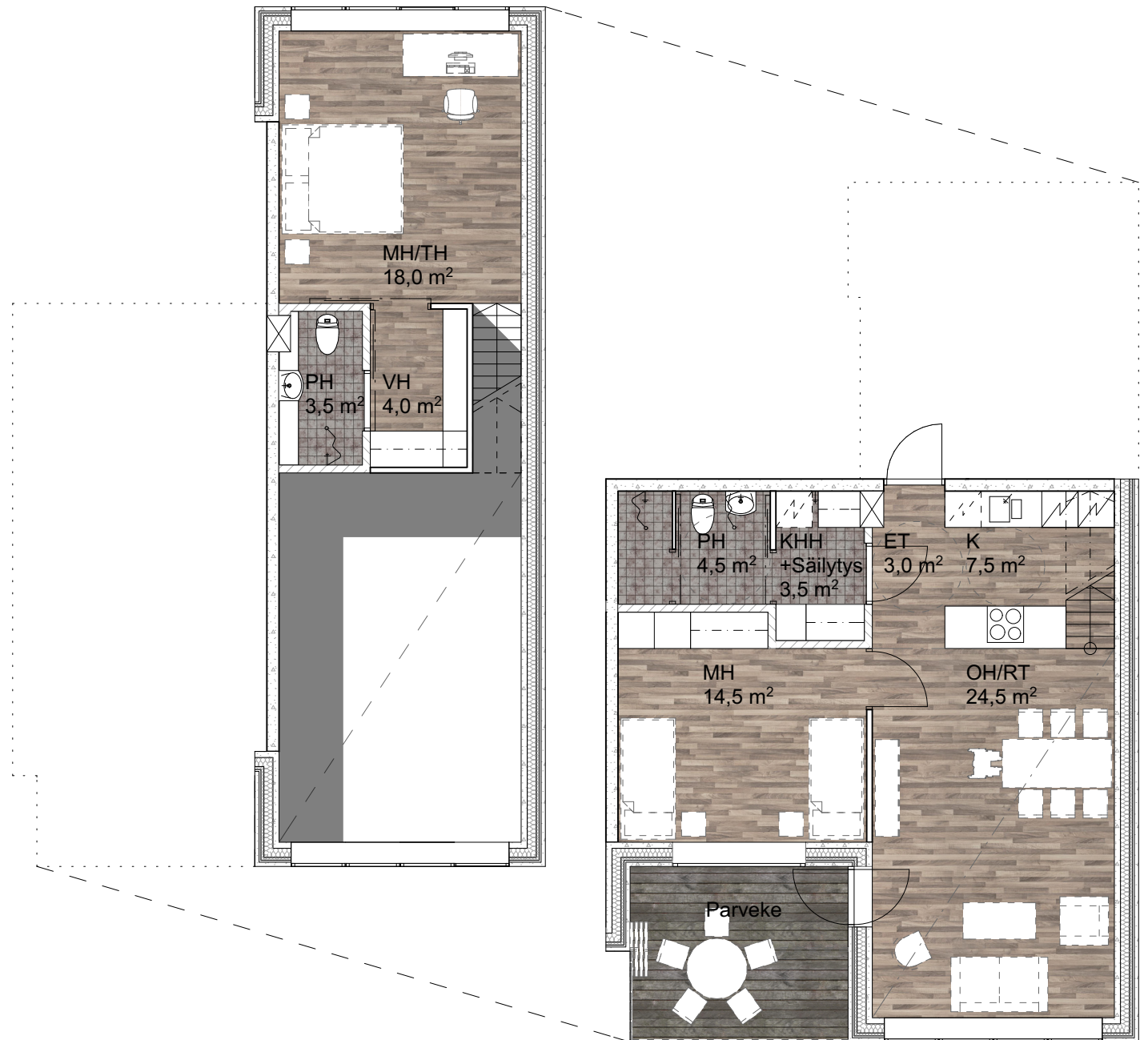














6.4 Julkisivut

6.4.1 Julkisivujen ratkaisuperiaatteet: BURLAP!

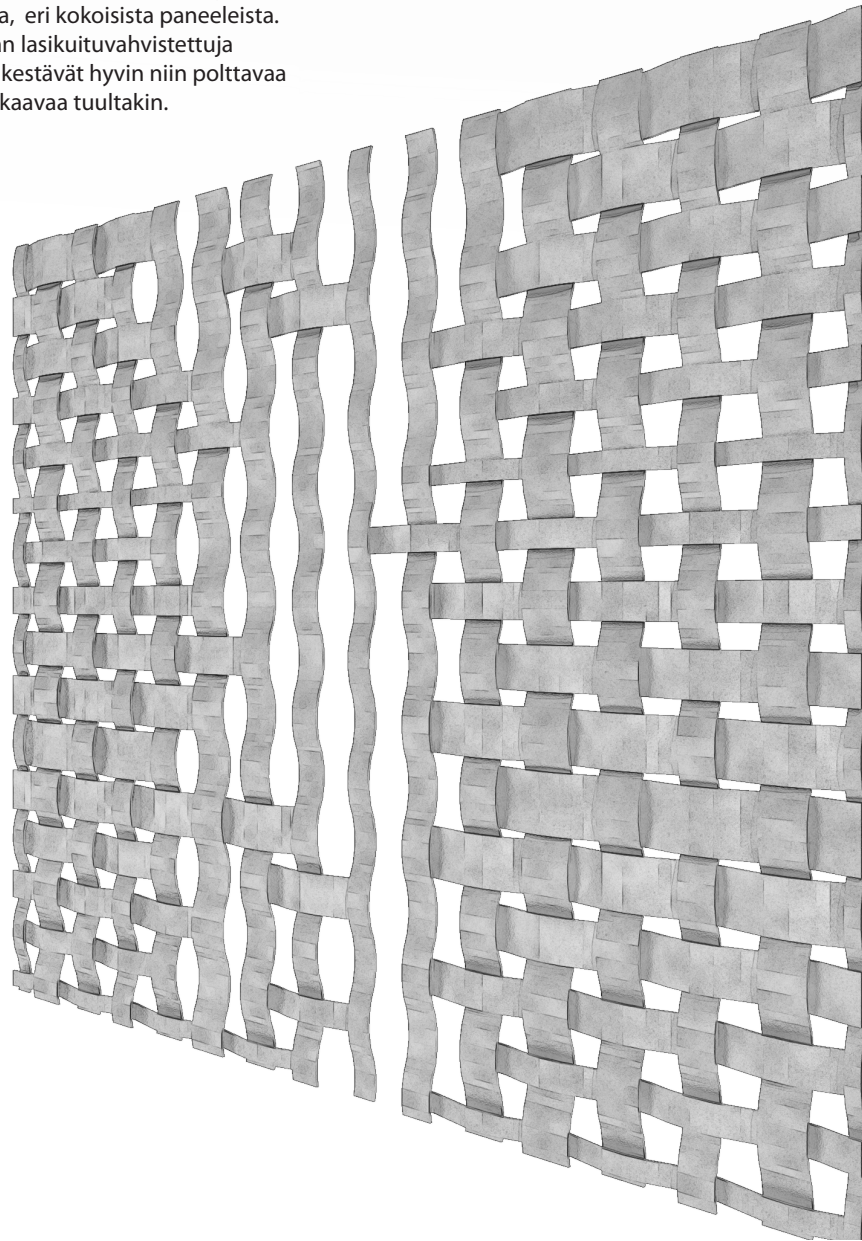
Kerrostalojen julkisivusuunnittelussa säkkikangasteema näkyy kahdessa eri mittakaavassa. Makrotasolla toistensa lomassa risteilevät asuin- ja yhteistilat työntyvät julkisivun peruspinnan läpi muodostaen jälleen yhden verkoston kokonaisratkaisun vertikaali-maailmaan. Sama periaate näkyy myös kaupunkirivitalojen julkisivuratkaisussa. Pienemässä mittakaavassa kerrostalojen julkisivun peruspinta muodostuu toistensa lomassa aaltoilevista, pääasiassa kierrätysmuovista valmistetuista julkisivulevyistä.

Julkiset tilat on ulospäin erotettavissa asuintiloista aukotuksensa puolesta. Julkisivun seinäpintaa peittävä rasteri verhoaa myös kerrostalojen yhteis- ja kulkutilojen ikkunapintoja. Jotta tiloihin pääsisi enemmän valoa, on julkisivulevytystä aukotuksen kohdalla hieman raotettu. Visuaalisesti julkisivun päällä oleva symbolinen kangas on siis ikään kuin paikoitellen rispaantunut.



urlap

Julkisivupinta muodostuu toistensa lomassa vertikaali- ja horisontaalisuunnissa aaltoilevista, eri kokoisista paneeleista. Yksittäiset levyt ovat rakenteeltaan lasikuituvahvistettuja polymeerikomposittilevyjä, jotka kestävät hyvin niin polttavaa aurinkoa, kovia pakkasia kuin piiskaavaa tuultakin.



