

Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos.
Rakennustuotanto ja -talous. Raportti 11
Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering.
Construction Management and Economics. Report 11

Antti Kurvinen, Juhani Heljo & Anu Aaltonen

Lähiökorttelikorjaamisen taloudellinen päätöksenteko

Lähiöohjelma 2008–2011



Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos.
Rakennustuotanto ja -talous. Raportti 11
Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering.
Construction Management and Economics. Report 11

Antti Kurvinen, Juhani Heljo & Anu Aaltonen

Lähiökorttelikorjaamisen taloudellinen päätöksenteko
Lähiöohjelma 2008–2011

Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos
Tampere 2012

ISBN 978-952-15-2879-8 (painettu)
ISBN 978-952-15-2880-4 (PDF)
ISSN 1797-8904

Tiivistelmä

Monimuotoisten korttelitason kehityshankkeiden päätöksenteko on haastavaa ja sitä tukevalle kriteeristölle ja työkaluille on selkeästi tarvetta. EVAKO-hankkeessa analysoitiin lähiökorttelikorjaamiseen liittyvää päätöksentekoa ja kehitettiin sitä tukevia työkaluja ja menetelmiä. Näiden tarkoituksena on ohjata lähiöasumista edullisempaan, viihtyisämpään ja erityisesti energiatehokkaampaan suuntaan. Päätöksentekoa analysoitiin Annalan case-alueen kautta tarkastelemalla alueen kohteiden suunnitteluprosessia ja siihen liittyvää päätöksentekoa. Päätöksentekoa tarkasteltiin nimenomaan vuokratotaloyhtiöiden näkökulmasta, mutta tuloksia voidaan soveltaa laajalti myös päätöksentekoympäristöissä.

Päätöksentekoon vaikuttaneiden tekijöiden ryhmittely osoitti, että lähiökorttelikorjaamiseen liittyvä päätöksenteko on varsin monimutkainen kokonaisuus, johon liittyvien tekijöiden yksiselitteinen ryhmittely on hyvin haastavaa. Oleellimmat käytännön päätöksentekoon vaikuttaneet tekijät jaettiin kuuden suuremman kokonaisuuden alle. Ryhmitellyt kokonaisuudet eivät kuitenkaan olleet itsenäisiä ja erillisiä kokonaisuuksia, vaan ne näyttivät liittyvän kiinteästi toisiinsa. Näin ollen esimerkiksi energiatehokkuuden käsittely päätöksenteossa omana erillisenä kokonaisuutena ei ole mahdollista, vaan se on huomioitava osana laajempaa kokonaisuutta. Nykyisillä energian hinnoilla energiakustannusten osuus vuokrasta on suuruusluokkaa 10–20 %. Energian hintojen noustessa energiakustannusten osuus vuokrasta kasvaa ja vuokrankorotuspaineet lisääntyvät. Vaikka energiakustannukset muodostavat elinkaartiloudellisesti merkittävän menoerän ja tulevia vuokrankorotuspaineita voidaan hillitä energiatehokkuutta parantamalla, energiatehokkuus näyttäisi kuitenkin helposti jäävän suunnittelussa muiden asioiden varjoon. Näin ollen kansallisiin ja kansainvälisiin energiatehokkuustavoitteisiin pääseminen tulee vaatimaan korjaamisessa uudenlaista suunnittelun ohjausta.

Konkreettiseksi päätöksenteon työkaluksi energiatehokkaiden valintojen tekemiseen osana suunnittelua on esitetty systemaattinen päätöksentekoprosessi. Esitetty menettelytapa mahdollistaa eri ratkaisuvaihtoehtojen systemaattisen vertailun suunnitteluprosessin aikana ja ohjaa valintaa kohti elinkaariedullisinta ratkaisua. *Elinkaariedullisuudella* tarkoitetaan elinkaariarvojen ja elinkaarikustannusten välistä suhdetta. Esitetty prosessi jakautuu viiteen vaiheeseen, jotka ovat *hankkeen perustietojen ja valintoihin vaikuttavien tekijöiden määrittäminen, perusratkaisun suunnittelu, järjestelmävaihtoehtojen valinta järjestelmätasolla, energiansäästötoimenpiteiden valinta rakenne- ja laitetasolla (energiansäästötoimenpiteiden kannattavuusmalli) sekä kokonaisuuksien vertailu ja päätöksenteko.*

Esitetyn päätöksentekoprosessin neljännen vaiheen (*energiansäästötoimenpiteiden valinta rakenne- ja laitetasolla*) kehitystyö painottui tässä hankkeessa. Kyseistä vaihetta tukevaksi työkaluksi kehitettiin *energiansäästötoimenpiteiden kannattavuusmalli*, jonka avulla voidaan vertailla havainnollisesti energiansäästötoimenpiteiden kannattavuutta erilaisissa suunnitteluratkaisuissa. Mallin avulla voidaan tarkastella toimenpiteiden taloudellisia vaikutuksia, energiankulutusvaikutuksia sekä vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin. Kokonaisratkaisuun valittavat energiansäästötoimenpiteet voidaan valita puhtaasti taloudellisen tuottovaatimuksen perusteella tai valinnassa voidaan tarvittaessa ottaa myös arvotekijät huomioon. Tarkastelu voidaan laajentaa rakennustasolta esimerkiksi korttelitasolle, jolloin voidaan hallita laajempaa kokonaisuutta kerralla ja ohjata siihen käytettävissä olevien taloudellisten resurssien kohdistamista. Kannattavuusmallin

avulla eri suunnitteluratkaisuihin saadaan valittua järkevät toimenpiteet, minkä jälkeen kokonaisratkaisuja voidaan vertailla keskenään elinkaariedullisuuden perusteella ja valita toteutettavaksi suotuisin vaihtoehto.

Tehdyt tarkastelut osoittavat, että energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus on määrätyn edellytyksin korjaustoiminnassa parempi kuin uudistuotannossa. Tämä johtuu lähinnä siitä, että korjausrakentamisessa lämmöneristävyyden lähtötaso on merkittävästi uudisrakentamista huonompi. Määrätyillä edellytyksillä viitataan siihen, minkälainen korjaus on päätetty tehdä joka tapauksessa. Korjauksen perusratkaisun määrittämisellä on oleellinen vaikutus korjaushankkeiden energiansäästötoimenpiteiden kannattavuusarvioihin, sillä energiataloudelliset kannattavuusarviot perustuvat energiansäästötoimenpiteiden aiheuttamiin lisäkustannuksiin eikä niissä ole mukana valitusta perusratkaisusta aiheutuvaa kustannusta. On myös hyvä muistaa, että toimenpiteillä saavutettavien energiansäästöjen ja niiden toteuttamisesta aiheutuvien lisäkustannusten määrittämiseen liittyy aina merkittävää epävarmuutta.

Näyttäisi siltä, että vuokrataloyhtiöissä ollaan kiinnostuneita perustamaan päätöksiä nykyistä enemmän elinkaarikustannustarkasteluihin. Luotettava elinkaarikustannustarkastelu vaikuttaa kuitenkin vielä olevan vaikeaa ja siihen liittyy huomattavia kehittämistarpeita. Suunnitelmallisen korjaamisen ymmärrystä on edelleen pyrittävä lisäämään ja päätösten taustaksi tarvitaan työkaluja, kuten rakennusten elinkaarikustannustarkasteluihin soveltuvia laskentamalleja, jotka soveltuvat alueellisiin kehityshankkeisiin, joissa sekä korjataan että rakennetaan uutta. Markkinoilla olevat investointilaskentaan tarkoitettut mallit eivät näyttäisi aivan suoraan soveltuvan tällaisiin tarkasteluihin. Nykyisin valinnoissa painottuvat rakennuskustannukset, jolloin elinkaari-taloudellisesti kannattavia toimenpiteitä voi jäädä toteuttamatta. Koska vuokra on vuokrataloyhtiöiden liiketoiminnassa tärkein tulonlähde, toimenpiteiden vaikutus vuokratason näyttäisi nykyisin usein saavan elinkaarikustannuksia suuremman painoarvon päätöksiä tehtäessä.

Aluekehityshankkeiden elinkaarikustannustarkastelujen yhteydessä on toisinaan aiheellista tarkastella yhtenä vaihtoehtona myös vanhojen rakennusten purkamista. Hankkeessa tehdyt tarkastelut osoittivat, että taloudellisesti tarkasteltuna vanhan rakennuksen purkaminen ja uuden rakentaminen sen tilalle voi tulla kyseeseen joissain tapauksissa. Rakennusten purkamisen kannattavuudesta ei kuitenkaan voida sanoa yleispäteviä to- tuuksia, vaan tarkastelu on tehtävä aina tapauskohtaisesti. Lisäksi on huomioitava, että puhtaasti europohjaisten tarkastelujen tulokset voivat poiketa sellaisista tarkasteluista, joissa on mukana myös ”luonnontaloudellinen” näkökulma.

Rakentamisen ja lähiökorttelikorjaamisen päätöksenteossa on ongelmana, että tietoa eri ratkaisujen vaikutuksista on saatavilla vielä varsin rajoitetusti siinä vaiheessa, kun kustannuksia sitovia päätöksiä joudutaan tekemään. Ammattitaitoisella tietomallien hyödyntämisellä voidaan saada helpotusta tähän ongelmaan, jos tietomallipohjaista suunnittelua ja tiedonsiirtoa pystytään hyödyntämään siten, että suunnitteluprosessin päätöksenteon tueksi saadaan tuotettua riittävän luotettavaa ja havainnollista tietoa aiempaa varhaisemmassa vaiheessa. Tällöin edellytyksenä on, että hankkeen eri osapuolilla on riittävät valmiudet tietomallien ja tietomallipohjaisen tiedonsiirron hyödyntämiseen. Tällä hetkellä tietomalliosaaminen on laajassa mittakaavassa vielä varsin puutteellista.

Hankkeen yhtenä tavoitteena oli ohjata asumista viihtyisämpään suuntaan. Toteutettu asukkaiden viihtyvyyskysely osoitti, että naapurista kantautuvat hajut ja äänet ovat usein mainittuja ongelmia. Rakennuksen sisäinen ilmatiiviyys on ainakin yksi osasyy

hajujen ja äänien kulkeutumiseen ja näyttäisi siltä, ettei sen merkitystä korosteta nykyisin riittävästi. Ilmatiiviys saattaa olla oletettua hankalampi asia eikä sitä ehkä vielä käytännössä ymmärretä riittävän hyvin. Viihtyisyysvaikutustensa lisäksi ilmatiiviys on energiatalouden kannalta merkittävä tekijä. Hankkeen tavoitteisiin liittyvän merkittävyytensä vuoksi ilmatiiviyttä tarkasteltiin erillisenä tarkempana kokonaisuutena.

Tutkimushankkeen pääpaino oli energiataloudessa ja tarkastelut osoittivat, että korjausten yhteydessä toteutettuna on olemassa myös taloudellisesti kannattavia energiansäästötoimenpiteitä, mutta niillä saavutettavat säästöt jäävät verrattain vähäisiksi. Energiatsehokkuus ei siis juuri parane eikä säästötavoitteita saavuteta, jos energiansäästötoimenpiteiltä edellytetään suurta tuottoa. Tehokkaimmat toimenpiteet, kuten ilmanvaihdon lämmön talteenotto ja seinien lisäeristys jäävät korjausten yhteydessä usein toteuttamatta. Vaikka energiataehokkuudesta puhutaan nykyisin paljon, se on vain yksi osa lähiökehittämiseen liittyvän päätöksenteon monimuotoista ongelmakenttää. Edullisen, viihtyisän ja energiataehokkaan asumisen kannalta on tärkeää, että suunnittelussa ja päätöksenteossa huomioidaan aina ratkaisujen ja päätösten vaikutukset kokonaisuuteen eikä keskitytä liiaksi yksittäisiin osatekijöihin. Lähiöiden kehittämiseen ja energiataehokkuuden parantamiseen tarvitaan uudenlaisia toimintatapoja ja osittain myös asennemuutoksia. EVAKO-hanke on ollut yksi askel asioiden eteenpäin viemisessä ja tekijät uskovat tuotetun tiedon olevan hyödyllistä, kunhan sitä sovelletaan myös käytäntöön.

Abstract

Decision-making in multiform block-level development projects is challenging and a clear need exists for criteria and tools to support it. The EVAKO project analysed the decision-making related to suburban block renovation and developed tools and methods for it. Their aim is to guide suburban housing in a more advantageous, pleasant and, especially, energy-efficient direction. Decision-making was analysed on the basis of the Annala case area by examining the design process of targets there and related decision-making. Decision-making was reviewed specifically from the viewpoint of rental housing companies, but the results are also broadly applicable to other decision-making environments.

Classification of the factors that influenced decision-making revealed that decision-making related to suburban block renovation is a quite complicated whole, where clear-cut classification of related factors poses a great challenge. The most essential factors influencing practical decision-making were divided in six larger groups. Yet, the resulting entities were not independent, separate entities, but appeared to be closely interconnected. Thus, for example, it is not possible to treat energy efficiency in decision-making as a separate entity, but it has to be considered as part of a bigger entity. At current energy prices, energy costs account for 10–20% of the rent. As energy prices rise, energy costs' share of rents increases as does the pressure to raise rents. Although energy costs constitute a significant expense item from the viewpoint of life-cycle economy, and future pressures to raise rents can be restrained by improving energy efficiency, it would appear that energy efficiency nevertheless easily becomes overshadowed by other issues in planning. Thus, a new type of planning process management will be needed to reach national and international energy-efficiency goals.

A systematic decision-making process is suggested as the concrete tool for making energy-efficient selections as part of planning. The suggested method allows systematic comparison of alternative solutions during the planning process and guides selection towards the solution providing best life-cycle economy. *Life-cycle economy* refers to the relationship between life-time values and costs. The suggested process divides into five stages: *definition of factors influencing a project's basic data and selections*, *planning of the basic solution*, *selection of system alternatives on the system level*, *selection of energy-conservation measures on the structural and equipment level* (profitability model for energy-conservation measures) and *comparison of entities and decision-making*.

The development work of stage four of the suggested decision-making process (*selection of energy-conservation measures on the structural and equipment level*) was of high importance in this project. The *profitability model for energy-conservation measures* was developed as a tool to support this phase. It allows graphic comparison of the profitability of energy-conservation measures with different design solutions. The model can be used to determine the measures' impacts on economy, energy consumption and greenhouse gas emissions. The energy-conservation measures of a comprehensive solution can be chosen purely on the basis of economic return requirement or value factors can also be considered. The examination may be expanded from the building level to block level which allows controlling a bigger entity at a time and targeting available financial resources to it. The profitability model enables choosing sensible measures for

planning solutions which, again, allows comparison of comprehensive solutions based on life-cycle economy and subsequent selection of the most favourable alternative for implementation.