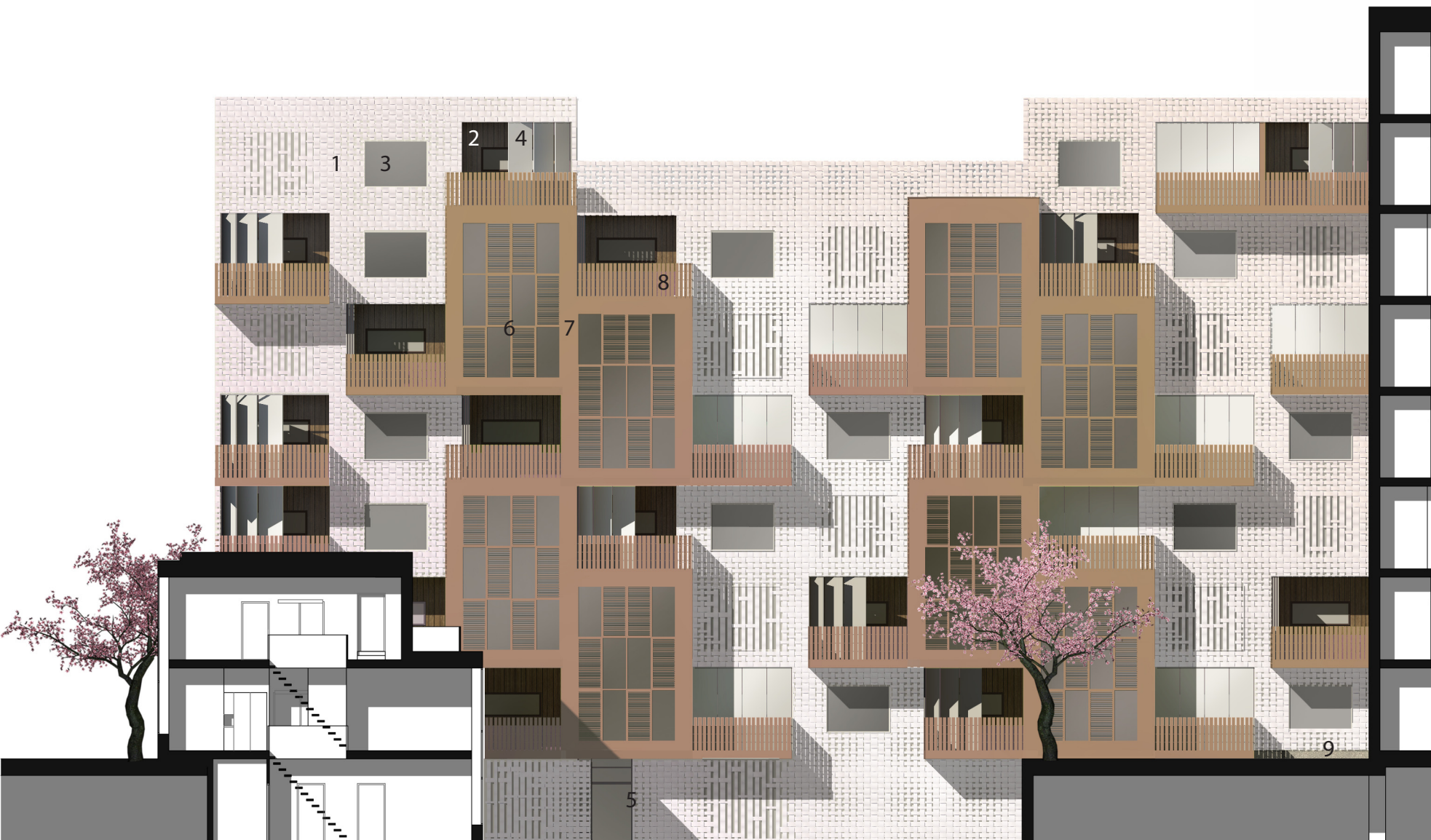
Parvekkeiden siirtoseinät toimivat verkkomaisen julkisivupinnan jatkeena. Suljettavuuden ansiosta osaa parvekkeesta voidaan hyödyntää ympärivuotisesti. Lisäksi suljettava ulkotila toimii asuntoja suojaavana puskurivyöhykkeenä tarpeen mukaan niin kylmyyttä kuin kuumuuttakin vastaan.

- 1 Lasikuituvahvisteinen polymeerikomposiitti, luonnonvaalea
- 2 Pystyrimoitus, tumma ruskea
- 3 Lasi, kirkas
- 4 Teräs, harmaa
- 5 Alumiini, jauhemaalattu, tumma ruskea
- 6 Betoni, harmaa





- 1 Lasikuituvahvisteinen polymeerikomposiitti, luonnonvaalea
- 2 Pystyrimoitus, tumma ruskea
- 3 Lasi, kirkas
- 4 Lasituslasi, puolilämpäisevä
- 5 Teräs, harmaa
- 6 Alumiini, jauhemaalattu, tehosteväri
- 7 Betoni, rapattu, tehosteväri
- 8 Lauta, maalattu, tehosteväri
- 9 Betoni, harmaa

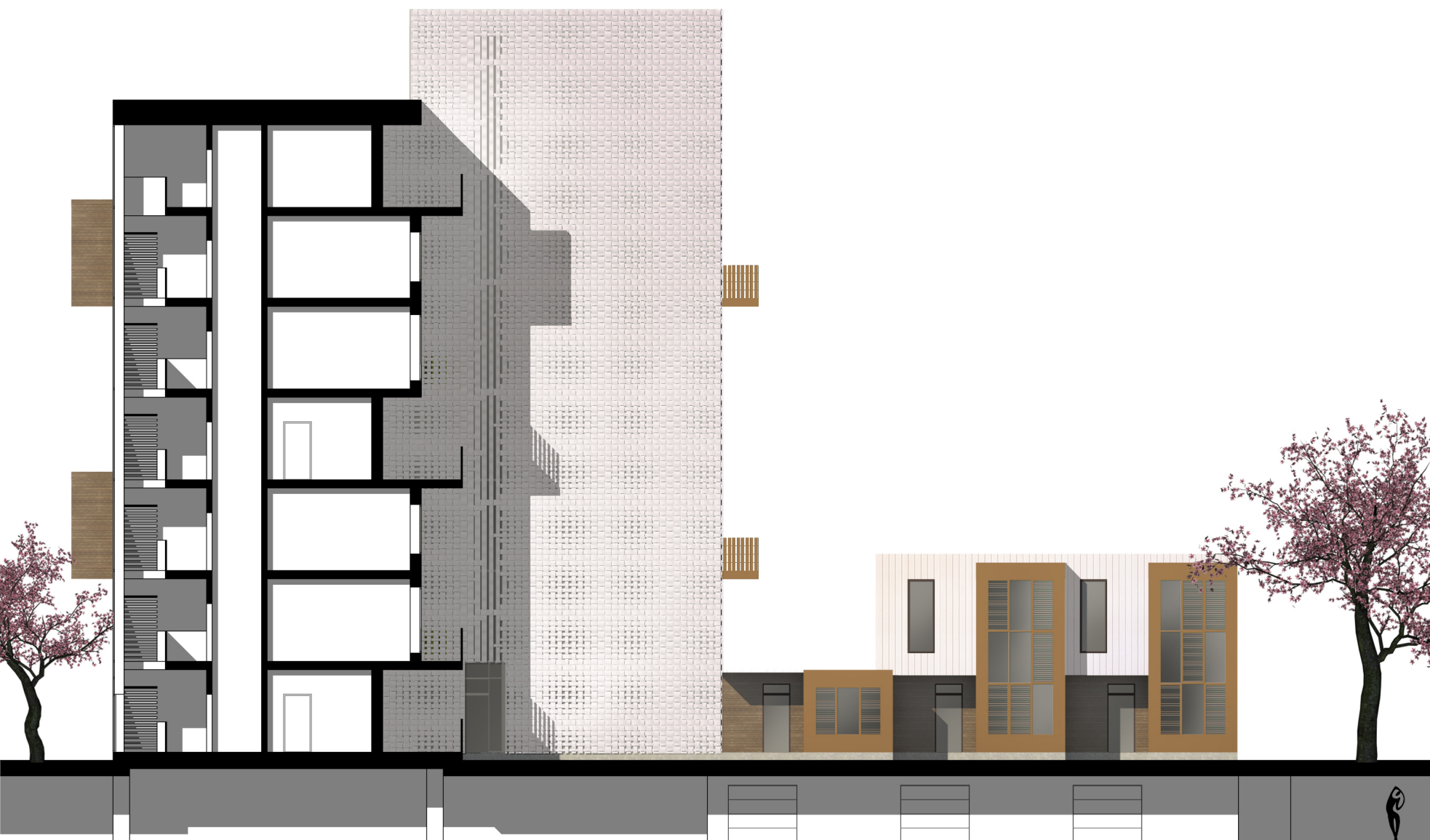






- 1 Pystyaukko, valkoinen
- 2 Pystyaukko, tumma ruskea
- 3 Lasi, kirkas
- 4 Alumiini, jauhemaalattu, tehoseväri
- 5 Betoni, rapattu, tehoseväri
- 6 Lauta, maalattu, tehoseväri
- 7 Betoni, harmaa





7.4.2 Kaupunkikuva

Kortteli- ja julkisivutason perusratkaisut sekä rakennusten sijoittautuminen suunnittelupaikkaan muodostavat vaihtelevaa kaupunkikuvaa korttelin eri puolille.