Made examinations show that the profitability of energy-conservation measures is higher in renovation than new construction under certain conditions. This is mainly due the fact that in renovation the basic level of thermal insulation is significantly lower than in new construction. These conditions refer to a situation where a decision has been made to implement certain renovations in any case. The definition of the basic renovation solution essentially impacts the profitability assessments of energy-conservation measures of renovation projects since they are based on the additional costs from energy-conservation measures and exclude the cost of the chosen basic solution. It is also good to remember that determining the energy savings resulting from measures implemented and the related extra costs is always subject to considerable uncertainty.

It seems that rental housing companies are more interested in basing their decisions on life-cycle cost analysis than is the case today. However, reliable life-cycle cost analyses seem to be hard to make – much development is required in that area. An effort must be made to increase understanding of systematic renovation further, and tools are needed to support decisions, including calculation models suited for life-cycle cost analyses of buildings applicable to area development projects involving both renovation and new construction. The models on the market intended for investment calculation do not appear to be as such suitable for analyses of this type. Presently, construction costs are emphasised in selections which means that measures that are profitable from the life-cycle economic viewpoint may not be taken. Since rents are the key source of revenue for rental housing companies, the impact of measures on the level of rents would appear to outweigh life-cycle costs in decision-making.

It is sometimes necessary to consider the demolition of old buildings as an alternative in connection with life-cycle cost analyses of area development projects. The examinations of this project showed that in some cases it may be more economical to tear down an old building and build a new one in its stead. Yet, there are no universal truths concerning the profitability of demolishing buildings; each case must be examined separately. Moreover, it must be taken into account that examinations based solely on monetary value may differ from those that also include the ecological viewpoint.

The problem with decision-making in the construction and renovation of suburban blocks is that relatively limited information about the effects of different solutions is available when decisions that lock costs have to be made. Skilled utilisation of information models may ease that problem if BIM-based design and data transfer can be used so as to produce enough reliable and representative data in support of the design process at an earlier phase than before. This requires that the various project parties have sufficient capabilities to exploit information models and BIM-based data transfer. At present, BIM know-how is still quite inadequate in general.

One aim of the project was to guide housing in a more comfortable direction. The conducted resident satisfaction survey showed that smells and sounds caused by neighbours are often considered a problem. The internal airtightness of buildings is at least a partial reason for the transmission of smells and sounds, and it would appear that its impact is not emphasised enough today. Airtightness may be a more complex issue than assumed, and its practical implications are perhaps not understood well enough yet. In addition to

its impact on comfort, it is also significant for energy economy. Due to its significance for the goals of the project, airtightness was examined more closely as a separate entity.

The main focus of the project was energy economy, and the examinations showed that there are energy-conservation measures that can be profitable when implemented in connection with renovations, but the achievable savings are quite small. Thus, energy efficiency is hardly improved and the savings targets will not be reached if the economic return requirement is set too high. The most effective measures, such as ventilation heat recovery and adding extra insulation to walls, are often omitted in renovation. Although energy efficiency is much talked about, it is only a part of the multiform problem field of decision-making in suburban development. Advantageous, comfortable and energy-efficient housing requires that design and decision-making always consider the impacts of solutions and decisions on the whole and not focus too much on individual components. New operational modes are needed in suburban development and improvement of energy efficiency, and some attitudes must also change. The EVAKO project has been one step in that direction, and the authors believe that the generated information is useful when put to practice.

Alkusanat

EVAKO-hanke (Edullisen viihtyisän asumisen varmistaminen lähiökorttelikorjaamisen päätöksenteon kriteeristön avulla) toteutettiin osana ARAn rahoittamaa ja ympäristöministeriön koordinoimaa Lähiöohjelma 2008–2011 –kumppanuushanketta. EVAKO-hankkeessa paneuduttiin lähiökorttelikorjaamisen ja -kehittämisen päätöksenteon problematiikkaan vuokrataloyhtiöiden näkökulmasta.

Hanke toteutettiin yhteistyössä VTS Kotien kanssa. Tutkimuksen case-alueen lähtötietojen hankinnassa suurena apuna ovat olleet Tampereen vuokratalosäätiön kiinteistöpäällikkö Timo Koskinen sekä energiainsinööri Reijo Korhonen ja projektipäällikkö Helena Ahlström VTS Kiinteistöpalvelut Oy:stä. Arkkitehtitoimisto Eero Lahti Oy:lle kuuluu kiitos hankkeen arkkitehtisuunnitteluun käytettyjen tietomallien luovuttamisesta tutkimuskäyttöön. Tutkimuksen kannalta paljon arvokasta tietoa on saatu myös case-alueen LVI-suunnittelusta vastanneelta Jarmo Kuituselta sekä rakennesuunnittelusta vastanneelta A-Insinöörit Oy:ltä. Lisäksi case-alueen pääurakoitsija Skanska Talonrakennus Oy on ollut apuna lähtötietojen hankinnassa. Tutkimushanketta on ollut ohjaamassa myös Ekokumppanit Oy:n toimitusjohtaja Suvi Holm.

Tutkimus toteutettiin Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) Rakennustekniikan laitoksella. Projektin vastuullisena johtajana oli DI Juhani Heljo ja tutkimusta koordinoineena päätutkijana DI Antti Kurvinen rakennustuotannon ja -talouden yksiköstä. Ilmättiivyttä käsitelleen tutkimusosion toteutti rakennetekniikan yksikön rakennusfysiikan tutkimusryhmä ja osion raportoinnista vastasi DI Anu Aaltonen. Case-kohteiden energiasimuloinnit toteutti TkK Ulrika Uotila rakennetekniikan yksiköstä. Tietomallien hyödyntämistä käsittelevän osuuden kirjoittamisessa asiantuntevilla kommentteillaan suurena apuna oli DI Toni Teittinen TTY:n virtuaalirakentamisen laboratorion.

Hankkeessa tehtiin yhteistyötä myös Lähiöohjelman *Energiatehokas lähiökorjaaminen* –hankkeen (ENTELKOR) kanssa. Hankkeilla oli yhteinen ohjausryhmä. Ohjausryhmään kuuluivat ylitarkastaja Jaana Nevalainen ja yliarkkitehti Harri Hakaste ympäristöministeriöstä, Lähiöohjelman projektipäällikkö Kari Salmi ARAsta, professori Markku Hedman TTY:n arkkitehtuurin laitokselta, TkT Jukka Lahdensivu TTY:n rakennustekniikan laitokselta, toimitusjohtaja Leo Sassi Kiinteistö Oy Kummatis-ta, arkkitehti Vesa Peltonen Vahanen-yhtiöistä, johtava asiantuntija Markku Rantama Suomen Kiinteistöliitosta, ENTELKOR-hankkeen vastuullinen johtaja, arkkitehti Harri Hagan sekä ENTELKOR-hankkeen projektipäällikkö, arkkitehti Elina Alatalo.

Tämä loppuraportti ja muu hankkeeseen liittyvä materiaali on ladattavissa Energia- ja elinkaariyhtymän kotisivuilta (www.tut.fi/ee) sekä Lähiöohjelman hankesivuilta (www.ara.fi/elavalahio).

Tampereella 28. kesäkuuta 2012

Antti Kurvinen ja Juhani Heljo

SISÄLLYS

1. Johdanto.....	11
1.1. Tausta.....	11
1.2. Tavoite	12
1.3. Toteutus	12
1.4. Case-alue: Uudistuva Annala	15
2. Lähiökorttelikorjaamisen taloudellinen päätöksenteko	17
2.1. Käytännön päätöksentekoon vaikuttavat tekijät	17
2.2. Päätöksenteon viitekehys.....	31
2.3. Systemaattinen päätöksenteko	32
3. Energiansäästö ja ympäristövaikutukset osana päätöksentekoa	37
3.1. Asetetut tavoitteet edellyttävät säästöjä.....	37
3.2. Kannattavuusmalli taloudellisen päätöksenteon työkaluna	37
3.3. Case-sovellus: VIRI Ojavainionkatu 6	42
3.4. Case-sovellus: VIRI Takuvainionkatu 2.....	49
3.5. Case-sovellus: VIRI Kolunkatu 3.....	55
3.6. Tarkastelun laajentaminen korttelitasolle: Uudistuva Annala vaihe 1	61
3.7. Huolellisilla tarkasteluilla tukea päätöksentekoon	66
4. Elinkaariedullisuus päätöksenteon kriteerinä.....	68
4.1. Elinkaarikustannusten huomioiminen	68
4.2. Arvotekijöiden huomioiminen.....	76
5. Tietomallit päätöksenteon apuvälineenä.....	80
5.1. Mistä tietomallintamisessa ja tietomallipohjaisessa tiedonsiirrossa on kyse?	80
5.2. Tietomallien hyödyntämisen haasteet ja ongelmat.....	84
5.3. Haasteisiin vastaaminen edellyttää toimintatapojen muutosta	87
5.4. Case-sovellus: tietomalliavusteinen energia-analyysi	89
5.5. Tietomalleilla kohti parempia päätöksiä.....	93
6. Ilmatiiviys osana viihtyisyyttä.....	94
6.1. Ilmatiiviyden mittaaminen.....	95
6.2. Käytetty mittausmenetelmä	96
6.3. Mittausten suoritus.....	99
6.4. Ilmatiiviys voi olla oletettua hankalampi asia	101
7. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	103
Lähteet	109
Liitteet	111
Liite 1. Case-alue: Uudistuva Annala	112
Liite 2. Energiansäästötoimenpiteiden vaikutustarkastelu case-alueella	117
Liite 3. Elinkaarikustannusten laskeminen	130
Liite 4. Arvotarkastelun periaatteet.....	133
Liite 5. Tiiviysmittaustulosten analysointi.....	138

1. Johdanto

1.1. Tausta

Asuinrakennusten korttelitason kehityshankkeissa on yleensä monenlaisia tavoitteita. Rakennustasolla päätavoitteena voi olla esimerkiksi rakennusten kunnan, toimivuuden, laatutason ja talouden (mm. energiatalouden) sekä asukkaiden viihtyvyyden parantaminen. Laajemmalla kortteli- tai aluetasolla tavoitteeksi voidaan asettaa mm. koko asuinalueen tason ja imagon kohentaminen. Lähiöitä kehittämällä voidaan oleellisesti lisätä niiden vetovoimaa ja haluttavuutta. Vetovoiman lisääntyminen johtaa myös palveluiden kysynnän kasvuun. Riittävä kysyntä on elinehto korkeatasoisten palveluiden olemassaololle ja lähiöiden palvelutason suotuisalle kehitykselle. Näin ollen lähiöiden kehittämällä voidaan merkittävästi pienentää alueiden taantumisuuhkaa. Tavallisesti käytettyjä kehityskkeinoja ovat esimerkiksi täydennysrakentaminen ja rakennusten laatutason nosto. Täydennysrakentaminen ja lähiörakenteen tiivistäminen on tehokas keino myös pyrittäessä vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä. Lisäksi vanhojen alueiden täydentäminen on kokonaistaloudellisesti selkeästi kokonaan uusien alueiden rakentamista halvempaa.

Asetettujen tavoitteiden toteutuminen kehityshankkeissa ei ole kuitenkaan itsestäänselvyys, vaan onnistuminen vaatii monenlaista osaamista. Monimuotoisten hankkeiden päätöksenteko on haastavaa ja sitä tukevalle kriteeristölle ja työkaluille on selkeästi tarvetta. Onnistuneeseen lopputulokseen pääseminen on todennäköisempää, mikäli päätöksenteko perustuu tietoon eikä arvauksiin. Käytäntö on kuitenkin osoittanut, että päätöksiä joudutaan usein tekemään osittain tunnepohjaisesti ilman, että kaikki päätöksenteon kannalta oleelliset asiat tulevat esille ja tasapuolisesti käsitellyiksi. Esimerkiksi suunnittelukokouksissa saatetaan esittää erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja hyvinkin nopeassa tahdissa. Eri vaihtoehtojen todelliset vaikutukset ja niiden edullisuus suhteessa toisiinsa jäävät päätöksentekijöiltä osittain helposti pimentoon, koska niiden vertailuun tarvittavat indikaattorit puuttuvat. Tällöin investointikustannukset saavat helposti turhan korostuneen painoarvon päätöksissä. Lähiökortteleiden kehittäminen vaatii merkittäviä investointeja, ja taloudellisten resurssien tehokas kohdistaminen on tärkeää, jotta saadaan aikaan haluttuja vaikutuksia. Tavoitteiden saavuttamiseksi päätöksenteon tueksi tarvitaan toimivia menetelmiä ja työkaluja.

1.2. Tavoite

Hankkeen tavoitteena oli luoda lähiökorttelikorjaamisen päätöksentekoa ohjaava kriteeristö, jonka avulla varmistetaan edullisempi, viihtyisämpi ja erityisesti energiatehokkaampi asuminen lähiöissä. Tarkastelut tehtiin vuokratyöyhtiöiden näkökulmasta, mutta hankkeen tavoitteena oli, että tuloksia voidaan soveltaa laajalti myös päätöksentekoympäristöissä. Kehitettyjen menetelmien tarkoituksena ei ole ratkaista kaikkia päätöksenteon ongelmia, mutta tavoitteena on tarjota konkreettista apua ja työkaluja lähiökehityshankkeiden päätöksenteon tueksi. Tärkeänä tavoitteena oli kehittää päätöksentekoprosessia ja vaihtoehtojen vertailua systemaattisemmaksi sekä löytää vaihtoehtojen vertailua helpottavia indikaattoreita.

Projektin osatavoitteina oli:

1. Tarkastella, miten lähiökorttelikorjaamisen päätöksenteko toimii käytännössä ja miten päätöksentekoprosessia voidaan kehittää tehtyjen havaintojen perusteella.
2. Tarkastella, miten energiankulutusta ja epäsuotuisia ympäristövaikutuksia voidaan vähentää ja miten tämä tavoite voidaan liittää luontevaksi osaksi kokonaispätöksentekoa sekä yksittäisten rakennusten että kokonaisten korttelien tasolla.
3. Selvittää, miten elinkaarikustannuksia ja elinkaariedullisuutta tulisi tarkastella ja miten niiden tulisi näkyä sekä rakennus- että korttelitason päätöksenteossa.
4. Kartoittaa tietomallien sovellusmahdollisuuksia lähiöiden kehittämishankkeissa ja kehittämiseen liittyvän päätöksenteon tukemisessa.
5. Kartoittaa ja tarkastella lähiökortteleiden asumisviihtyisyyteen vaikuttavia tekijöitä sekä tarkastella tarkemmin ilmatiiviyyden mittaamista ja vaikutusta viihtyisyyteen.

1.3. Toteutus

Hankkeen toteutus perustui mm. päätöksenteon ja suunnitteluprosessin kenttäanalyysiin, kehitettyjen laskentamallien hyödyntämiseen, uusien laskentamallien kehittämiseen ja niistä saatujen laskentatulosten hyödyntämiseen, energialaskentaan ja -simulointeihin, kerätyn kustannustiedon soveltamiseen, aiemmissa TTY:n tutkimuksissa saavutettujen tulosten hyödyntämiseen ja soveltamiseen, yhteistyöhön case-alueen uudistusta toteutettavien partnership-osapuolten kanssa sekä case-alueen analysointiin. Projektissa tutustuttiin myös Ruotsin käytäntöihin ja siellä hyviksi koettuihin menetelmiin. Hankkeen case-alueena olleen *Uudistuva Annala* -kehityshankkeen merkitys tämän tutkimushankkeen toteutuksessa oli suuri. Case-aluetta ja sen rakennuksia on esitelty tarkemmin seuraavassa *kappaleessa 1.4* sekä *liitteessä 1*. Projektin toteutus jaettiin viiteen eri osatehtävään. Kunkin osatehtävän toteutus on käyty seuraavassa pääpiirteissään läpi.