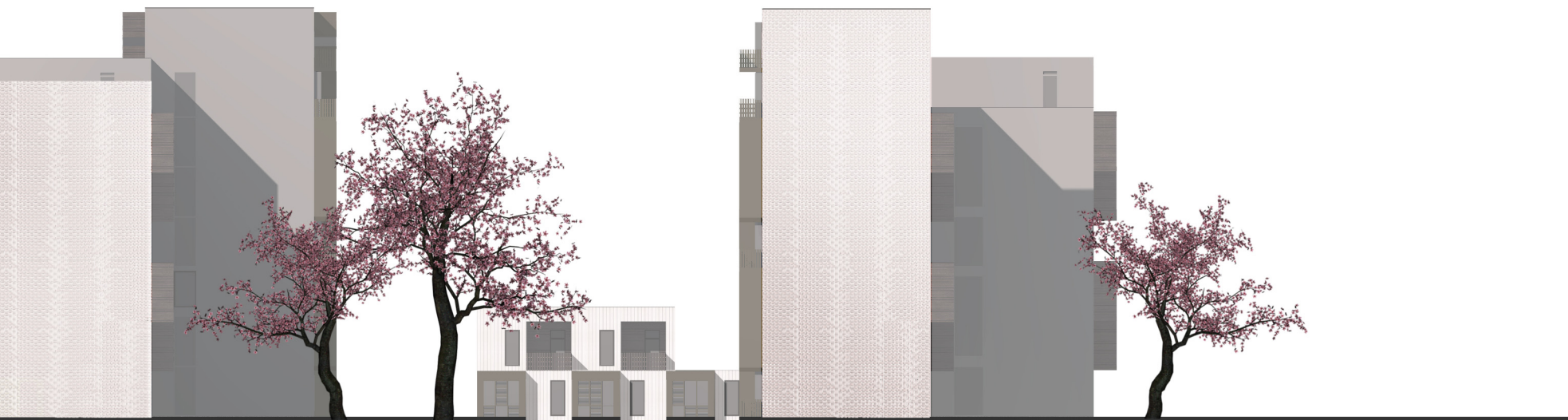




KORTTELIJULKISIVU ETELÄÄN 1/400



VIRKISTYS-
REITTI

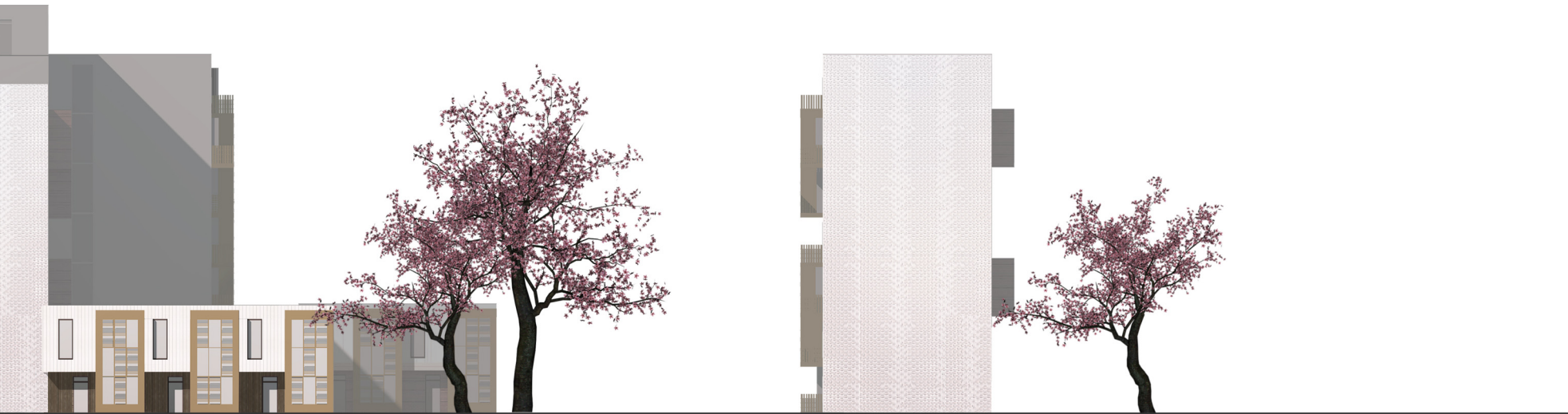




KORTTELIJULKISIVU POHJOISEN 1/400



96 KORTTELIJULKISIVU LÄNTEEN 1/400



7. Passiivitalon rakenneratkaisut

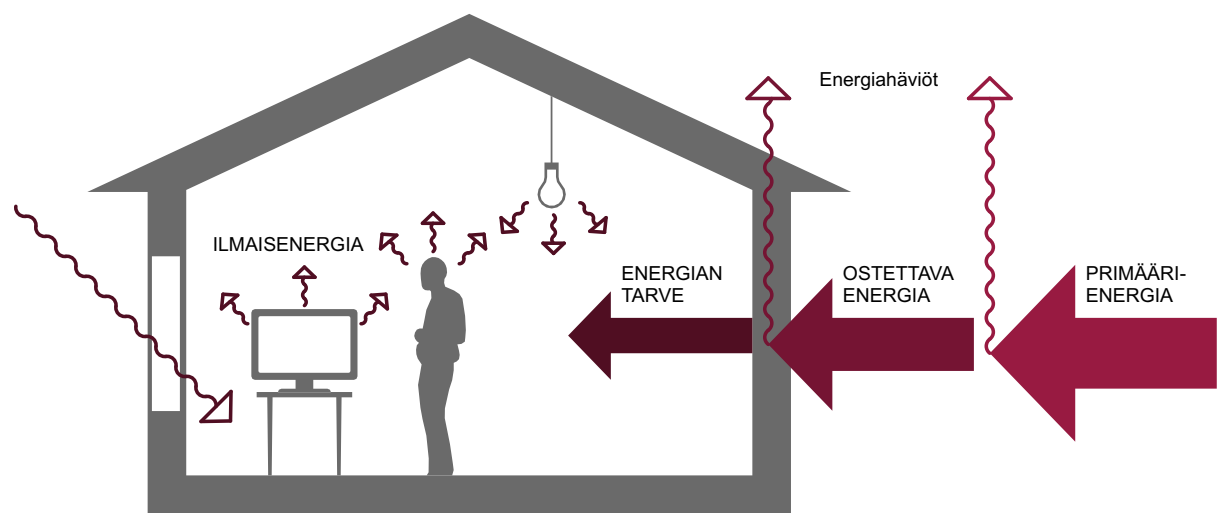
Saint-Cobain on monikansallinen yritys, joka päätoimialanaan tuottaa monipuolisia rakentamisen ratkaisuja yhteistyössä useiden tunnettujen tuotemerkkien kanssa. ISOVER-yhtymä tuottaa rakenneratkaisujen eristeet. (34)

Saint-Cobainin Multi-Comfort -konsepti on yksinkertaistettuna valikoima passiivirakentamisen rakenneratkaisuja. Rakenteiden tiiviys ja mittava lämmöneristys yhdistettynä huolelliseen toteutukseen ovat yrityksen vastaus ekotehokkaan ja turvallisen rakentamisen vaatimuksiin. (34) Suunnitelmassa on hyödynnetty kansainvälisen tuomariston ohjeiden mukaisesti passiivirakentamisen peruskonseptia (33). Rakennetyypit on valikoitu Saint Cobainin valikoimaa soveltaen suunnitelman ehdoilla.

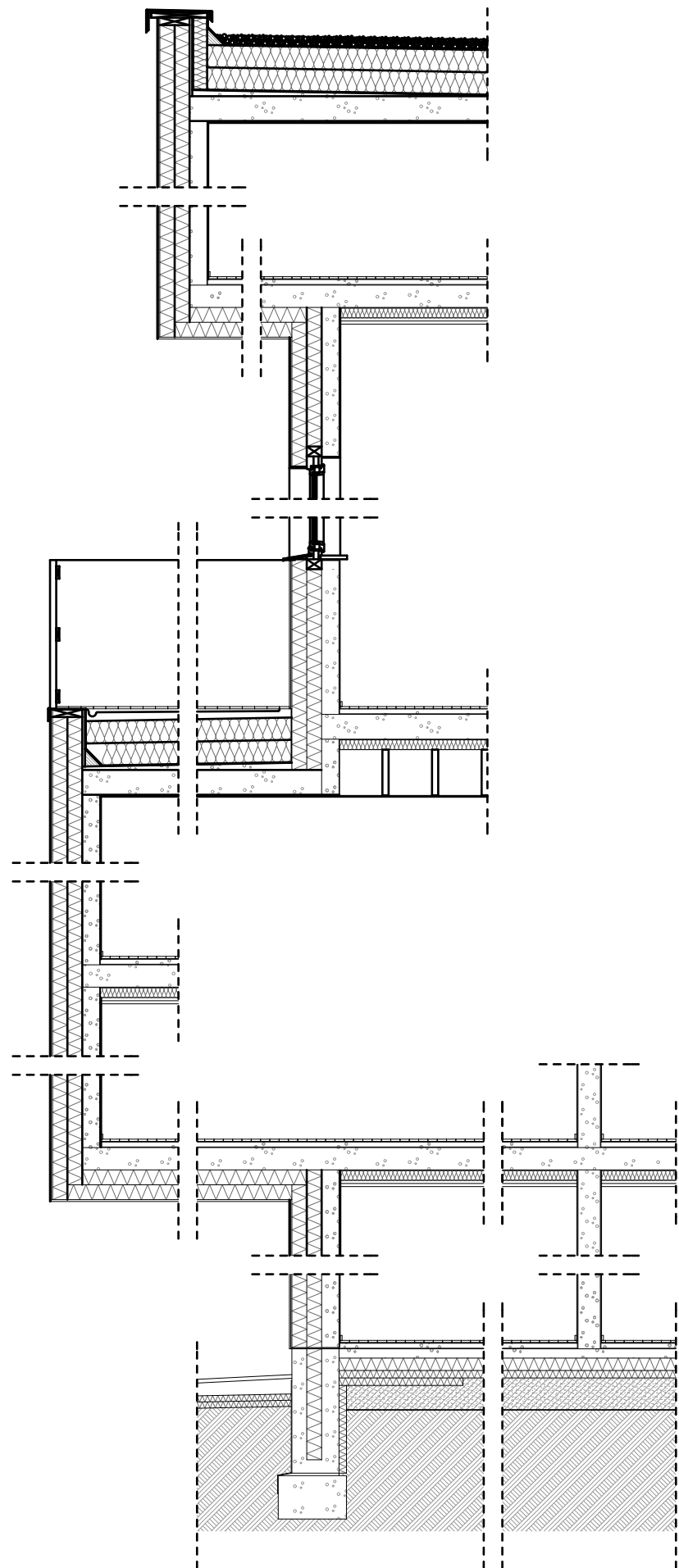
Alkuperäinen ja kansainvälinen passiivitalon määritelmä perustuu kolmeen tunnuslukuun, joille on määritetty passiivirakentamiseen hyväksytyt enimmäisraja-arvot. Tarkasteltavia kriteerejä ovat rakennuksen kokonaisprimäärienergiatarve, tilojen lämmitysenergiatarve sekä ilmanvuotoluku. Kaksi ensimmäistä ilmaistaan suhteessa rakennuksen pinta-alaan ja ilmanvuotoluku suhteessa kuluvaan aikaan. (35, s.2-3) Ilmanvuotoluvulla tarkoitetaan rakennuksesta vuotavan ilman määrää suhteessa ulkovaipan kokonaispinta-alaan. Käytännössä rakennuksen ilmanvuotoluku on sitä parempi, mitä pienempi se on. (36)

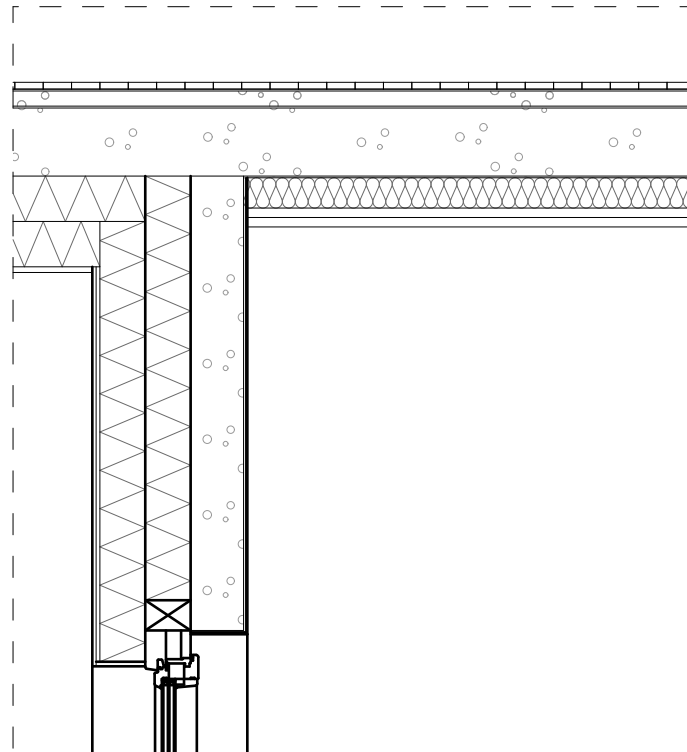
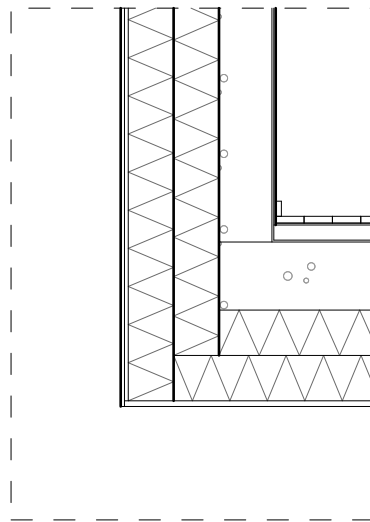
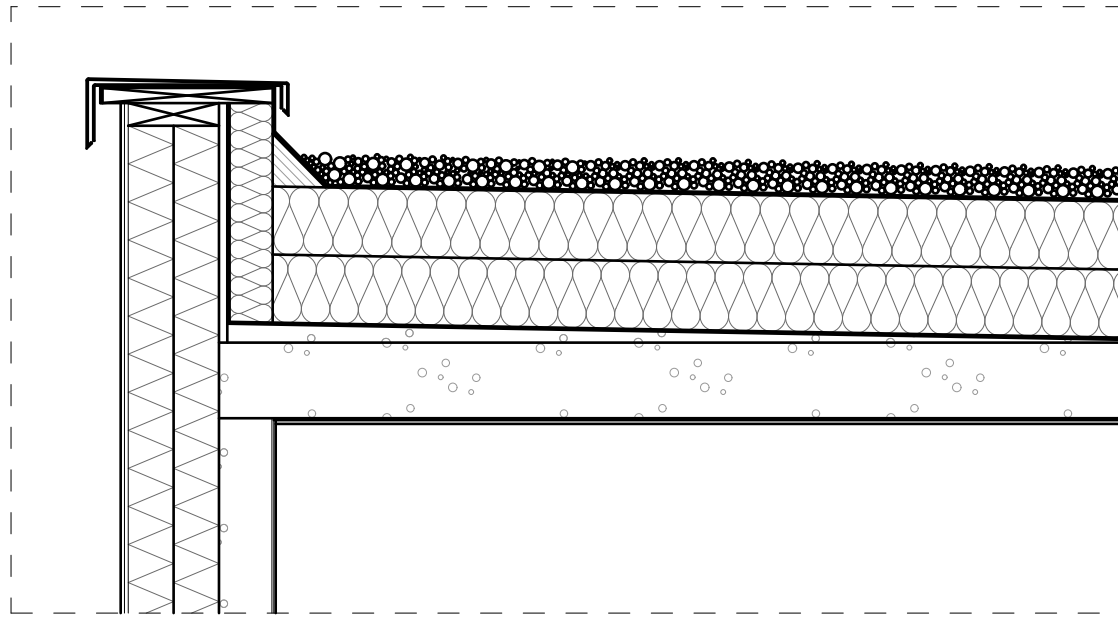
Passiivitalon kannalta olennaista ei siis ole eristekerroksen paksuus tai yksittäisen rakennusosan U-arvo, vaan koko rakennuksen energiantarve ja ilmatiiviys (35, s.12). Pieni energiantarve kuitenkin saavutetaan pääasiassa ulkovaipan ominaisuuksien, kuten seinien, ala- ja yläpohjien sekä ikkunoiden ja ovien riittävän lämmöneristävyyden ja ilmatiiviyden, sekä varaavan massan ja ilmaisenergiälähteiden hyödyntämisen avulla. Passiivirakentamisen konseptiin sisältyy tehokas lämmön talteenottojärjestelmä sekä lämmitysilmankin jakamisesta huolehtiva koneellinen ilmanvaihto, mutta kuten passiivitalon nimikin jo vihjaa, ei energiansäästökeinojen pääpaino ole teknisissä laitteissa. (35, s.2-3)