1. Lähiökorttelikorjaamisen päätöksenteon analysointi ja kehittäminen

Ensimmäisessä osatehtävässä kartoitettiin vuokratoyhtiöiden päätöksentekoon vaikuttavia tekijöitä kenttätöinä. Tämä tapahtui osallistumalla case-kohteen suunnitteluvaiheen kokouksiin. Kokouksissa tehtyjen havaintojen perusteella koottiin listaus päätöksentekokeskusteluissa vaikuttaneista asioista, jotka koottiin edelleen käsittekartoiksi eri asioiden välisten relaatioiden havainnollistamiseksi. Havaintojen pohjalta muodostui kuva siitä, mitkä asiat päätöksiin vaikuttavat käytännössä. Tämä loi hyvän lähtökohdan päätöksentekoprosessin ja päätöksentekoa tukevan viitekehityksen kehittämiseksi.

2. Energiansäästö ja ympäristövaikutukset osana päätöksentekoa

Toisessa osatehtävässä tarkasteltiin, miten energiankulutusta ja epäsuotuisia ympäristövaikutuksia voidaan vähentää ja miten tämä tavoite voidaan liittää luontevaksi osaksi kokonaispätöksentekoa sekä yksittäisten rakennusten että kokonaisten korttelien tasolla. Osatehtävässä tarkennettiin ensimmäisen osatehtävän tuloksena saadun suunnitteluprosessikaavion rakenne- ja laitetason tarkasteluvaihetta. Aiempiin TTY:llä tehtyihin tutkimuksiin ja muuhun kirjallisuuteen perustuen kehitettiin kannattavuusmalli, jolla voidaan havainnollisesti tarkastella ja esittää toimenpiteiden vaikutuksia talouteen, energiankulutukseen sekä kasvihuonekaasupäästöihin. Mallin avulla vaikutuksia voidaan tarkastella rakennus-, kohde- tai aluetasolla.

3. Elinkaarikustannukset ja elinkaariedullisuus päätöksenteon kriteereinä

Tässä osatehtävässä selvitettiin, miten elinkaarikustannuksia ja elinkaariedullisuutta tulisi tarkastella ja miten niiden tulisi näkyä sekä rakennus- että korttelitason päätöksenteossa. Lähtökohtana elinkaarikustannus-, arvo- ja purkutarkasteluille oli TTY:n Rakennustuotannon ja -talouden yksikössä aiemmin tehdyn tutkimus- ja kehitystyön hyödyntäminen ja soveltaminen.

4. Tietomallit päätöksenteon apuvälineenä

Tietomalleista (BIM) ja niiden mahdollisuuksista on puhuttu jo pitkään. Koska tietomallien sovellusmahdollisuudet päätöksenteon tukemisessa vaikuttivat hyvin potentiaalisilta, alkuperäisestä tutkimussuunnitelmasta poiketen tietomalleihin liittyvä tarkastelu päätettiin ottaa yhdeksi osatehtäväksi. Merkittävästi tähän päätökseen vaikutti myös se, että case-alueen arkkitehtitoimisto teki suunnitelmansa tietomallipohjaisina ja oli valmis luovuttamaan ne tutkimuskäyttöön. Tämä loikin tutkimuksen kannalta hienon mahdollisuuden, joka päätettiin hyödyntää. Tämän osatehtävän pääpaino oli arkkitehdin tekemien mallien energiasimulointiin tarjoamien mahdollisuuksien tarkastelemisessa. Samalla tarjoutui mahdollisuus tarkastella energiasimuloinnilla saatujen tuloksien vertaamiseen RakMk:n osan D5 mukaisen energialaskennan antamiin tuloksiin. Vaikka pääpaino oli energiasimuloinneissa, kartoitettiin myös muita tietomallien päätöksenteon tukemiseen tuomia mahdollisuuksia. Osa-

tehtävässä hyödynnettiin TTY:n rakennustekniikan laitoksen virtuaalirakentamisen laboratorion asiantuntemusta.

5. Ilmatiiviys osana asumisviihtyisyyttä

Asumisviihtyvyyden tilan selvittämiseksi viidenteen osatehtävään liittyen toteutettiin lähtötilanteen asukasviihtyvyysselvitys case-alueen toisessa perusparannuskohdassa (Takuvainionkatu 2).

Kyselyssä kävi ilmi, että naapureista kantautuvat hajut ja melu olivat usein mainittuja ongelmia. Koska ainakin osasyynä hajujen ja melujen kulkeutumiseen oli todennäköisesti puutteellinen asuntojen välinen tiiviys, alun perin RUSTI-hankkeena (*Rakennusten sisäinen ja ulkoinen tiiviys asukkaiden tuntemaan viihtyvyyden kasvattajina*) tunnettu osuus sisällytettiin tähän EVAKO-hankkeen viidenteen osatehtävään. Näin ollen viidennen osatehtävän tarkastelut painottuivat tiiviysmittauksiin.

Tarve löytää tutkimusmenetelmä rakennuksen ns. sisäisen tiiviyn mittaamiseksi oli ilmeinen, joten sellaista ryhdyttiin kehittämään. TTY:n rakennusfysiikan tutkimusryhmä laati mittaussuunnitelman, jonka pohjalta sopivaa menetelmää alettiin etsiä tekemällä kenttämittauksia ennen ja jälkeen perusparannuksen. Eräänä tutkimuksen toteutuksen konkreettisenä hyötynä oli, että tiiviysmittausmenetelmän hallinta saatiin opetettua ja siirrettyä tutkimusmittausten yhteydessä VTS Kiinteistöpalvelut Oy:n ammattilaisten hyödynnettäväksi.

Tutkimusorganisaatio

Tutkimus toteutettiin Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) Rakennustekniikan laitoksella. Projektin vastuullisena johtajana oli DI Juhani Heljo ja tutkimusta koordinoineena päätutkijana DI Antti Kurvinen rakennustuotannon ja -talouden yksiköstä.

Ilmatiiviyttä käsitelleen tutkimusosion toteutti rakennetekniikan yksikön rakennusfysiikan tutkimusryhmä. Mittausmenetelmän kehitystyöhön osallistuivat DI Anu Aaltonen, DI Kimmo Lähdesmäki sekä tutkimusjohtaja, TkT Juha Vinha ja osion raportoinnista vastasi DI Anu Aaltonen.

Case-kohteiden energiasimuloinnit IDA-ICE –simulointiohjelmalla toteutti TkK Ulrika Uotila rakennetekniikan yksiköstä. Tietomallien hyödyntämistä käsittelevän osuuden kirjoittamisessa asiantuntevilla kommentaillaan suurena apuna oli DI Toni Teittinen TTY:n virtuaalirakentamisen laboratorion.

Hankkeessa tehtiin yhteistyötä myös Lähiöohjelman ENTELKOR-hankkeen kanssa.

1.4. Case-alue: Uudistuva Annala

EVAKO-hankkeen case-alueena oli Tampereen Annalassa sijaitseva vuokratalokortteli, joka on VTS Koteihin kuuluvan Vilusen Rinne Oy:n omistuksessa. Vuokratalokorttelin kehittämishankkeesta käytetään nimeä *Uudistuva Annala* ja se on suunniteltu toteutettavaksi kahdessa vaiheessa. Ensimmäinen vaihe valmistui kesällä 2012, minkä jälkeen jatketaan pienellä viiveellä toiseen vaiheeseen. *Kuvassa 1.1* on korttelialueen havainne.

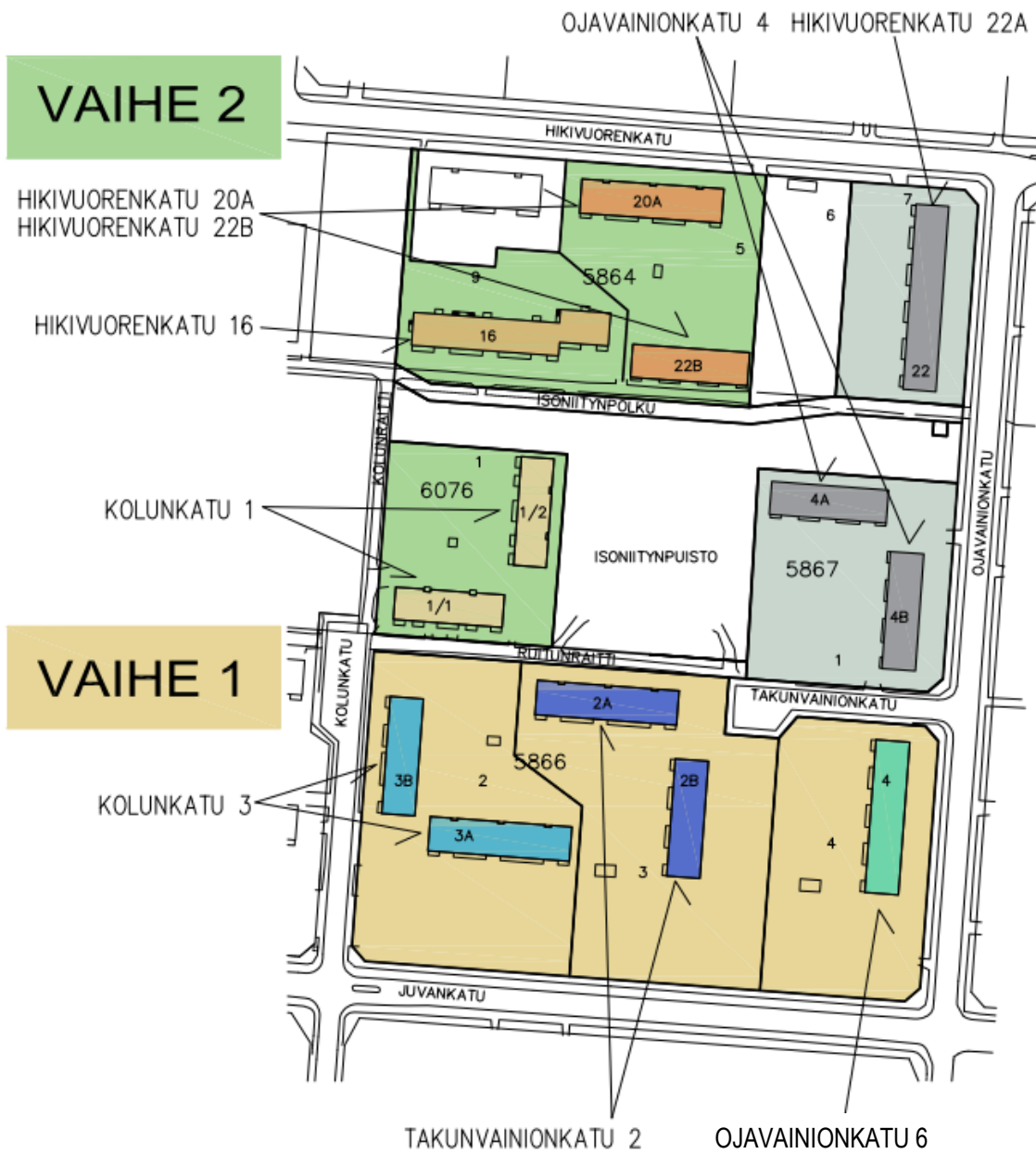


© Arkkitehtitoimisto Eero Lahti Oy

arkkitehtitoimisto
eero lahti oy
pöytäkatu 7 0 km
33100 Tampere Finland
tel 03 254 2200
fax 03 254 2250
email toimisto@eero.fi
internet www.eero.fi
ATI, ry:n jäsenistö

Kuva 1.1. Annalan case-alueen havainnekuva (Lähde: Arkkitehtitoimisto Eero Lahti Oy).

EVAKO-projektissa on tarkasteltu Uudistuva Annala –hankkeen ensimmäistä vaihetta, joka koostui viiden vanhan lamellitalon perusparantamisesta. Perusparannusten lisäksi korttelialuetta on kehitetty lisärakentamalla. Lisärakentamista on toteutettu yhdellä kerroskorotuksella, kolmella uudisrivitalolla sekä kahdella vanhoja lamellitaloja toisiinsa yhdistävällä uudiskulmarakennuksella. Ensimmäisen vaiheen aikana EVAKO-hankkeessa kerättyä tutkimustietoa ja kehitettyjä menetelmiä on tarkoitus soveltaa käytäntöön *Uudistuva Annala* –projektin toisessa vaiheessa. Ensimmäisen vaiheen rakennuskohteet on esitelty yksityiskohtaisemmin *liitteessä 1*. *Kuvassa 1.2* esitetty sijaintipiirros auttaa case-korttelialueen hahmottamisessa.



Kuva 1.2. Sijaintipiirros Uudistuva Annala –hankkeen vaiheista ja rakennuskohteiden sijoittumisesta alueelle (Lähde: Arkkitehtitoimisto Eero Lahti Oy).

2. Lähiökorttelikorjaamisen taloudellinen päätöksenteko

Lähiökorttelikorjaamisen taloudellinen päätöksenteko on varsin moniulotteinen kokonaisuus, johon vaikuttavien tekijöiden systemaattinen hallinta ei ole helppo tehtävä. Jo yksittäisen rakennuksen tasolla päätöksentekoon liittyy lukuisia tekijöitä ja laajennettaessa näkökulmaa korttelitasolle vaikuttavien tekijöiden määrä luonnollisesti lisääntyy. EVAKO-hankkeessa kartoitettiin päätöksentekoon vaikuttavia tekijöitä ja pyrittiin kehittämään työkaluja käytännön päätöksentekotilanteiden avuksi.

Tämän luvun ensimmäisessä kappaleessa on käsitelty tehdyn päätöksentekoon käytännössä vaikuttavia tekijöitä, joita kartoitettiin hankkeen yhteydessä tehdyssä kenttätutkimuksessa osallistumalla case-kohteen suunnittelukokouksiin. Toisessa kappaleessa on esitelty kehiteltyä päätöksenteon viitekehystä, jota voidaan käyttää tarkastuslistana käytännön päätöksentekotilanteissa. Viimeisessä kappaleessa käsitellään systemaattista päätöksentekoprosessia, jota käyttämällä voidaan systemaattisesti vertailla erilaisia toteutusvaihtoehtoja keskenään.

2.1. Käytännön päätöksentekoon vaikuttavat tekijät

Osana EVAKO-hanketta selvitettiin vuokrataloyhtiöiden käytännön päätöksentekoon vaikuttavia tekijöitä. Selvitys tehtiin osallistumalla case-kohteen suunnittelukokouksiin ja havainnoimalla siellä käsiteltyjä asioita. Kokouksissa tehtyjen havaintojen perusteella ryhmiteltiin päätöksiin vaikuttaneita tekijöitä suurempien pääkokonaisuuksien alle.