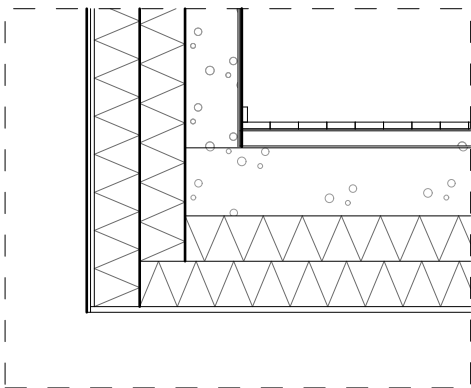
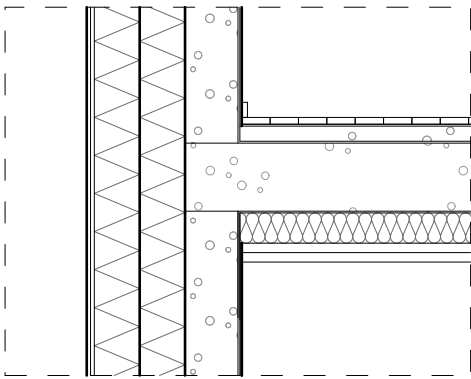
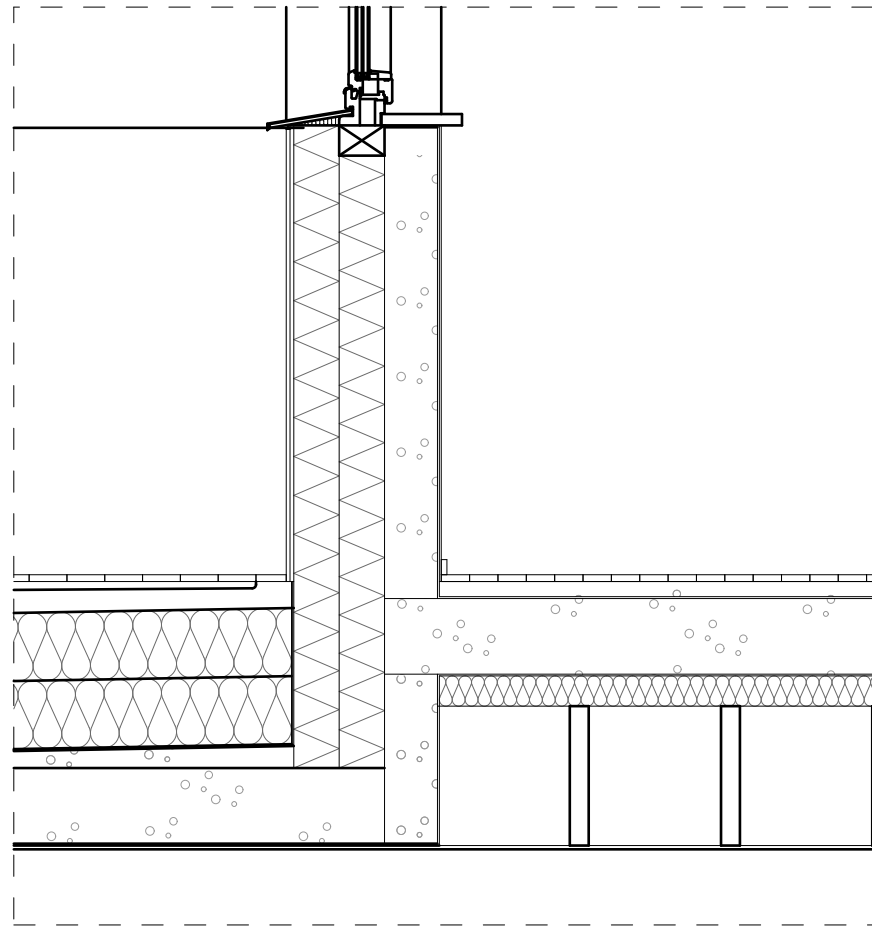
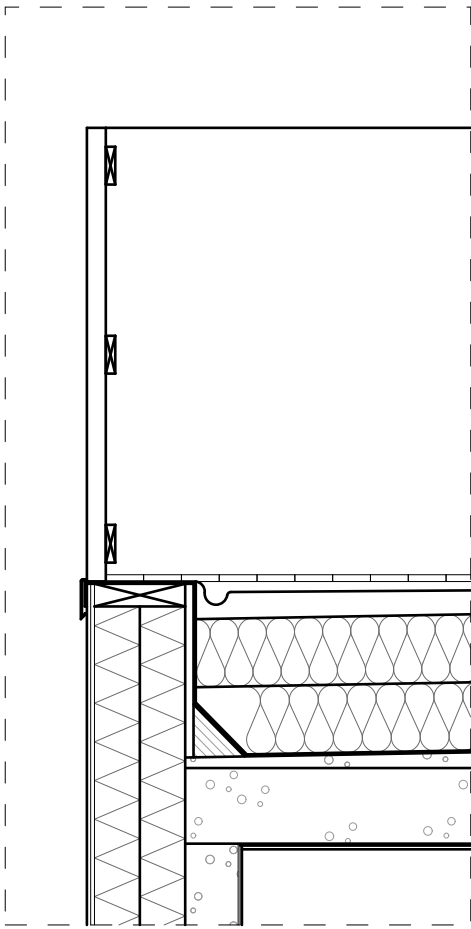
Konsepti ei sellaisenaan sovellu rakennuksen energiatehokkuuden tasavertaiseen arvioimiseen kaikkialla maailmassa. Esimerkiksi monissa lämpimissä maissa rakennusten jäähtytys kuluttaa lämmitystä suuremman määrän energiaa, mikä on huomioitu konseptin paikallisissa sovellutuksissa. (35, s.4)

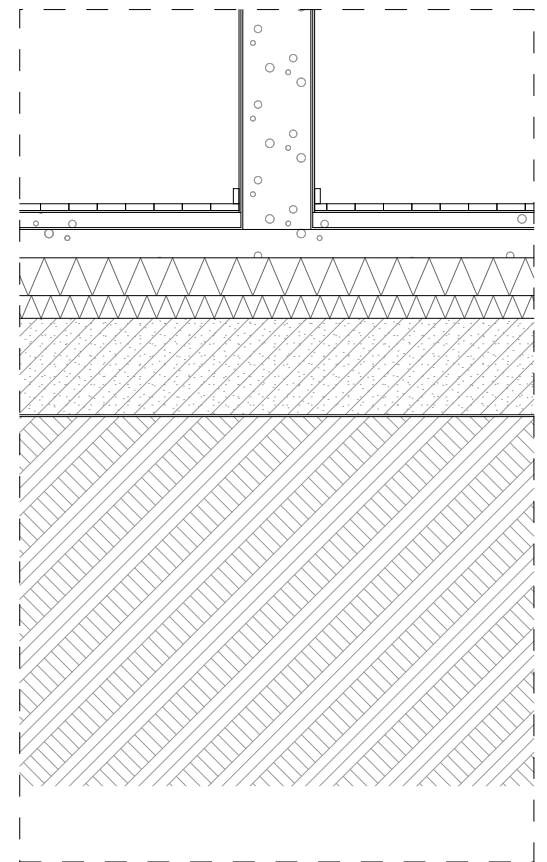
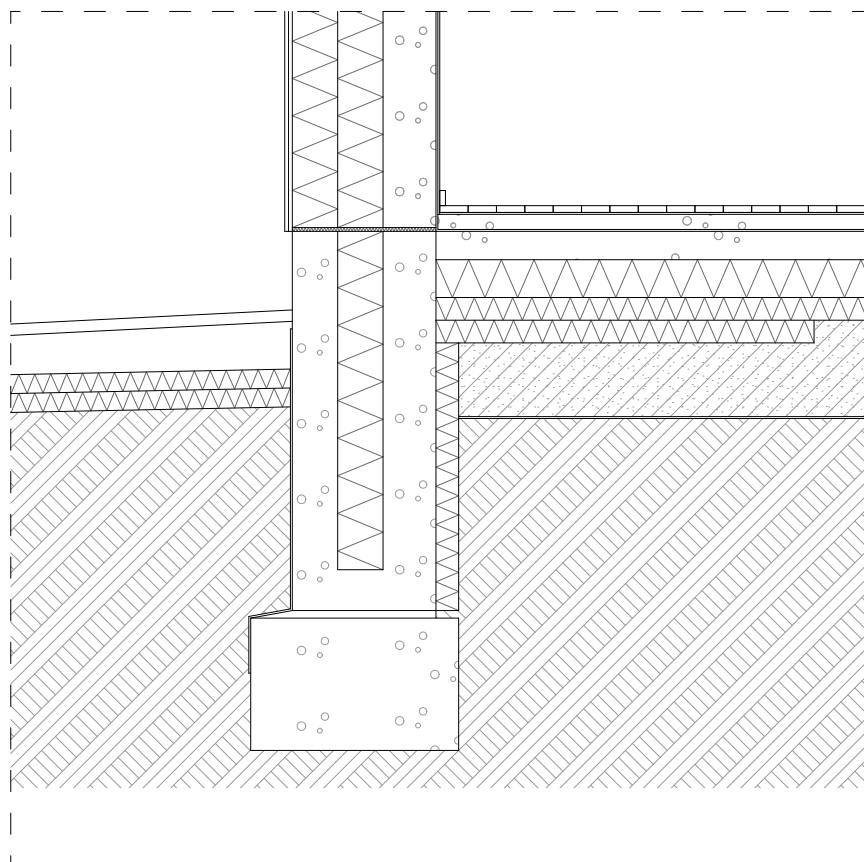
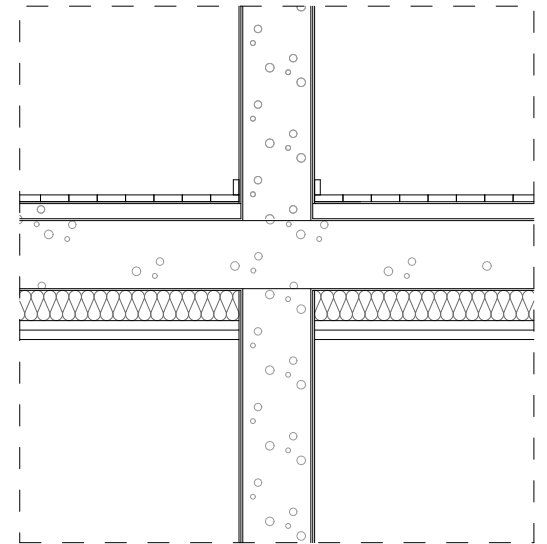
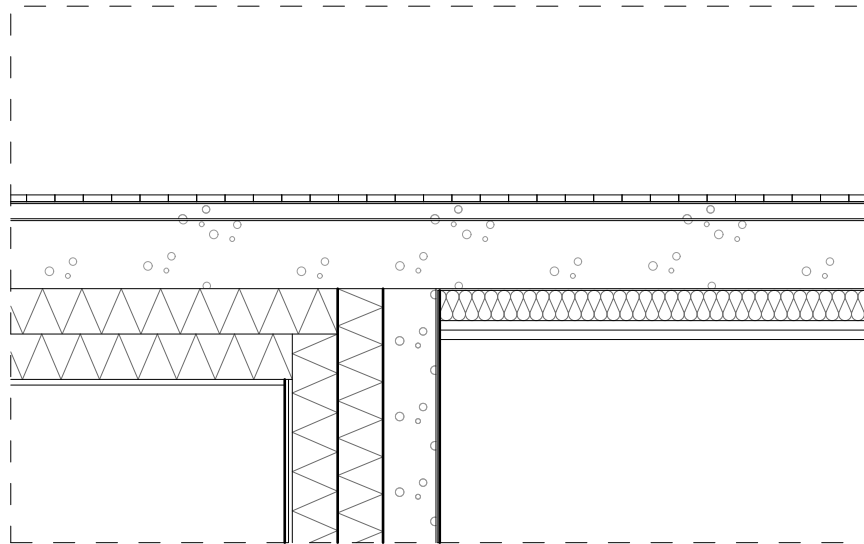


Passiivirakennuksen energiankulutus.









8.1 Ilmanpaineen vaikutus rakennuksen fysikaaliseen toimintaan

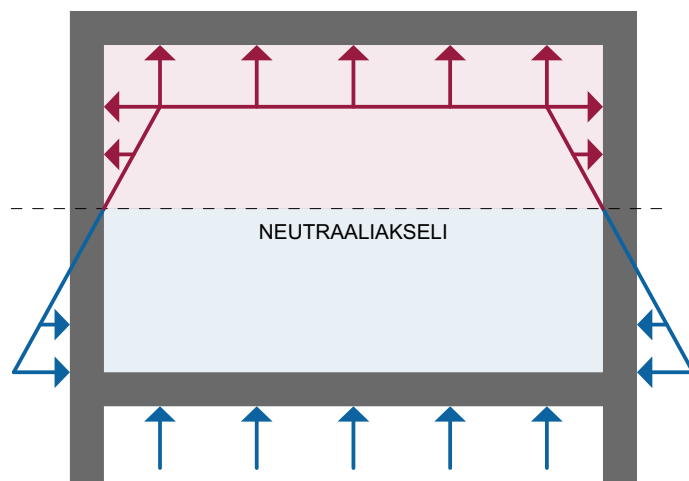
Rakennuksen ilmanpaine ei ole koskaan kauttaaltaan tasainen, vaan rakennuksessa ja sen ulkopuolella esiintyy monenlaisia ilmanpaineolosuhteita. Ilmanpaine-erot saavat tiloissa ja rakenteissa aikaan luonnollista ilman virtausta. Savupiippuvaikutus, ilmanvaihto ja lämmitys sekä tuuli synnyttävät paine-erojen välityksellä rakenteiden läpi kulkeutuvaa ilman virtausta, jota kutsutaan pakotetuksi konvektioksi. Täydellisen tiiviissä rakenteessa ei pakotettua konvektiota esiinny. (37, s.73)

Painovoimainen eli luonnollinen ilmanvaihto perustuu erilämpöisten ilmassojen keskinäiseen liikkeeseen ja siitä aiheutuviin paine-eroihin. Ilmiötä kutsutaan hormi- tai savupiippuvaikutukseksi. (38, s.1) Sisätilassa huoneilma lämpenee ja samalla sen tiheys pienenee. Lämmin, kevyt ilma nousee tilassa ylöspäin aiheuttaen huoneen yläosaan ylipaineen. (37, s.74) Lämmin ilma poistuu ilmanvaihtohormin kautta niin ikään savupiippuvaikutuksen seurauksena, jolloin ulkoa virtaa korvausilmaa rakenteessa olevista aukoista. Tuuli voimistaa rakennusten sisäisiä paine-eroja ja tehostaa luonnollista ilmanvaihtoa (38, s.1), mutta voi käänteisesti haitata koneellisen ilmanvaihdon toimintaa (37, s.75).

Koneellinen ilmanvaihto perustuu niin ikään ilmanpaine-eroista johtuviin virtauksiin, mutta luonnollisesta ilmanvaihdosta poiketen tilojen ilmanpaine säädetään keinotekoisesti joko yli- tai alipaineiseksi. Koneellisesti aikaansaatu ylipaine on rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta riskitekijä, mikäli rakenteiden tiiviydestä ei ole riittävällä tarkkuudella huolehdittu. Kylminä vuodenaikoina sisätilan korkeammasta paineesta ulos matalampaan paineeseen virtaava ilma jäähtyy matkalla, ja samalla sen suhteellinen kosteus kasvaa. Vaipan rakenteiden läpi päästessään kosteus voi tiivistyä rakenteiden sisälle ja aiheuttaa pahimmillaan vakavia kosteusvaurioita. (37, s.75)

Keinotekoisesti aikaansaatu alipaine synnyttää vastaavasti ilman virtausta ulkoa sisäänpäin. Alipaineinen ilmanvaihto on kosteusteknisesti turvallinen vaihtoehto myös kylmällä säällä, koska sisälle liikkuva ilma kykenee lämmitessään sitomaan itseensä suuremman määrän kosteutta, ja näin ollen jopa kuivattaa vaipan rakenteita. (37, s.75)

Koneellisen ilmanvaihdon aiheuttamat ilmavirtaukset takaavat laadukkaan sisäilman, mutta voivat vaikuttaa kielteisesti oleskeluviihtyisyyteen. (37, s.75) Suunnittelutyössä mukavuustekijät on huomioitu yhdistämällä koneellinen ja luonnollinen ilmanvaihto.



Ilmanpaineen vaikutus täysin suljettuun huone-tilaan. Neutraaliakselin kohdalla huoneen ilmanpaine vastaa ulkona olevaa painetta. Muun muassa aukotuksen koko ja sijainti vaikuttavat neutraaliakselin sijaintiin. (37, s.75-76)

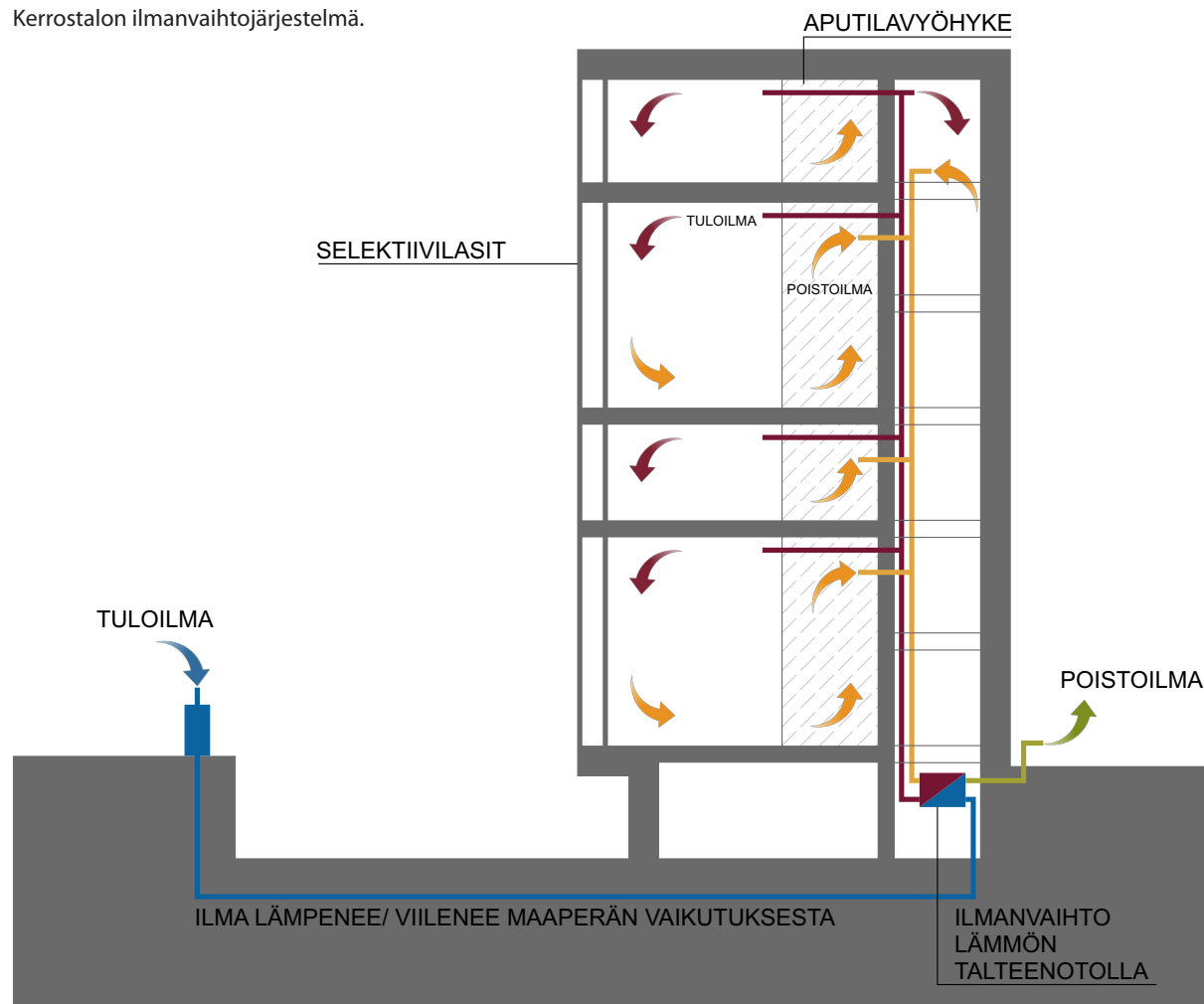
8.2 Ilmanvaihto ja lämmitys

Suunnitteluratkaisussa rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiatarve pidetään minimissään hyvällä lämmöneristyksellä ja vaipan ilmatiivyydellä. Tarvittava lämmitysenergia otetaan ekologisesti maalämpönä. Lisäksi rakennuksiin on passiivirakentamisen normien mukaisesti sijoitettu tehokas lämmön talteenottojärjestelmä. Massiiviset rakenteet varaavat hyvin lämpöä ja tasaavat ympärivuotisesti rakennuksen lämpötilojen vaihtelua.