Tässä raportissa on käsitelty lyhyesti päätöksentekoon vaikuttaneet päätekijät. Päätöksentekoon vaikuttaneiden lukuisten tekijöiden vuoksi koottua aineistoa ei voida käsitellä tässä yhteydessä kokonaisuudessaan. Koko *Vuokrataloyhtiön päätöksenteko* –kalvosarja löytyy kuitenkin Energia- ja elinkaariyhtiön kotisivuilta (www.tut.fi/ee) EVAKO-hankkeen alta. Kalvosarjan tarkoituksena ei ole olla kaikki vuokrataloyhtiöiden päätöksentekoon liittyvät tekijät kattava kokonaisuus, vaan siinä on pyritty kuvamaan tehdyssä kartoituksessa ja tarkastellussa päätöksentekotilanteessa esille nousseita tekijöitä. Tämä esitys pohjautuu kyseiseen kartoitukseen ja näin ollen sitä ei tule käsittää yrityksenä esittävä täydellinen kuvaus lähiökorttelikorjaamisen taloudelliseen päätöksentekoon vaikuttavista tekijöistä, vaan esityksenä, jossa on nostettu esille joitakin päätöksenteon kannalta oleellisia tekijöitä.

Kuvassa 2.1 on esitetty kokousten perusteella havaitut päätöksentekoon vaikuttaneet päätekijät. Päätöksenteon kannalta laajemmiksi aihekokonaisuuksiksi nousivat:

- kannattavuus,
- energiatehokkuus,
- toimivuus ja käytettävyys,
- viihtyisyys ja turvallisuus,
- viranomaismääräykset ja
- muut toteutuksen reunaehdot.

Edellä mainitut päätöksentekoon vaikuttavat tekijät eivät ole itsenäisiä kokonaisuuksia, vaan ne limittyvät osittain toisiinsa. Luonnollisesti esimerkiksi energiatehokkuus vaikuttaa kannattavuuteen ja viihtyisyyteen. Jaottelun mahdollistamiseksi rajanveto on kuitenkin jouduttu tekemään johonkin ja erillisiksi päätöksenteon pääkohdiksi on haluttu nostaa sellaiset aiheet, jotka nousivat kokouskäsittelyssä selkeästi omiksi kokonaisuuksikseen. Seuraavassa on käsitelty lyhyesti kutakin kokonaisuutta.



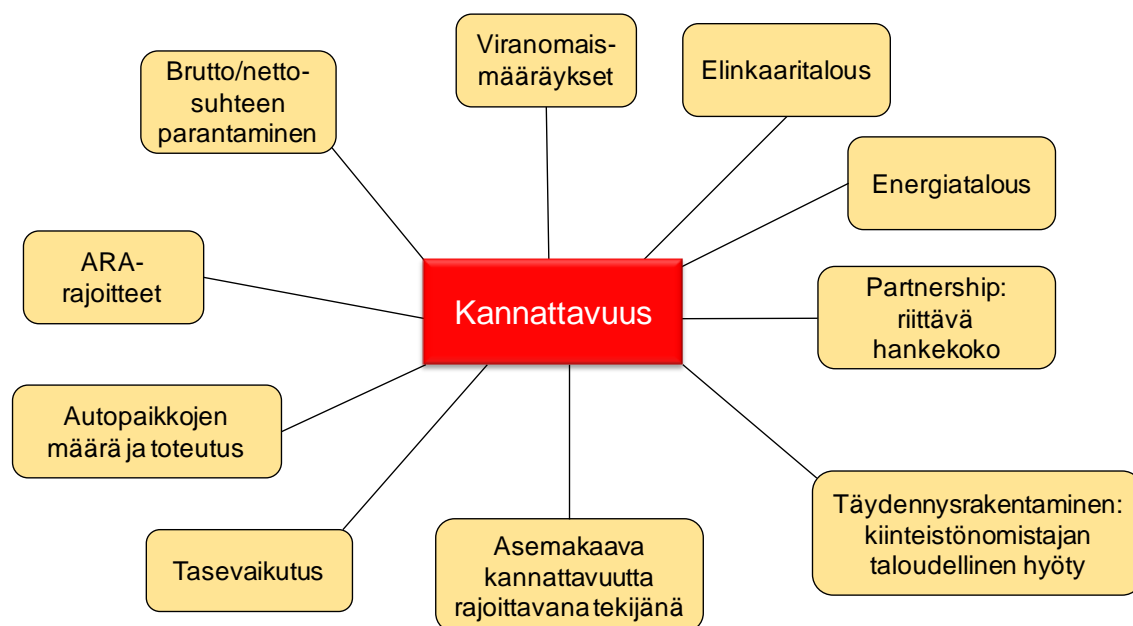
Kuva 2.1. Suunnittelukokousten perusteella kartoitettujen päätöksentekoon vaikuttavien tekijöiden pääluokittelu.

Kannattavuus

Yleishyödyllisillekin vuokrayhtiöille kannattavuus on tärkeä päätöksentekoa ohjaava edellytys. Tuottovaatimuksesta riippumatta taloudelliset reunaehdot ovat aina olemassa ja niiden vaikutus lopulliseen päätökseen on merkittävä. Hankkeissa saatetaan aluksi lähteä tavoittelemaan kunnianhimoisia ratkaisuja, mutta monesti lopulta päädytään ta-

loudellisten realiteettien rajoittamana tavanomaiseen ratkaisuun. Kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä on lukuisia. Lisäksi kannattavuuteen ja sen osatekijöihin vaikuttaa muun muassa myös tarkastelun aikajänne ja se, kenen näkökulmasta asiaa katsotaan.

Kuvaan 2.2 on koottu EVAKO-hankkeessa tehdyssä kartoituksessa esiin nousseita kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tässä kannattavuutta on tarkasteltu pääasiassa yleishyödyllisen vuokratalo-yhtiön näkökulmasta. Lisäksi on syytä huomata, että esitetyt tekijät ovat vain osa kannattavuuteen vaikuttavasta kokonaisuudesta.



Kuva 2.2. Suunnittelukokouksissa käsitellyjä kannattavuuteen vaikuttaneita tekijöitä.

Brutto-/nettosuhteen parantamisella viitataan mahdollisimman tehokkaaseen tilankäyttöön ja pohjaratkaisujen tehokkuuteen. Vuokratulot ovat yksi tärkeimmistä asuinvuokratalojen kannattavuuteen vaikuttavista tekijöistä. Näin ollen on tärkeää, että rakennusala mahdollisimman suuri osuus on vuokrattavia huoneistoneliöitä. Vuokrattavien neliöiden näkökulmasta vanhojen rakennusten pohjaratkaisua voidaan tehostaa esimerkiksi muuttamalla tarpeettomiksi osoittautuneita yhteistiloja asuinhuoneistoiksi. Annalassa vanhojen rakennusten pohjaratkaisua tehostettiin rakentamalla maantasokerrosten yhteistiloihin uusia asuntoja. Joissain tapauksissa vanha pohjaratkaisu voi olla hyvin tehoton, mikä voi osaltaan puoltaa vanhan rakennuksen purkamista ja sen korvaamista uudella. Lisärakennusten osalta pohjaratkaisut on syytä suunnitella jo lähtökohtaisesti mahdollisimman tehokkaiksi. Esimerkiksi porraskäytävän määrä tulee minimoida kustannustehokkuuden parantamiseksi.

Viranomismääräyksillä tarkoitetaan tässä kaikkia määräyksiä, joilla viranomaiset säätelevät rakentamista Suomessa. Näistä tärkein lienee Suomen rakentamismääräyskoelma (RakMk). Nykyinen rakentamismääräyskoelma ohjaa uudisrakentamista ja soveltuvien osien korjaamista. Korjausrakentamista koskevat erilliset energiamääräykset

tullevat voimaan vuonna 2013. Rakentamismääräyksissä annetut energiatehokkuuden vertailuarvot ja vaatimukset vaikuttavat luonnollisesti merkittävästi rakennuskustannuksiin ja näin ollen myös kannattavuuteen. Määräyksillä voidaan ohjata rakentamista laadukkaampaan suuntaan, mutta vaatimuksilla voidaan myös viedä edellytyksiä rakennushankkeiden toteutukselta.

Elinkaaritaloudesta ja elinkaarikustannuksista on puhuttu jo pitkään, mutta edelleen rakentamiseen liittyvät päätökset tehdään pääosin muiden tekijöiden kuin elinkaarikustannusten perusteella. VTS Kodit on käyttänyt uudistuotannon päätöksenteon apuvälineenä VIKE-laskentamallia, jolla on tehty elinkaarilaskelmat rakennettavista uudiskohteista. Korjausrakentamisen päätöksenteon tueksi vastaavaa laskentamallia ei ole toistaiseksi ollut käytössä. Nyt Annalassa arvioitiin eri suunnitteluvaihtoehtoja erillisten elinkaarilaskelmien avulla, mutta tulevaisuudessa myös korjaus- ja täydennysrakentamisen elinkaarilaskentaan on tarkoitus kehittää laskentamalli, jota voidaan hyödyntää täysipainoisesti päätöksenteon tukena.

Pyrkimyksenä on, että jatkossa päätöksiä voitaisiin tehdä enemmän elinkaarikustannuksiin perustuen, kun nykyisin päätöksenteossa painottuvat lyhytnäköisemmät tekijät painoarvon ollessa saatavan vuokran määrässä ja investointikustannuksissa. Kun lähes uudistasoon perusparannettujen asuinkerrostalojen (sama vuokrataso kuin uusissa) keskihinnaksi muodostuu 1 700–1 800 €/ht^m (sis. alv.) ja ARA-uudistuotannon kustannus on noin 2 300 €/ht^m (sis. alv.) purkukustannuksen ollessa noin 100 €/ht^m (sis. alv.), vaikuttaa korjaaminen saatavalla vuokralla ja tarvittavilla investointikustannuksilla mittattuna selkeästi purkamista ja uudisrakentamista edullisemmalla vaihtoehdolla.

Elinkaaritarkastelulla tilanne voi kuitenkin näyttää toiselta. Huomioitava on esimerkiksi, että uudisrakennukset ovat energiatehokkaampia kuin lähes uudistasoa vastaaviksi korjatut vanhat, ellei niissä tehdä mittavia energiansäästötoimenpiteitä. Tällöin korjauskustannukset kuitenkin nousevat merkittävästi ja voi olla, että kokonaan uusi rakennus rakentamalla saavutettaisiin kokonaisuudessaan toimivampi ratkaisu. Asia ei siis ole aivan yksiselitteinen ja huomioon on otettava myös muut kuin taloudelliset näkökohdat.

Energiatalous ja -tehokkuus ovat ajankohtaisia puheenaiheita. Käytännön päätöksenteossa energiatehokkuuden painoarvo on kuitenkin verrattain pieni, sillä nykyisillä energian hinnoilla energiatehokkuuden vaikutus ylläpitokustannuksiin on verrattain pieni. Tuottovaatimuksen täyttävät ja täten taloudellisesti kannattavat toimenpiteet toteuttamalla energiansäästö jää yleensä varsin maltilliseksi. Case-kohteessa varsinaisina energiansäästötoimenpiteinä toteutettiin yläpohjan lisäeristäminen ja energiatehokkaampien ikkunoiden asentaminen. Ulkoseinien lisäeristämisen aiheuttama lisäkustannus olisi kyseisessä tapauksessa ollut n. 50 €/ht^m. Lisäkustannusta ei pidetty kokonaisuudessaan mahdollisena, sillä lisäeristäminen ei olisi tuonut mahdollisuutta vuokrankorottamiselle ja toisaalta vaikutus energiankulutukseen olisi oletettavasti ollut kustannusvaikutuksiltaan hyvin pieni.

Korjattaessa lähiökerrostaloja korkotukilainoituksella taloudellisten rajoitteiden puitteissa mahdollisia energiansäästötoimenpiteitä on varsin rajallisesti. Lisäksi valtaosa Suomen kerrostalokannasta on kaukolämpökohteita, joissa toiseen lämmönlähteeseen siirtymisen järkevyyttä tai tukijärjestelmien asentamisen järkevyyttä kaukolämmön rinnalle on arvioitava tapauskohtaisesti. Nykykäsityksen mukaan riittävien teknis-taloudellisten perusteiden löytyminen tällaisille muutoksille asuinrakennuksissa on kuitenkin kyseenalaista. Mikäli tukijärjestelmien käyttöönottoa tai siirtymistä toiseen lämmönlähteeseen harkitaan, on syytä koota asiantuntijat yhteen hyvissä ajoin, sillä muutosten vaikutukset ovat yleensä huomattavasti moninaisempia kuin nopeasti katsottuna näyttäisi.

Energiatehokkuuden käsittely päätöksenteossa omana erillisenä kokonaisuutena ei ole mahdollista, vaan se on huomioitava osana laajempaa kokonaisuutta. Nykyisillä energian hinnoilla energiakustannusten osuus vuokrasta on suuruusluokkaa 10–20 %. Energian hintojen noustessa energiakustannusten osuus vuokrasta kasvaa ja vuokrankorotuspaineet lisääntyvät. Vaikka energiakustannukset muodostavat elinkaaritaloudellisesti merkittävän menoerän ja tulevia vuokrankorotuspaineita voidaan hillitä energiatehokkuutta parantamalla, energiatehokkuus näyttäisi kuitenkin helposti jäävän suunnittelussa muiden asioiden varjoon.

Partnership-urakassa hankekoolla on suuri merkitys kannattavuuteen kaikkien osapuolien kannalta. Ellei hankekoko ole urakoitsijoiden kannalta riittävän suuri ja houkutteleva, ne eivät jätä tarjouksia. Jos tilaaja ei saa kilpailukykyisiä tarjouksia, toteuttaminen ei ole taloudellisesti mahdollista. Vaikka *Uudistuva Annala* –hanke on verrattain suuri kaksivaiheinen kortteliuudistus, urakkatarjouksen jätti vain kolme yritystä. Merkittävänä tekijänä tähän vaikutti varmasti partnership-urakan urakoitsijalta vaatima mittava valmistelutyö ilman mitään takeita urakan saamisesta. Näin ollen vaativan valmistelutyön vastapainoksi tulisi olla houkuttimena riittävän pitkäaikainen ja houkutteleva projekti. Joissain tapauksissa samankaltaisia hankkeita yhdistelemällä voidaan saavuttaa yksittäin toteutettuna partnership-toteutukseen liian pienistä projekteista riittävä hankekoko, mikä voi johtaa kaikkien kannalta kustannustehokkaampaan lopputuloksen.

Täydennysrakentamisen taloudelliseen hyötyyn vaikuttavat tekijät on hyvä tuntea ennen korttelikehityshankkeeseen ryhtymistä. Kaupungin maapoliittinen suhtautuminen täydennysrakentamiseen on kannattavuuden kannalta oleellista, sillä kaupunki voi linjauksillaan tukea täydennysrakentamista tai vaihtoehtoisesti vaikeuttaa sen taloudellista kannattavuutta. *Kaupungin vuokratonteilla* operoitaessa kiinteistönomistajien kannalta on ollut ongelmallista, että maanvuokraa peritään sallitun kokonaisrakennusoikeuden mukaan. Näin ollen täydennysrakentamisen yhteydessä myönnettävällä lisärakennusoikeudella on nostava vaikutus tonttivuokraan. Myös mahdollisesti käyttämättä jääneestä rakennusoikeudesta joudutaan maksamaan tonttivuokra. *Yksityisessä omistuksessa olevien tonttien* maankäytön muutostilanteissa solmitaan tavallisesti maankäyttösopimus, jonka perusteella kaupunki perii lisärakennusoikeuden tuomasta arvonnoususta maan-

käyttömaksua, joka on ensisijaisesti tarkoitettu infrakustannusten kattamiseen. Maankäyttömaksun suuruus on kuntakohtainen ja Tampereella se on tavallisesti ollut 1/3 arvonnoususta.

Koska valmiille alueelle täydennysrakentamisen voidaan katsoa aiheuttavan kaupungille infrakustannuksia huomattavasti vähemmän kuin uudelle alueelle rakentamisen, voidaan täydennysrakentamisen tukemista maankäyttöpolitiikan linjauksilla pitää järkevänä. Jotkin kaupungit ovat jo tehneet täydennysrakentamiseen taloudellisesti kannustavia maapoliittisia linjauksia. Näiden tukevien päätösten merkitys voi osoittautua kiinteistönomistajan täydennysrakentamispäätöksen kannalta merkittäväksi tekijäksi.

Esimerkiksi Tampereella on päätetty, että täydennysrakentamisen edistämiseksi osa rakennusoikeuden kasvun tuomasta hyödystä voidaan kanavoida nykyisen vuokraoikeuden haltijalle. Linjauksen mukaan joissain täydennysrakentamistapauksissa vuokraoikeuden haltijalle voidaan myöntää määräaikainen vuokranalennus ja oikeus saada uudesta vuokraoikeudesta saatava tulo. (Tampereen kaupunki 2011.) Vastaavasti yksityisessä omistuksessa olevilla tonteilla maankäyttömaksua määrättäessä voidaan tietyin edellytyksin osa arvonnoususta jättää huomiotta.

Toinen merkittävä täydennysrakentamishankkeiden talouteen vaikuttava kustannustekijä on pysäköinnin järjestäminen. Tavallisesti vanhoja maantasopaikkoja joutuu väistämään täydennysrakentamisen tieltä ja toisaalta myös uuteen rakennukseen muuttavat tarvitsevat autopaikkoja. Monissa tapauksissa vanha autopaikkavaatimus voi kuitenkin olla liian tiukka ja autopaikkoja saattaa olla jo lähtötilanteessa liikaa. Sopivaa autopaikkojen määrää tulisi pohtia tapauskohtaisesti ja autopaikkavaatimus pitäisi saada joustavasti muutettua todellista tarvetta vastaavaksi, sillä turhien autopaikkojen rakentaminen on kohtuuttoman kallista. Monessa tapauksessa autopaikat voivatkin nousta koko täydennysrakentamisen kannattavuutta mitoittavaksi tekijäksi. Joissain tapauksissa huolella mietityt keskitetyt pysäköintiratkaisut voivat tarjota ratkaisun hankalaan autopaikkatilanteeseen. Autopaikkamäärää mietittäessä on aina syytä pohtia myös tulevia tarpeita.

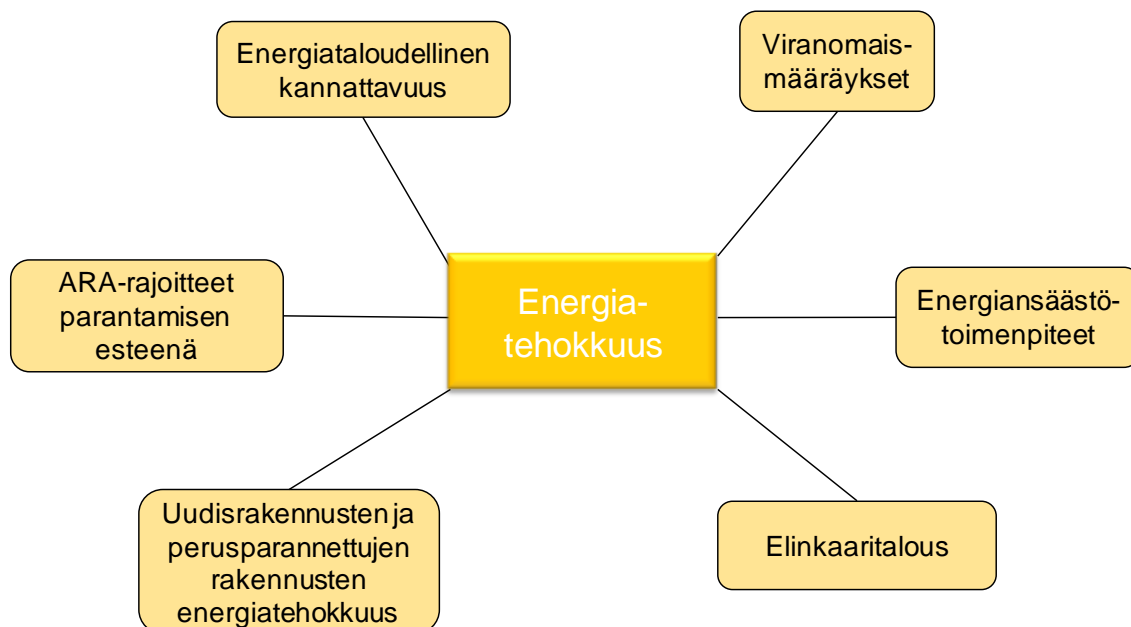
Asemakaava voi osoittautua kannattavuutta rajoittavaksi tekijäksi, kun kaavamääräykset eivät salli esimerkiksi useamman lisäkerroksen rakentamista. Tällöin lisärakennuksesta ei välttämättä pystytä toteuttamaan niin korkeaa kuin haluttaisiin, mikä johtaa korkeampaan rakennuskustannusten neliöhintaan, kuin mihin optimitilanteessa päästäisiin. Koska nykyinen kaavaprosessi on hyvin hidas, kaavamutosta ei ehditä viemään läpi suunnittelun vaatimassa aikataulussa. Toisaalta ennen suunnittelua ei voida hakea kaavamutosta, koska ei tiedetä, minkälainen ratkaisu osoittautuu järkevimmäksi. Koska hankkeiden toteutusaikataulua ei voida venyttää kohtuuttoman pitkäksi, ollaan eräänlaisen kompromissiratkaisuun johtavan paradoksin edessä. Tämän vuoksi olisi toivottavaa, että kaavamenettelyä saataisiin uudistettua ainakin täydennysrakentamisen osalta paremmin nykyajan tarpeita vastaavaksi, jotta saataisiin aikaan kaikkien kannalta edullisempia ratkaisuja.

Mittavia alueellisia kehittämishankkeita toteutettaessa on huomioitava hankkeen kannattavuuden lisäksi myös toteuttavan osapuolen **käytössä olevat taloudelliset resurssit** kokonaisuutena. Mikäli tietynlaajuinen kehityshanke halutaan viedä tietyssä aikataulus- sa kokonaisuudessaan läpi, voidaan joutua kiristämään yksittäisten kohteiden budjetista, jolloin niin sanotusti kannattavaksi toteutettujakin toimenpiteitä voi karsiutua pois toteutettavien joukosta, jotta käytössä olevat taloudelliset resurssit saadaan riittämään koko suuren mittakaavan hankkeen läpi viemiseen.

ARA-tuotannossa tiettyjen asetettujen rajoitteiden on täyttyttävä. Toisaalta rajoitteissa vaaditaan kustannustehokkuutta (vuokrataso ei saa nousta liian korkeaksi), mutta toisaalta on myös vaatimuksia, jotka lisäävät kustannuksia (esim. rappukäytävään on aina tultava luonnonvaloa). Joissain tapauksissa nämä vaatimukset voivat olla ristiriidassa ja aiheuttaa ongelmia esimerkiksi riittävän tehokkaiden tilaratkaisujen toteuttamisessa. Voikin olla, että joiltain osin rajoitteita tarkistamalla olisi mahdollista päästä kokonaisuuden kannalta edullisempiin ratkaisuihin.

Energiatehokkuus

Edellä käsiteltiin energiatehokkuutta kannattavuuden näkökulmasta. Energiatehokkuus nousee päätöksenteossa esille kuitenkin useissa eri yhteyksissä, joten sitä on käsitelty tässä myös omana päätöksentekoon vaikuttavana kokonaisuutenaan. *Kuvassa 2.3* on esitetty muutamia kokonaisuuteen liittyviä osatekijöitä. Tällä hetkellä Suomen rakentamismääräyksissä säädellään ainoastaan uudisrakentamisen energiatehokkuutta, mutta myös korjausrakentamista koskevat energiamääräykset ovat tulossa.



Kuva 2.3. Suunnittelukokouksissa käsiteltyjä energiatehokkuuteen liittyneitä tekijöitä.

Uudisrakentamisen energiatehokkuus on viety rakentamismääräyksissä niin korkealle tasolle, että rakennusten energiatehokkuuden rakenteelliselle parantamiselle määräys-

tasoa paremmaksi on vaikea löytää taloudellisia perusteita. Mikäli halutaan tehdä määrätasoa energiatehokkaampi rakennus, kannattaa kuitenkin tarkastella, millä toimenpiteillä asetettuun tavoitteeseen päästään mahdollisimman taloudellisesti. ARA-tuotannossa uudisrakentamisen energiatehokkuus määräytyy yleensä vallitsevan määrätason mukaan.

Korjausrakentamisen yhteydessä tehtävien energiansäästötoimenpiteiden toteuttamiselle voidaan joissain tapauksissa löytää myös suorat taloudelliset perusteet. Tällöin niiden vaatima lisäinvestointi on oleellisesti pienempi kuin niiden pitoaikana tuottaman kumulatiivisen säästön nykyarvo. Pääsääntöisesti tällaisten toimenpiteiden vaikutus kokonaisenergiankulutukseen on kuitenkin verrattain pieni ja näin ollen merkittäviin energiansäästövaikutuksiin pääseminen edellyttää nykyisin käytettävissä olevilla ratkaisuilla usein merkittäviä taloudellisia investointeja. Huomattava on kuitenkin myös, että joissain tapauksissa kustannuksiltaan hyvin edullisilla säädöillä voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiatehokkuuteen.

Energiatehokkuus ei ole ainoastaan kustannus- ja kannattavuuskysymys, vaan se vaikuttaa muun muassa myös rakennusten toimivuuteen ja viihtyisyyteen. Oikein toteutettuna energiansäästötoimenpiteillä voidaan parantaa rakennuksen sisäilmastoa, mutta pahimmissa tapauksissa voi käydä päinvastoin. Tampereen vuokratulosäätiöllä on kokemuksia pilot-kohteesta, jossa mittavien energiansäästötoimenpiteiden toteuttaminen ei ole tuonutkaan toivottuja säästövaikutuksia, vaan aiheuttanut sen sijaan asukkaiden reklamaatioita ikkunoiden huurtumisen ja huonosti toimivan ilmanvaihdon vuoksi. Koska mittavat energiansäästötoimenpiteet vaativat aina myös mittavia lisäinvestointeja, tällaiset kokemukset aiheuttavat varovaisuutta uusia päätöksiä tehtäessä.

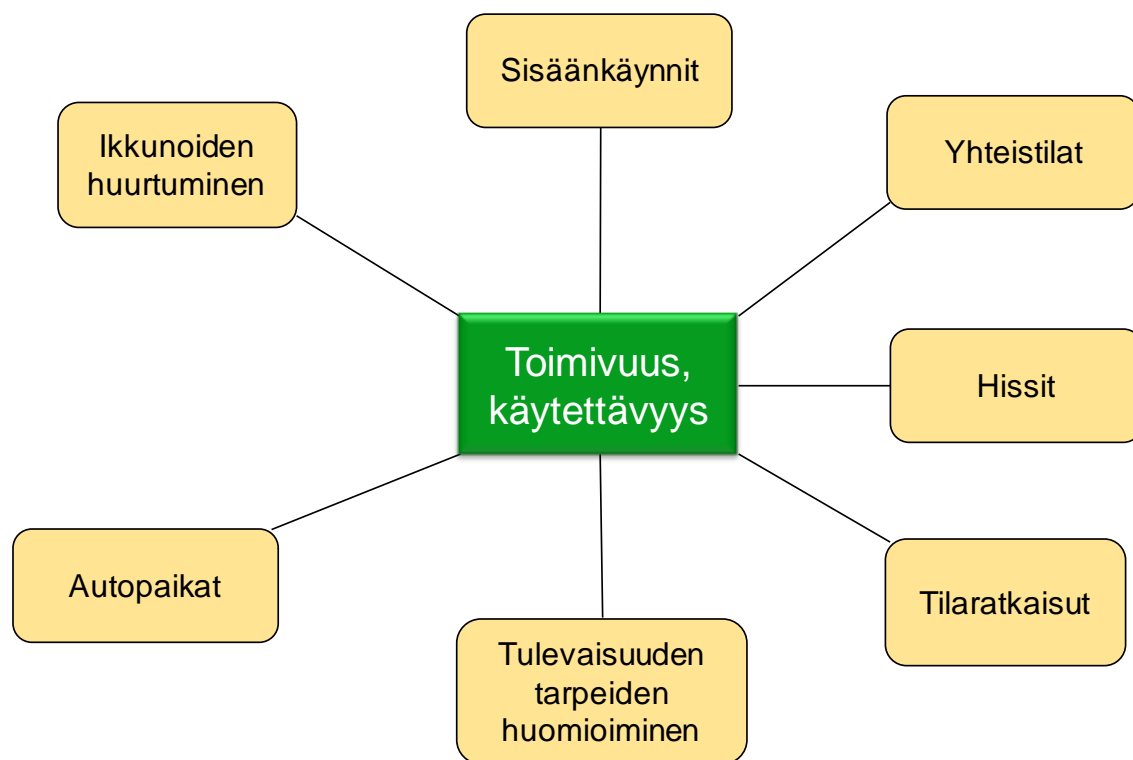
Rakennus on kokonaisuus, joka muodostuu osiensa summasta. Näin ollen energiansäästötoimenpiteitä ei tulisi mieltää yksittäisinä toimenpiteinä, vaan osana kokonaisuutta. Esimerkiksi julkisivun lisäeristäminen ja uusien ikkunoiden vaihtaminen muuttavat asunnon ilmanvaihtoa tukkimalla vanhoja korvausilmareittejä. Tämä onkin syytä huomioida, sillä korvausilma löytää aina reittinsä ja mikäli toimenpiteiden vaikutusta korvausilmalle ei ole huomioitu suunnittelussa, on edessä todennäköisesti sisäilmaongelmia. Toisaalta koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon asentaminen vanhan koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän tilalle vaatii kunnolla toimiakseen rakennukselta riittävää tiiviyyttä.