Rakennusten kesäaikaisesta viilennyksestä huolehditaan ensisijaisesti rakenteellisin keinoin. Ilmanvaihto perustuu osin koneelliseen järjestelmään, osin luonnollisiin konvektiovirtauksiin. Ilman laatua ja lämpötilaa valvovat anturit käynnistävät tarpeen mukaan koneellinen jäähdytyksen ja ilmanvaihdon. Luonnollinen ilmanvaihto mahdollistetaan suljettavilla ilmanvaihtokanavilla.

Asuntojen olohuoneiden suuret ikkunapinnat varustetaan mekaanisesti säädettävien auringonsuojajapaneelien. Julkisivulevyjärjestelmällä huolehditaan yhteiskäyttöisten tilojen aurinkosuojauksesta ja ehkäistään tilojen ylikuumentumista. Kesäkaudella viilennystä ja ilman vaihtuvuutta tehostetaan keskitetysti säädettävällä yötuuletuksella.

Kerrostalon ilmanvaihtojärjestelmä.



8.3 Ääneneristys ja paloturvallisuus

Ääneneristys on huomioitu erityisesti välipohjaratkaisuissa tuomalla niihin riittävästi ääntä vaimentavia kerroksia sekä toisaalta hyödyntämällä massiivirakenteita. Rakenteiden liittymäkohtiin on kiinnitetty erityistä huomiota myös ääneneristyksellisistä syistä.

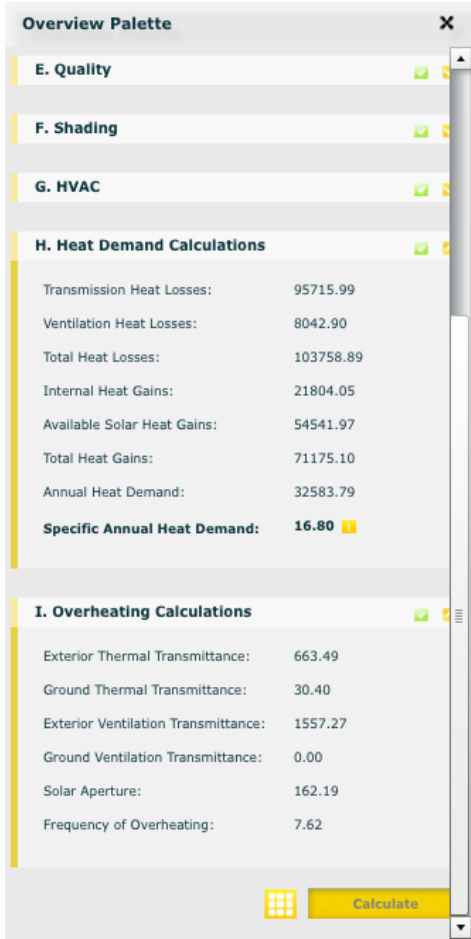
Rakennusten paloturvallisuudesta on huolehdittu jakamalla ne asunnoittain ja kulkutiloittain suljettaviin palo-osastoihin. Osastojen väliset kantavat rakenteet suunnitellaan kestävästi tulipaloa romahtamatta vähintään puolen tunnin ajan.

8.4 ISOVER MCH Designer passiivirakennuksen suunnittelun tukena

Kilpailuvaiheen pakollisiin osatehtäviin kuului suunnitelman energiatehokkuuden arviointi käyttäen apuna ISOVER:in Multi-Comfort House Designer -laskentaohjelmaa. Ohjelma on tarkoitettu passiivirakennuksen luonnosvaiheen suunnittelun avuksi (39). Sovelluksen tuottaman laskelman avulla mitattiin yhden osallistujan itsensä suunnitelmastaan valitsemansa rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysenergian tarvetta. Vuotuiselle energiankulutukselle oli kilpailuohjelmassa asetettu raja-arvot, joiden tuli toteutua suunnitelmassa. Lämmityksen osalta tavoiteltiin 30 kWh/m² maksimienergiankulutusta; jäähdytysenergian kulutuksen tuli jäädä alle 15 kWh/m²:in (2, s.16).

Käytännön laskentaprosessi sisälsi joukon lähinnä monivalintatyyppisiä kysymyksiä rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavista ominaisuuksista, kuten erilaisista laajuuksista sekä rakenneratkaisuista. Tavoitearvojen täyttymisen edellytyksenä olivat riittävän tehokkaat ulkovaipan rakenteet, mutta niiden lisäksi kokonaisuuteen vaikuttivat muun muassa rakennuksen mittasuhteet, massoittelu, suuntaus ja sijoittuminen suhteessa muihin tontilla oleviin rakenteisiin. Lisäksi laskentaohjelmaan syötettiin lukuisia pienemmän mittakaavan valintoja koskien esimerkiksi ikkunoita varjostavia rakenteita ja kasvillisuutta sekä lämmön talteenottojärjestelmän tehokkuutta.

Muun muassa suppeasta vaihtoehtojen valikoimasta johtuen laskentaohjelman tulokset itsessään olivat lähinnä suuntaa antavia, ja raja-arvojenkin täyttyminen osittain sattuman kauppaa. Laskentaprosessi kuitenkin avasi rakennuksen energiatehokkuuteen liittyviä osatekijöitä ja tarkoituksensa mukaisesti tarjosi suuntaviivoja jatkosuunnitteluun. Syvällisemmän energiatarkastelun työkaluksi ei ISOVER:in MCH Designerista kuitenkaan ole.



The screenshot shows the 'Overview Palette' window of the ISOVER MCH Designer software. It displays a list of calculation categories with checkboxes and a 'Calculate' button at the bottom right.

Overview Palette	
E. Quality ✓	
F. Shading ✓	
G. HVAC ✓	
H. Heat Demand Calculations ✓	
Transmission Heat Losses:	95715.99
Ventilation Heat Losses:	8042.90
Total Heat Losses:	103758.89
Internal Heat Gains:	21804.05
Available Solar Heat Gains:	54541.97
Total Heat Gains:	71175.10
Annual Heat Demand:	32583.79
Specific Annual Heat Demand:	16.80 🟡
I. Overheating Calculations ✓	
Exterior Thermal Transmittance:	663.49
Ground Thermal Transmittance:	30.40
Exterior Ventilation Transmittance:	1557.27
Ground Ventilation Transmittance:	0.00
Solar Aperture:	162.19
Frequency of Overheating:	7.62

Laskentaohjelmaa käytettiin G-talon lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuksen arvioimiseen.

Loppusanat

Osallistuin kevään 2015 ISOVER-opiskelijakilpailuun lähtökohtaisena aikeenani jalostaa suunnitelmasta myöhemmin diplomityöni. Halusin kuitenkin palauttaa jatkosta riippumatta myös mahdollisimman hyvän kilpailuehdotuksen. Kaksijakoinen lähtökohta toi alkuvaiheen tavoitteidenmäärittelyyn omat hankaluutensa. Kilpailutyömielessä prosessi olisi kaivannut rutkasti lisää lennokkuutta. Diplomityön tekemisen kannalta sen sijaan heti alussa laadittu selkeä sisältöluonnos olisi tehnyt myös jatkotyöskentelystä merkittävästi helpompaa.

Jatkokehitysmahdollisuudet mielessäni pyrin alusta saakka tekemään asiat välttämättä mahdollisia tulevia sudenkuoppia, mikä ironisesti aiheutti ongelmia itse kilpailuvaiheeseen. Kilpailuehdotus oli paikoitellen esimerkiksi piirustusteknisesti jopa tarpeettoman pitkälle viety; rakennusten tekninen toteutus sen sijaan jäi käytännössä väärin kohdennetun ajankäytön vuoksi lähes käsittelemättä.

Suhtauduin kilpailuvaiheen tehtävänantoon hyvin kirjaimellisesti, mikä johti suunnitelman kannalta ristiriitaisiin lopputuloksiin. Toisaalta kilpailuohjelma tarjosi sen, mitä formalistinen suunnittelupaikka ei tuntunut tarjoavan: lähtökohdat suunnittelulle. Toisaalta taas kilpailuohjelman rajoitteiden tunnollinen noudattaminen yhdistettynä oman suunnitelmani peruskonseptiin johti muun muassa kilpailuehdotuksen lähiömäisyyteen, jota jouduin diplomityövaiheessa paikkailemaan.

Kilpailun laajuuteen nähden vajaan kolmen kuukauden työskentelyaika oli melko tiukkaan rajattu, minkä lisäksi itse päätin osallistumisestani vasta kun kilpailuaikaa oli mennyt jo noin kuukausi. Vikkelästä aikataulusta huolimatta kilpailutyö valmistui ajallaan ja ansaitsi kansallisen tason arvostelussa kunniamaininnan. Suunnitelman erityisiksi vahvuuksiksi nimettiin rakennusten tila- ja julkisivusuunnittelu, mutta esimerkiksi tekniset ratkaisut ja kaupunkikuva jättivät tuomariston mielestä vielä toivomisen varaa.