Case-kohteessa tutkittiin mahdollisuutta asentaa **huoneistokohtainen lämmönmittausjärjestelmä**. Sääntömahdollisuuden avulla asukkaille olisi tuotu mahdollisuus vaikuttaa huoneistonsa peruslämpöön noin ± 3 °C. Toteutus kariutui kuitenkin käytännön ongelmiin, sillä Suomen markkinoilta ei löytynyt mittareita, jotka olisi hyväksytty laskutuksen perusteeksi. Kysymyksiä herätti myös mittausperäisen laskutuksen oikeudenmukaisuus, kun huoneistoissa on eri määrä ulkovaippaa ja huoneistojen välisiä lämpövuotoja on hankala hallita.

Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuutta ja edullisuutta voidaan tarkastella myöhemmin tässä raportissa esitetyillä menetelmillä. Parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi tällainen systemaattinen tarkastelu on tarpeellista. Käytännön päätöksenteossa voi kuitenkin käydä niin, että tarkastelujen perusteella kannattavaksi osoittautuneita toimenpiteitä joudutaan jättämään toteuttamatta kokonaisbudjettirajoitteessa pysymiseksi. Valitettava tosiasia on, että energiatehokkuuden painoarvo on tiukoissa päätöksentekotilanteissa vielä varsin pieni.

Toimivuus ja käytettävyys

Toimivuus ja käytettävyys muodostavat päätöksenteon kannalta erittäin oleellisen kokonaisuuden: kukapa haluaisi asua rakennuksessa, jonka käytännön epäkohdat saa huomata joka päivä uudelleen ja uudelleen. Toimivuus ja käytettävyys kytkevät yhteen hyvin moninaisia asioita. *Kuvassa 2.4* on esitetty joitakin tähän kokonaisuuteen liittyviä tekijöitä, joita nousi esille case-kohteen suunnittelun aikana.



Kuva 2.4. Suunnittelukokouksissa käsiteltyjä toimivuuteen ja käytettävyyteen liittyneitä tekijöitä.

Ikkunoiden huurtuminen on energiatehokkuuden parantamisvaatimusten lisääntyä noussut usein esille. Ihmiset ovat tottuneet vaatimaan, että ikkunasta näkee aina ulos ja energiatehokkaiden ikkunoiden ajoittainen huurtuminen on herättänyt vastareaktioita, jotka ilmenevät esimerkiksi vuokrataloyhtiöiden saamina reklamaatioina. Koska huurtuminen on näkyvä haitta eikä energiansäästö puolestaan ole merkittävästi näkyvä hyöty, huurtuminen voidaan helposti kokea suuremmaksi haitaksi kuin paranevan energiatehokkuuden hyödyt.

Ikkunoiden huurtuminen ulkolasin ulkopinnasta on energiatehokkaiden ikkunoiden kohdalla täysin hyväksyttävää. Kyse on ominaisuudesta, joka voi ilmetä tietyissä sääolosuhteissa. Ikkunavalmistajat ovat reagoineet ihmisten reklamaatioihin kehittämällä kalliimpia huurtumisenestolaseja, jotka pienentävät huurtumisen todennäköisyyttä. Kuitenkin tietyissä olosuhteissa huurtumista voi esiintyä myös tämäntyppisissä laseissa. Päivät, jolloin huurretta esiintyy ikkunoissa, ovat kuitenkin melko harvassa, joten huurtumisen perusteella ei kannattane jättää valitsematta energiatehokkaampaa ikkunavaihtoehtoa.

Ikkunoissa voi esiintyä myös toisenlaista huurtumista, jolloin huurretta esiintyy ikkunalasiin välissä, esimerkiksi uloimman lasin sisäpinnassa. Tällainen huurtuminen kielii siitä, ettei kaikki ole niin kuin pitäisi ja huurtumisen syy pitäisi selvittää.

Sisäänkäynnit ovat osa jokapäiväistä arkea, joten niiden sijaitseminen esimerkiksi talon väärällä puolella parkkipaikkoihin nähden voi herättää ärtymystä. Aina käytettävyyden ja toimivuuden kannalta optimaalinen ratkaisu ei kuitenkaan ole mahdollinen. **Yhteistilojen** tarpeellista määrää on myös syytä harkita, sillä esimerkiksi märkätilojen rakentaminen on verrattain kallista ja turhat yhteistilat vievät myös tilaa vuokrattavilta neliöiltä, mikä huonontaa kannattavuutta. Toisaalta esimerkiksi yhteiskäytössä olevat saunatilat parantavat tehokkuutta, mutta toisaalta turvallisuus paranee, jos asukkailla on pääsy ainoastaan omaan rappuunsa. Päätöksenteossa joudutaankin usein tekemään kompromisseja, joissa pyritään maksimoimaan hyödyt ja minimoimaan haitat.

Hisseillä on etenkin ikäihmisten ja liikuntarajoitteisten näkökulmasta katsottuna erittäin suuri merkitys rakennuksen toimivuuteen ja käytettävyyteen. Hissin asentaminen entuudestaan hissittömään taloon parantaakin sen esteettömyyttä merkittävästi. Esteettömyyden kannalta on myös merkittävää jääkö hissi kerrosten puoliväliin, mikä on tavallista vanhoissa korjauskohteissa, joihin hissi on asennettu jälkikäteen. Hissejä asennettaessa onkin syytä ottaa esteettömyys huomioon kunnolla, sillä liikuntarajoitteisen ihmisen kohdalla kerrosten väliin pysähtyvä hissi voi olla yhtä arvoton kuin talo ilman hissiä. Joidenkin pohjaratkaisujen kohdalla kerrosten tasolle tulevan hissien asentaminen voi tarkoittaa sitä, että hissikuilu joudutaan asentamaan rakennuksen ulkopuolelle. Tämä voi olla myös rakennuksen ilmeikkyyden kannalta hyvä ratkaisu, mutta samalla se vaikeuttaa taloudellista tilannetta. Näin ollen ollaan jälleen tilanteessa, jossa on löydettävä kompromissi talouden ja käytettävyyden välille.

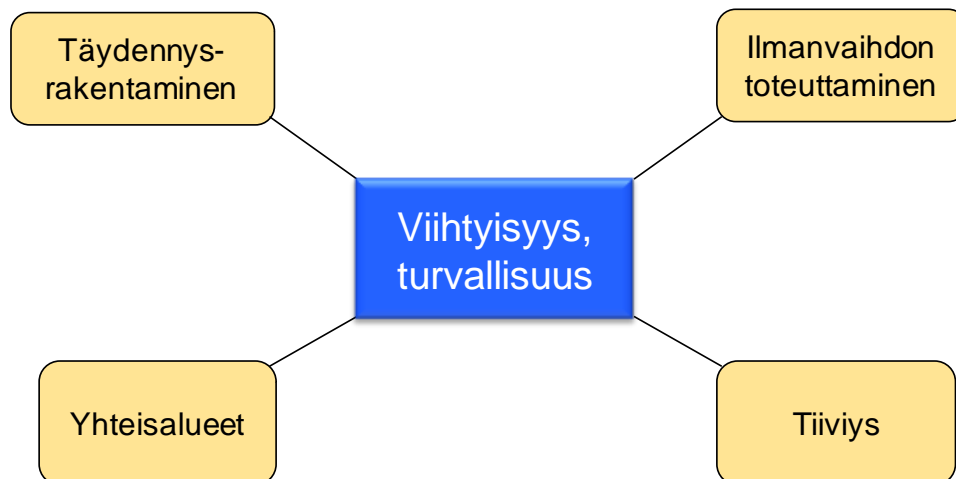
Tilaratkaisuilla on suuri vaikutus rakennuksen käytettävyyteen ja toimivuuteen. Korjauskohteissa ja joissain tapauksissa myös kerroskorotusten yhteydessä vanhan rakennuksen pohjaratkaisut ja sen kantavat rakenteet saattavat rajoittaa pohjaratkaisua. Täydennysrakennettaessa myös vanhan ja uuden rakennuksen eri kerroskorkeus voi rajoittaa käytettävissä olevia ratkaisumahdollisuuksia. Tilaratkaisuista pitäisi pyrkiä saamaan uudistusten yhteydessä riittävän toimivia ja tulevaisuuden tarpeita silmällä pitäen muunneltavia. Hankalissa tapauksissa voikin olla aiheellista arvioida, olisiko vanhan

rakennuksen purkaminen ja uuden rakentaminen sen tilalle rakennusten elinkaaren aikana edullisempi vaihtoehto.

Tulevaisuuden tarpeiden huomioiminen on hyvä pitää mielessä koko suunnitteluvaiheen ajan. Mittavia muutoksia tehtäessä erilaisten varausten tekeminen on huomattavasti edullisempaa kuin tarvittavien muutosten tekeminen jälkeinpäin. Vaikkei tulevaisuuden tarpeita voida koskaan täysin ennakoida, ainakin todennäköisiin asioihin kannattaa varautua jo ennalta, jotta päästään kokonaistaloudellisesti mahdollisimman hyvään lopputulokseen. Esimerkiksi putki- ja kaapelikanavia suunniteltaessa on hyvä jättää varaukset todennäköisille tuleville tarpeille.

Viihtyisyys ja turvallisuus

Viihtyisyys ja turvallisuus ovat asukkaiden hyvinvoinnin kannalta oleellisia tekijöitä. Samalla viihtyvyyteen ja turvallisuuteen vaikuttavat tekijät vaikuttavat usein myös rakennuksen pitkäaikaiskestävyyteen ja näin ollen myös talouteen. Asukkaat ovat valmiita maksamaan enemmän viihtyisässä ja turvallisessa ympäristössä ja asunnossa asumisesta, mikä sekin vaikuttaa taloudelliseen kannattavuuteen. Toisaalta viihtyisyyden ja turvallisuuden takaamiseksi joudutaan usein tekemään myös kompromissiratkaisuja, jotka voivat alentaa taloudellista kannattavuutta. *Kuvaan 2.5* on koottu muutamia viihtyvyyteen ja turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Usein jotkin viihtyvyyteen vaikuttavat tekijät voivat vaikuttaa myös asumisturvallisuuteen. Esimerkiksi terveellinen sisäilmasto pienentää merkittävästi terveysriskejä verrattuna hometaloon.



Kuva 2.5. Suunnittelukokouksissa käsiteltyjä viihtyvyyteen ja turvallisuuteen liittyneitä tekijöitä.

Täydennysrakentamisen vaikutus viihtyvyyteen ei ole täysin yksiselitteinen. Täydennysrakentamalla ja siihen liittyvällä korjausrakentamisella voidaan usein parantaa alueen vetovoimaisuutta. Vetovoimaisuuden lisääntyminen parantaa usein myös alueen turvallisuutta. Yksilön kannalta asia ei kuitenkaan aina automaattisesti näytä myönteiseltä, sillä täydennysrakentaminen voi aiheuttaa esimerkiksi joidenkin asuntojen ikku-

noista katsottuna epätoivottua maisemien muuttumista, kuten näköesteitä. Tällöin muutosta vastustetaan. Erityistä huomiota kannattaa kiinnittää viheralueisiin, sillä niiden väheneminen koetaan usein hyvin kielteisenä asiana. Täydennysrakentamista mietittäessä olisikin punnittava hyötyjä ja haittoja eri osapuolien kannalta. Kun täydennysrakentaminen toteutetaan huolellisesti suunniteltuna, saavutettavat hyödyt ovat kuitenkin merkittävästi suuremmat kuin aiheutuvat haitat. On kuitenkin muistettava, ettei täydennysrakentaminen ole sopiva ratkaisu kaikkiin paikkoihin.

Ilmanvaihdon toteuttamistavalla on suuri merkitys rakennuksen sisäilmastoon. Vanhan koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän korvaaminen uudella lämmön talteenotolla varustetulla tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä ei ole pelkästään taloudellisin perustein kannattavaa, mutta toimenpiteen sisäilmastoa ja viihtyisyyttä parantavat ominaisuudet voivat nostaa sen arvotekijöiden kautta kannattavaksi ratkaisuksi. Vuokrataloyhtiön näkökulmasta tämä kuitenkin edellyttäisi sitä, että asukkaat olisivat valmiita maksamaan toimenpiteen suorittamisesta johtuen korkeampaa vuokraa. Näin ei kuitenkaan välttämättä ole.

Käytäntö on kuitenkin osoittanut, että tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän asentaminen korjauskohteeseen ei välttämättä tuo haluttua lopputulosta. Järjestelmän toimimisen kannalta on tärkeää, että rakennuksesta saadaan riittävän tiivis sekä vaipan että sisäisen tiiviyn osalta. Koska vanhoissa rakennuksissa korvausilma on tullut usein osittain vaipan epätiiviyksien kautta, niiden tiivistäminen aiheuttaa merkittäviä korjaustoimenpiteitä, joiden tekeminen muulloin kuin perusparannustoimenpiteiden yhteydessä on hankalaa.

Rakennuksen tiiviyn vaikutusta on energiansäästömielessä luultavasti ylikorostettu, sillä ilman on joka tapauksessa vaihdettava. Jos ilmanvaihto on hallittua, sen säätely on luonnollisesti helpompaa. Rakennuksen sisäilmastoon tiiviydellä voi olla sen sijaan selkeä vaikutus, kuten vedon tunteen väheneminen. Rakennuksessa tehtävällä ikkunoiden vaihdolla ja huolellisella julkisivujen lisäeristämällä voidaan parantaa rakentamisen tiiviyttä huomattavasti. Tällöin on kuitenkin tärkeää muistaa huolehtia uusista korvausilmareiteistä, sillä epätiiviykskohdista tuleva korvausilma on lähtötilanteessa ollut osa rakennuksen normaalia ilmanvaihtojärjestelmää.

Tiiviyn parantamisen jälkeen tilanne muuttuu ja korvausilman on tultava jostain muualta. Mikäli asianmukaisista reiteistä ei ole huolehdittu, korvausilma etsii joka tapauksessa tiensä jostain – yleensä epätoivotusta paikasta. Huonosti toteutetut korvausilmaratkaisut saattavatkin aiheuttaa koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä vetohaittoja. Lisäksi seinien rakennusfysikaalisen toimivuuden varmistamiseksi ilmatiiviyys on erittäin tärkeä asia.

Asuinkerrostalojen pihojen yhteisalueisiin panostamalla ja niiden ylläpidosta huolehtimalla voidaan parantaa alueen viihtyisyyttä. Koska yhteisalueista huolehtiminen on

verrattain edullinen keino viihtyisyyden lisäämiseen, se kannattaa ehdottomasti hyödyntää. Viihtyvyyden parantamiseen tarvittavia kustannuksia voidaan pienentää talkoohenkeä luomalla.

Viranomaismääräykset sekä niihin rinnastettavissa olevat rajoitukset ja linjaukset

Viranomaismääräysten tarkoituksena on varmistaa muun muassa rakentamisen riittävä laatu ja turvallisuus. Eri aikakausina rakentamista koskeneet määräykset ovat vaihdelleet, joten osittain tämän vuoksi eri aikakausina rakennetuilla rakennuksilla on omat ominaispiirteensä.

Ylimmällä tasolla rakentamista säätelee Suomen lainsäädäntö, kuten maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL). Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMk) kuitenkin lienee tärkein Suomessa rakentamista säätelevä kokonaisuus. Lisäksi rakentamista säädelään kuntakohtaisilla rakennusjärjestyksillä.

Uudisrakentamista säädelään tällä hetkellä huomattavasti tarkemmin kuin korjausrakentamista, mutta myös korjausrakentamista säätelemään on tulossa energiatalouden osalta omat määräyksensä. Rakennusvalvonta huolehtii lupamenettelyn aikana, että rakennukset on suunniteltu rakentamismääräysten mukaisiksi. On syytä huomata, että rakentamismääräyksissä esitetyillä vaatimuksilla voi olla suuri vaikutus rakentamisen kannattavuuteen.

Rakentamista ohjataan myös monilla **viranomaismääräyksiin rinnastettavissa olevilla rajoituksilla ja linjauksilla**. Tällaisia ovat esimerkiksi kuntakohtaiset linjaukset, kuten kunnan maapolitiikka. Kunta voi esimerkiksi päättää tukea energiatehokkuuden edistämistä ja täydennysrakentamista tietyillä talouteen vaikuttavilla myönnytyksillä, kuten pienentämällä perittävän maankäyttömaksun tai tonttivuokran suuruutta tiettyjen edellytysten täytyessä. Tällaisilla linjauksilla ja rajoitteilla voikin olla merkittävä vaikutus hankkeiden kannattavuuteen.

Muut toteutuksen reunaehdot

Muut toteutuksen reunaehdot ovat erilaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat päätöksentekoon, mutta eivät suoraan sovellu edellä esitettyjen kategorioiden alle. Esimerkiksi *tilaajan taloudellinen tilanne* on merkittävä reunaehto, joka asettaa tietyt rajoitteet hankkeelle. Tilaaja ei yksinkertaisesti voi toteuttaa yksin hanketta, johon sen taloudelliset resurssit eivät riitä.

Toteutusaikataulu voi osoittautua hyvinkin kriittiseksi reunaehdoksi. Esimerkiksi tilanteessa, jossa vanhoja rakennuksia korkeamman lisärakennuksen rakentaminen vaatisi kaavamutosta, hankkeelle asetettu aikataulu voi estää kaavamutoksen odottamisen.

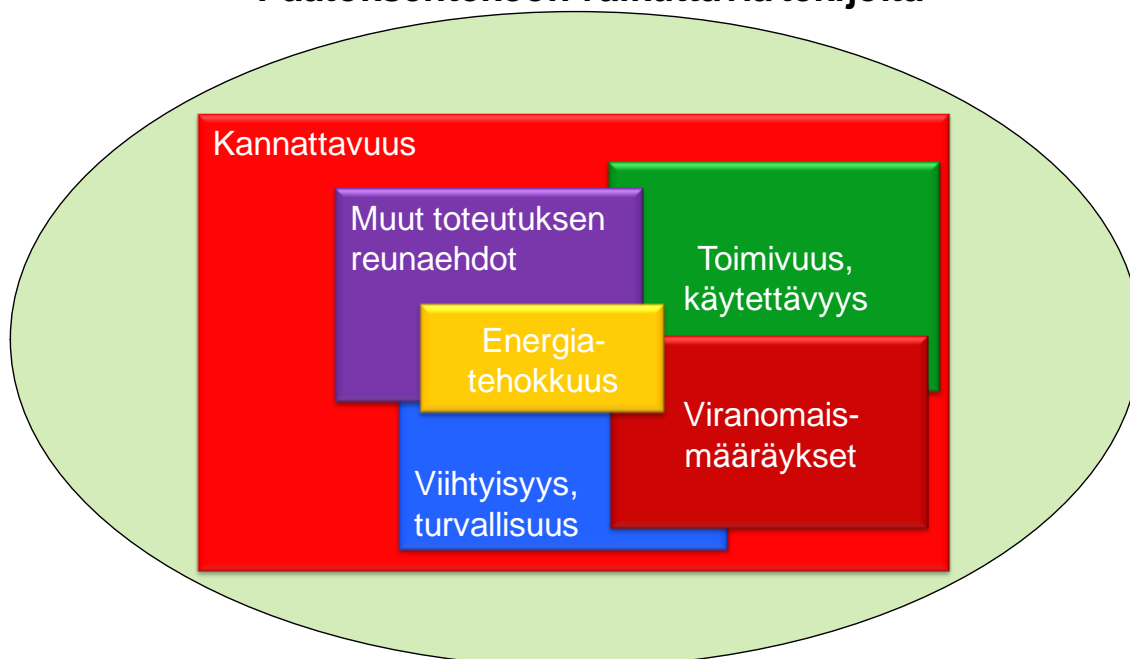
Tällaisessa tilanteessa joudutaan toteuttamaan kompromissiratkaisu, joka johtaa optimaalista tilannetta huonompaan taloudelliseen kannattavuuteen.

Myös hankkeen *toteutukseen valittu partneri* ohjaa usein hanketta tiettyyn suuntaan. Erilaisilla yrityksillä on omat vahvuutensa, joita ne pyrkivät hyödyntämään. Näin ollen uudenlaiseen ratkaisuun tarvittavia menetelmiä ei ole välttämättä partneri-yrityksellä hallussa, mikä johtaa riskien lisääntymiseen ja tätä kautta uudenlaisen ratkaisun vastustamiseen. Uusien menetelmien ja ratkaisujen soveltaminen edellyttäisikin partneri-yritykseltä riittävää riskinottoa.

Päätöksentekoon vaikuttavat tekijät ovat toisiinsa limittyvä kokonaisuus

Edellä on esitetty erilaisia tekijöitä ja näkökohtia, jotka vaikuttavat muun muassa lähiökorjaus- ja kehityshankkeiden päätöksentekoon. Esitetyt asiat ovat vain osa kokonaisuutta, jonka täydellinen pelkistetty esittäminen lienee mahdotonta. Vaikka edellä esitetyt tekijät ovat vain osa kokonaisuutta, niistä käy ilmi, että kyseessä on erittäin monimuotoinen kokonaisuus, johon liittyvät ominaisuudet limittyvät toisiinsa erilaisten takaisinkytkentöjen kautta. *Kuvassa 2.6* on havainnollistettu eri tekijöiden limittymistä toisiinsa.

Päätöksentekoon vaikuttavia tekijöitä



Kuva 2.6. *Päätöksentekoon vaikuttavat tekijät limittyvät toisiinsa.*

Taloudelliset resurssit ja tätä kautta kannattavuus ohjaavat aina väistämättä hankkeen toteutusta. Realiteettien olomassaoloa ei voida kieltää, vaan ne on hyväksyttävä. Lähes tulkoon kaikki päätökset vaikuttavat jollain tavalla myös hankkeen talouteen ja kannattavuuteen. Tämän lisäksi muutkin edellä esitetyt päätekijät vaikuttavat monin tavoin

toisiinsa. Eri tekijöiden painoarvot vaihtelevat hankekohtaisesti ja lopullinen päätös on aina jonkinasteinen kompromissi.

2.2. Päätöksenteon viitekehys

Seuraavassa on esitetty VTS Kotien päätöksenteon taustalla olevien asioiden laajempi logiikka yksinkertaistettuna viitekehysenä (kuva 2.7). Viitekehys ei ole täydellinen, mutta sitä voidaan pitää suuntaa antavana ohjeena siitä, minkälaisia asioita vuokratotaloyhtiön päätöksenteossa tulisi vähintään huomioida. Viitekehysen taustalla ovat edellä esitetyt suunnittelukokouksissa tehdyt havainnot, VTS kotien toiminnan tavoitteet ja VTS Kotien toiminnalleen asettamat arvot (VTS Kodit 2012). Eri yritysten viitekehukset voivat näyttää erilaisilta riippuen mm. yrityksen toimintaansa soveltamista arvoista. Yleisemmin päätöksentekoon liittyvät kuitenkin tietyt samat peruselementit. Viitekehysen tarkoituksena on toimia päätöksentekoa ohjaavana muistilistana, joka varmistaa, että kaikki oleelliset asiat tulevat riittävässä määrin huomioiduiksi.

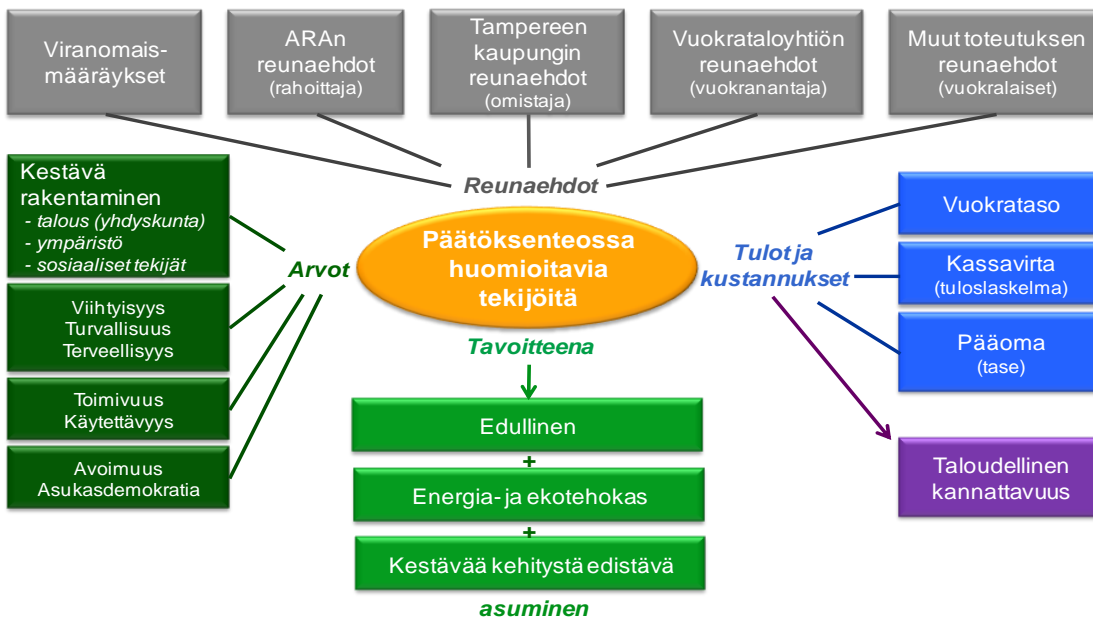
Kuvan 2.7 esimerkkiviitekehyksessä on esitetty ylimpänä **harmaalla** päätöksentekoon vaikuttavia reunaehtoja. Jokaiseen päätöksentekotilanteeseen liittyy erilaisia reunaehtoja, jotka on pystyttävä huomioimaan. Vuokratotaloyhtiöiden rakennushankkeiden päätöksentekoon reunaehtoja asettavat ainakin viranomais määräykset, hankkeiden rahoittajat, yhtiön omistajat, yhtiö itse sekä rakennuksissa asuvat vuokralaiset. Reunaehdot on tunnettava hyvin jo riittävän varhaisessa vaiheessa, jotta osataan tehdä hyviä päätöksiä ja välttyä ikäviltä yllätyksiltä.

Talous liittyy aina kiinteästi yritysten toimintaan ja muodostaa väistämättä yhden merkittävän päätöksentekoa ohjaavan kokonaisuuden. Päätöksenteon taloudellista puolta on kuvattu **sinisellä** *kuvan 2.7* oikeanpuoleisessa *Tulot ja kustannukset* –kokonaisuudessa. Tulot ja kustannukset muodostuvat eri tekijöistä, joiden perusteella muotoutuu hankkeen taloudellinen kannattavuus. Kannattavuuteen vaikuttavat tekijät on tunnistettava ajoissa ja päätösten vaikutukset näihin tekijöihin on ymmärrettävä kunnolla, jotta voidaan varmistaa hankkeiden taloudellinen toteutettavuus.

Myös arvotekijöillä on merkittävä päätöksentekoa säätelevä vaikutus. VTS Kotien päätöksenteossa tunnistettuja arvoja on esitetty **vihreällä** *kuvan 2.7* vasemmanpuoleisessa *Arvot*-kokonaisuudessa. Arvotekijöiden systemaattinen huomioiminen päätöksenteossa on huomattavasti hankalampaa kuin rahamäärien suureiden. Päätöksenteon kannalta keskeisten arvojen tunnistaminen on kuitenkin hyvien päätösten kannalta erittäin tärkeää. Arvojen huomioimista päätöksenteossa on käsitelty tarkemmin tämän raportin *kappaleessa 4.2*.

Alimpana *kuvan 2.7* esimerkkiviitekehyksessä on esitetty toiminnan tavoitteet, joiksi on tässä tapauksessa valittu edullisen, energia- ja ekotehokkaan sekä kestävästä kehitystä edistävän asumisen varmistaminen. Tavoitteiden määrittely ja kirjaaminen on hyvin

tärkeää, jotta välillä voidaan tarkistaa, ohjaavatko tehdyt päätökset todella kohti toiminnalle asetettuja tavoitteita. Näin voidaan havaita päätöksenteossa esiintyviä puutteita ja epäloogisuuksia sekä edelleen tarttua niihin hyvissä ajoin.



Kuva 2.7. Esimerkki päätöksenteon viitekehyksestä.