Kilpailuvaiheen jälkeen diplomityön tekemisen aloittaminen tuntui hankalalta, olinhan jo kerran saattanut työn ikään kuin loppuun saakka. Tiukasta loppukiristä aiheutuneiden mallitekniisten ja suunnitelmaan liittyvien sotkujen korjaaminen vei työn laajuudesta johtuen huomattavan paljon aikaa. Niin ikään lopullisen työn kasaaminen oli kunnollisen rakennehahmotelman puuttuessa vaivalloinen prosessi. Toisaalta kirjallisen taustatietojen kerääminen ja kirjoittaminen diplomityötä varten avasivat uusia näkökulmia myös suunnitteluratkaisuun, ja alkukankeuden jälkeen myös innostus työtä kohtaan palasi hiljalleen.

Kiitokset

*“Alone we can do so little;
together we can do so much.”
-Helen Keller*

Vaikka mielelläni puurrankin asioiden kimpussa itsenäisesti, saisin tuskin mitään koskaan valmiiksi ilman ulkopuolista tukea ja tuoreita näkemyksiä. Haluaisinkin kiittää kilpailutyöni ohjaajaa Teemu Hirvilammia ajatuksia herättävistä tahallisista virhetulkinnoista sekä Markku Hedmania ripeästä reagoinnista aikarajojen kävellessä vastaan.

Lisäksi haluaisin kiittää isääni ja veljiäni kannustuksesta sekä koko sukua sinnikkästä painostuksesta valmistumisen suhteen. Kiitos kaikille ystävilleni kiireideni ymmärtämisestä sekä erityisesti Sannalle kärsivällisestä tuesta ja murheideni kuuntelusta, koskivat ne sitten arkkitehtonisia kysymyksiä tai arkielämän pieniä pulmia. Ollille suuri kiitos tuesta ja piristyksestä etenkin työn loppumetreillä. Osansa kiitoksista ansaitsevat myös työkaverini, jotka uskoivat työni valmistumiseen silloinkin, kun itse olin valmis heittämään hiiren nurkkaan.

Suurin kiitos kaikesta kuuluu kuitenkin rakkaalle äidilleni Kirstille, joka ei valitettavasti saanut olla kokemassa tätä päivää kanssani, mutta on tuolla jossain varmasti ylpeä tyttärestään.

- (1) Bureau International des Expositions . Past Expos – A short history of Expos (verkkodokumentti). (viitattu 3.5. 2016). Saatavissa: <http://www.bie-paris.org/site/en/expos/past-expos/past-expos-a-short-history-of-expos>
- (2) ISOVER Multi-Comfort House Students Contest Edition 2015, Residential function in cold climate – Astana, Kazakhstan. Kilpailuohjelma. 18 s.
- (3) Expo 2017 Future energy, maailmannäyttelyn viralliset internet-sivut (verkkodokumentti). (viitattu 5.12.2015). Saatavissa: <https://expo2017astana.com/>
- (4) Maailman luonnonsäätö WWF. Ilmastonmuutos (verkkodokumentti). (viitattu 3.5.2016). Saatavissa: <http://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/>
- (5) SCP ClearingHouse (Sustainable Consumption and Production). Energy efficiency (verkkodokumentti). (viitattu 6.5.2016). Saatavissa: www.scpclearinghouse.org
- (6) ilmasto.org. Kioton pöytäkirja (verkkodokumentti). (viitattu 27.11.2015). Saatavissa: <http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/ilmastopolitiikka/kansainvalinen-ilmastopolitiikka/kioton-poytakirja>
- (7) Ympäristöministeriö. 2015. Keskeiset kansainväliset ympäristösopimukset sekä niiden tavoitteet ja toteutuminen. 8 s.
- (8) European Commission Climate action. Paris Agreement (verkkodokumentti). (viitattu 3.5.2016). Saatavissa: http://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris/index_en.htm
- (9) Vehviläinen I, Pesola A, Heljo J, Vihola J, Jääskeläinen S, Kalenoja H, Lahti P, Mäkelä K, Ristimäki M. 2010. Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonepäästöt. Sitra, Helsinki. 125 s.
- (10) Energia-akatemia. Energiatermejä (verkkodokumentti). (viitattu 3.5.2016). Saatavissa: http://www.energia-akatemia.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=69&Itemid=73
- (11) Suomen ympäristökeskus. Rakennusmateriaaleilla on väliä (verkkodokumentti). (viitattu 3.5.2016). Saatavissa: [http://www.syke.fi/fi-FI/Julkaisut/Ymparistolehti/2013/Rakennusmateriaaleilla_on_valia\(28190\)](http://www.syke.fi/fi-FI/Julkaisut/Ymparistolehti/2013/Rakennusmateriaaleilla_on_valia(28190))
- (12) Energiateollisuus. Kaukolämmitys (verkkodokumentti). (viitattu 3.5. 2016) Saatavissa: energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys
- (13) Energiateollisuus. Sähköntuotanto (verkkodokumentti). (viitattu 3.5.2016). Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/sahkontuotanto>
- (14) The shift project data portal. Breakdown of electricity generation by energy source (verkkodokumentti). (viitattu 8.5.2016). Saatavissa: <http://www.tsp-data-portal.org/Breakdown-of-Electricity-Generation-by-Energy-Source#tspQvChart>
- (15) Tilastokeskus. Käsitteet ja määritelmät, Liikennesuorite (verkkodokumentti). (viitattu 25.3.2016). Saatavissa: <http://www.stat.fi/meta/kas/liikennesuorite.html>
- (16) Jalkanen R., Kajaste T., Kauppinen T., Pakkala P., Rosengren C. 2004. Asuinaluesuunnittelu, 216 s.
- (17) Liikennevirasto. 2012. Henkilöliikennetutkimus 2010-2011. 98 s.
- (18) Autoliitto. Autoilun verotus (verkkodokumentti). (viitattu 26.3.2016) Saatavissa: autoliitto.fi/tietopankki/autoilun-kustannukset/autoilun_verotus/autovero
- (19) Lahti P, Moilanen M. 2010. Kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt, kehitysvertailuja 2005-2050. 87 s.
- (20) Liikenne- ja viestintäministeriö. 2009. Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnon alan ilmastopolitiininen ohjelma 2009-2020. 53 s.
- (21) Savolainen I, Similä L, Syri S, Ohlström M. 2008. VTT:n teknologiapolut 2050, 215 s.
- (22) Ristimäki M, Kalenoja H, Tiitu M, Söderström P, Helminen V, Luttinen T, Stenvall M. 2010. Urban Zone. 97 s.
- (23) Wikipedia. Suomi (verkkodokumentti). (viitattu 5.12.2015). Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Suomi>

- (24) Wikipedia. Kazakstan (verkkodokumentti). (viitattu 5.12.2015). Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kazakstan>
- (25) Wikipedia. Alankomaat (verkkodokumentti). (viitattu 5.12.2015). Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Alankomaat>
- (26) Ilmatieteen laitos. Ilmakehä-ABC (verkkodokumentti). (viitattu 6.12.2015). Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc>
- (27) About education, Geography, Coldest Capital Cities (verkkodokumentti). (viitattu 4.5.2016). Saatavissa: <http://geography.about.com/od/physicalgeography/a/coldcapital.htm>
- (28) Moore D, Haggett P. 1992. The Guinness guide to the plants of the world. 256 s.
- (29) Brummel P. 2012. Kazakstan. 432 s.
- (30) Mayhew B., Bloom G. Clammer P. 2010. Central Asia. 564 s.
- (31) Adrian Smith +Gordon Gill Architecture (verkkodokumentti). (viitattu 24.2.2016) Saatavissa: smithgill.com
- (32) International Specialized Exhibition EXPO – 2017, Expo-alueen esittely. 24 s.
- (33) ISOVER Multi-Comfort House Students Contest Edition 2015 –webinaari 6.3.2015.
- (34) Saint-Cobain Multi-Comfort (verkkodokumentti). (viitattu 4.5.2016). Saatavissa www.isover.fi
- (35) Nieminen J, Lylykangas K. 2009. Passiivitalon määritelmä. 23 s.
- (36) Ilmanvuotoluku (verkkodokumentti). (viitattu 6.5.2016). Saatavissa: vertia.fi/tiiveysmittaus/ilmanvuotoluku
- (37) Siikanen U. 2012. Rakentajan kalenteri 2012, Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry, Rakennusten lämpö- ja kosteusfysikaalisia näkökohtia. 88 s.
- (38) Erat B. Luonnonmukainen ilmanvaihto. 3 s.
- (39) ISOVER Multi-Comfort House Designer (verkkodokumentti). (viitattu 6.5.2016). Saatavissa: www.isover-construction.com

Kuvalähteet:

- Kuvat 1, 3 www.skyscrapercity.com
- Kuvat 2, 7, 8, 9 ISOVER Multi-Comfort House Students Contest Edition 2015, Residential function in cold climate – Astana, Kazakhstan. Kilpailuohjelma. 18 s.
- Kuva 4 www.mabetex.eu
- Kuva 5 best-of-asia.tumblr.com
- Kuva 6 www.oddcities.com

Numeroimattomat kuvat tekijän omia.