2.3. Systemaattinen päätöksenteko

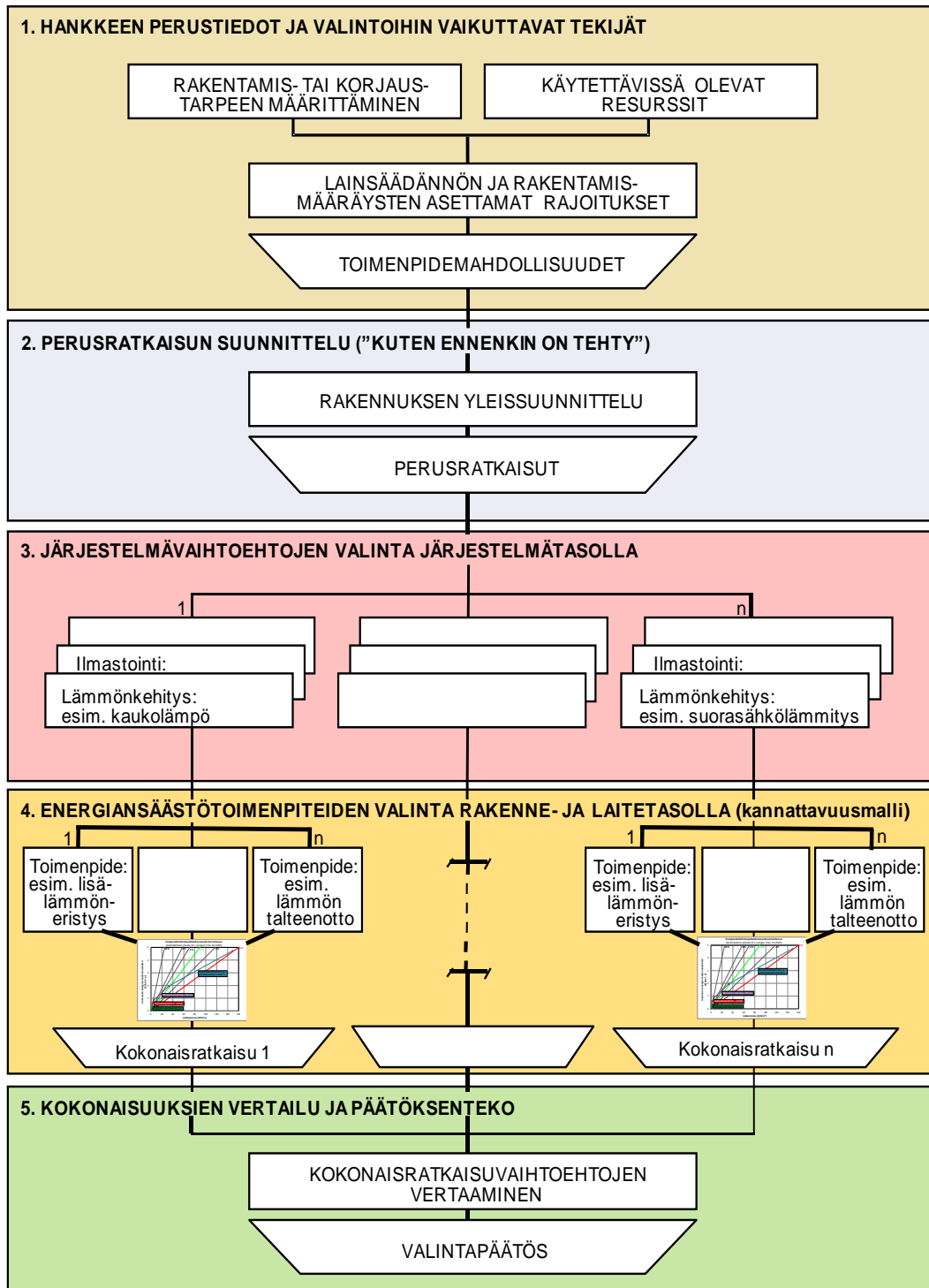
Tässä kappaleessa esitetään systemaattinen päätöksentekomenetelmä, jota voidaan hyödyntää lähiökorttelikorjaus- ja kehityshankkeissa. Esitetty menetelmä perustuu Aalto & Heljon (1984) teoksessaan *Rakennusten energiataloudelliset menetelmät* esittämään tarkastelutapaan. Työkalun hyödyntämisellä tavoitellaan parempia päätöksiä. Systemaattisella tarkastelulla eri vaihtoehtojen tuomat hyödyt ja haitat tulevat esille ja päätöksiä on helpompi tehdä, kun käytettävissä on vaihtoehtojen vertailemisen kannalta oleellista tietoa. Tässä esitetyn menetelmän antamat tulokset ovat luonnollisesti yhtä luotettavia, kun laskentaan käytetyt lähtötiedotkin, joten käyttäjälle jää vastuu luotettavien lähtötietojen keräämisestä.

Kuvassa 2.8 on esitetty systemaattisen päätöksentekoprosessin vaiheet. Vaiheet on käyty seuraavassa pääpiirteissään läpi. Vaiheiden 4 ja 5 toteuttamiseen on esitetty perusteellisempi selvitys tämän raportin luvuissa 3 ja 4.

Hankkeen perustiedot ja valintoihin vaikuttavat tekijät (vaihe 1)

Valintojen lähtökohtina ovat rakentamis- tai korjaustarve ja näiden tyydyttämiseen käytettävissä olevat resurssit. Näiden perusteella rakennuksen hanke- ja esisuunnitteluvaiheessa etsitään toimenpidemahdollisuudet lainsäädännön ja normiston asettamissa rajoissa. Hanke- ja esisuunnitteluvaiheessa tärkein suunnittelun osa-alue on rakennuksen käyttötarkoituksen tilantarpeen tyydyttäminen. Kuitenkin myös energiatalouteen vaikut-

tavat seikat on syytä ottaa suunnittelussa huomioon, koska niiden vaikutus rakennuksen hankinta- ja käyttökustannuksiin on suuri. Myöhemmin tehtäviä valintoja varten määritetään taloudellisuustavoitteet (esim. tuottovaatimus 4 %) ja resurssirajoitukset – yleensä resurssirajoitukset muodostuvat rahoitusmahdollisuuksien perusteella.



Kuva 2.8. Systemaattisen päätöksentekoprosessin vaiheet. (perustuen Aalto & Heljo 1984, s. 25.)

Perusratkaisun suunnittelu (vaihe 2)

Rakennuksen yleissuunnitteluvaiheessa selvitetään mahdollisuudet vaikuttaa rakennusta ympäröivään pienilmastoon – ja sen kautta myös energiankulutukseen – rakennuksen sijoituksen ja suuntauksen avulla. Lisäksi tarkastellaan, voidaanko rakennuksen muodon, tilojen keskinäisen sijoittelun ja lämmönvarauskyvyn hyödyntämisen avulla pienentää rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysenergian tarvetta. Tässä suunnitteluvaiheessa energiataloudellisten tekijöiden huomioon ottaminen on yleensä enemmän tarkistusluontoista tekijöiden läpikäyntiä kuin varsinaista taloudellista vertailua.

Koska yleissuunnitteluvaiheessa valintojen suorittamisen lähtökohtana ovat monet energiataloutta painavammat seikat, tässä suunnitteluvaiheessa energiataloutta parantavia tekijöitä ei voida irrottaa kokonaisuudesta. Taloudellista analyysiä tehtäessä voidaan päätöskriteerinä käyttää toimenpiteiden sisäistä korkoa.

Yleissuunnitteluvaiheen tuloksena on rakennuksen perusratkaisu, joka on lähtökohtana suoritettaville energiatalouteen vaikuttavien järjestelmien, rakennusosien ja laitteiden valinnoille.

Järjestelmävaihtoehtojen valinta (vaihe 3)

Yleissuunnitteluvaiheen jälkeen valintajärjestelmässä määritetään rakennukseen soveltuvat ja energiatalouteen vaikuttavat järjestelmät. Tärkeimmät määritettävät järjestelmät ovat:

- lämmönkehitysjärjestelmät,
- lämmönjako- ja varastointijärjestelmät,
- ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät,
- säätöjärjestelmät,
- käyttövesijärjestelmät ja
- sähköjärjestelmät.

Keskeisimmässä asemassa on lämmönkehitysjärjestelmä, jonka perusteella määräytyy tarvittavan lämmön hinta. Tämän vuoksi lämmönkehitysjärjestelmän valinta vaikuttaa kaikkien sen tuottamaa lämpöä kuluttavien järjestelmien, rakennusosien ja laitteiden taloudellisuuteen. Lämmönkehitysjärjestelmävaihtoehdot on määritettävä ennen rakennusosa- ja laitetasolla tapahtuvia energiansäästötoimien valintaa, jotta saadaan selville energiansäästötoimilla saavutettavat kustannussäästöt.

Toisaalta lämmönkehitysjärjestelmää ei voida valita perusratkaisun energiankulutuksen perusteella, koska ei tiedetä, mitä energiansäästötoimia kyseisessä lämmönkehitysjärjestelmävaihtoehdossa kannattaa tehdä. Energiataloudellisissa valinnoissa voidaan investoida halpaan energiaan, pieneen energiankulutukseen tai molempiin. Ennen vaiheen 4

rakennusosien ja laitteiden valintaa ei tiedetä, mikä edellä mainituista vaihtoehtoista on edullisin.

Myös muut järjestelmävalinnat vaikuttavat rakennusosien ja laitteiden valintamahdollisuuksiin, energiansäästötoimenpiteiden aiheuttamiin investointi- ja ylläpitokustannuseroihin sekä etenkin säästetyn energian määrään. Tämän vuoksi järjestelmävaihtoehtojen pitää olla tiedossa ennen rakennusosien ja laitteiden valintaa.

Energiansäästötoimenpiteiden valinta (vaihe 4)

Kun vaihtoehtoisilla lämmönkehitysjärjestelmillä tuotetun lämmön hinta ja eri järjestelmien ominaisuudet ovat selvillä, rakennuksen kussakin järjestelmävaihtoehdossa voidaan valita edullisimmat rakenne- ja LVIS-laiteratkaisut. Ne valitaan tarkastelemalla kussakin järjestelmävaihtoehdossa rakenteisiin ja LVIS-laitteisiin suoritettavien toimenpiteiden aiheuttamia *investointi-, energia- ja ylläpitokustannusten* eroja ja arvoeroja. Päätöskriteerinä käytetään investoinnin sisäistä korkokantaa, jonka osoittamassa järjestyksessä tuottovaatimuksen ylittävät toimenpiteet valitaan resurssien sallimissa rajoissa. Tarvittaessa valintajärjestys tarkistetaan arvoerojen perusteella, jos valitsematta jää toimenpiteitä, joilla on selvästi suuremmat arvot kuin valituilla.

Eri järjestelmävaihtoehtoissa tehdyt valinnat poikkeavat yleensä toisistaan, koska järjestelmästä riippuen *energian hinnalla, säästetyn energian määrällä, investointi- ja ylläpitokustannuseroilla sekä arvoeroilla* on suuri hajonta. Lisäksi toimenpiteisiin käytävissä olevat rahoitusmahdollisuudet järjestelmävaihtoehtojen erilaisten investointikustannusten vuoksi ovat järjestelmävaihtoehtoissa erilaiset.

Kun rakennusosa- ja laitetason valinnat eri järjestelmissä on tehty, eri kokonaisratkaisuvaihtoehdot ovat selvillä. Näiden perusteella suoritetaan lopullinen valinta. Jos tarkasteltavana on vain yksi järjestelmävaihtoehto, lopulliset valinnat suoritetaan tämän vaiheen perusteella. Esimerkiksi korjaustoiminnassa voidaan päättää, ettei nykyisiä järjestelmiä muuteta niiden hyvän kunnon ja moitteettoman toiminnan vuoksi. Tällöin vertailu sisältää lähtötilanteen selvittämisen lisäksi ainoastaan tämän valintavaiheen. Suositeltavin tapa tämän vaiheen tarkastelujen tekemiseen on hyödyntää *luvussa 3* esitettyä energiansäästötoimenpiteiden kannattavuusmallia.

Kokonaisuuksien vertailu ja päätöksenteko (vaihe 5)

Lopullinen vertailu tehdään edellisessä kohdassa optimoitujen kokonaisratkaisuvaihtoehtojen välillä. Kokonaisratkaisuvaihtoehtojen vertailu tehdään kokonaiskustannusten (*investointi-, energia-, ylläpito- ja uusimiskustannukset*) ja arvojen perusteella. Päätöskriteerinä käytetään vaihtoehtojen *elinkaari edullisuutta eli elinkaariarvojen ja elinkaarikustannusten välistä suhdetta*. Mikäli arvotekijöitä ei sisällytetä vertailuun, päätöskriteerinä käytetään elinkaarikustannusten nykyarvoa.

Kokonaisratkaisuvaihtoehdot eroavat toisistaan yleensä huomattavasti järjestelmiltään, rakennusosiltaan sekä laitevalinnoiltaan. Esimerkiksi pientalossa sähkölämmityksen korkea lämmön hinta voi tehdä useita energiansäästötoimenpiteitä kannattaviksi ja toisaalta pienten investointikustannustensa vuoksi voi sallia myös niiden rahoituksen. Lämpöpumppulämmityksessä tuotetun lämmön alhaisen hinnan vuoksi harva energiansäästötoimenpide on kannattava ja toisaalta suurten investointikustannusten vuoksi energiansäästötoimenpiteisiin voi jäädä käytettäväksi vain vähän taloudellisia resursseja. Lopullisessa vertailussa näiden kahden vaihtoehdon kokonaiskustannukset rakennuksen pitoajalta voivat kuitenkin olla hyvinkin lähellä toisiaan. Tällöin arvoerot ratkaisevat valittavan vaihtoehdon.

Kokonaisratkaisuvaihtoehtojen *elinkaarietullisuuden* määrittämisen jälkeen suoritetaan epävarmuustarkastelu vaihtoehtojen epävarmimmiksi koettujen kustannus- ja arvotekijöiden suhteen. Epävarmuustarkastelun jälkeen voidaan tehdä lopullinen päätös. Tämän raportin *luvussa 4* sekä *liitteissä 3 ja 4* on käsitelty tarkemmin elinkaarietullisuuden määrittämisen hyödyntämistä päätöksenteon apuvälineenä.

3. Energiansäästö ja ympäristövaikutukset osana päätöksentekoa

Tässä luvussa on tarkemmin käsitelty energiansäästön ja ympäristövaikutusten osuutta lähiökorttelikorjaamisen taloudellisessa päätöksenteossa. Ensin asiaa lähestytään yleisestä näkökulmasta. Tämän jälkeen esitetään menetelmä, jota on suositeltavaa hyödyntää *kappaleessa 2.3* esitetyn systemaattisen päätöksentekoprosessin **vaiheen 4** energiansäästötoimenpiteiden valinnassa. Esitettyä menetelmää sovelletaan ensin Annalan case-alueen yksittäisiin kohteisiin, minkä jälkeen tarkastelu laajennetaan korttelitasolle koskemaan koko Uudisuva Annala –hankkeen 1-vaihetta.

3.1. Asetetut tavoitteet edellyttävät säästöjä

Perusparannustarve koskee lähiaikoina suurta osaa Suomen rakennuskannasta. Samanaikaisesti on sitouduttu erilaisiin poliittisiin tavoitteisiin, joilla pyritään energiankulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Asetettuihin tavoitteisiin pääseminen ei ole optimistisestikaan arvioituna helppoa ja edellyttää merkittäviä toimenpiteitä olemassa olevassa rakennuskannassa.

Taloudellisuustarkastelujen luonne on muuttunut oleellisesti viimeisen kymmenen vuoden aikana. Aikaisemmin laskettiin energiatehokkuudelle taloudellisia optimeja. Tyypillisesti optimoitiin seinän lämmöneristyspaksuutta. Nykyään poliittiset päättäjät ja rakennuttajat asettavat energiatehokkuustavoitteet rakennuksille. Taloudellisten laskelmien tehtävänä on määrittää, miten tavoitteisiin päästään taloudellisimmin.

Jotta rakenteellisten energiansäästötoimenpiteiden toteuttaminen olisi taloudellisesti kannattavaa, ne on pääsääntöisesti toteutettava muista syistä tehtävien perusparannustoimenpiteiden yhteydessä. Vaarana on, että kannattavat energiansäästötoimenpiteet jäävät kokonaan toteuttamatta, ellei niiden kannattavuutta pystytä riittävän uskottavasti ja havainnollisesti osoittamaan. Toisin sanoen merkittävä osuus rakennusten energiansäästöpotentiaalista jää hyödyntämättä, ellei energiansäästötoimenpiteitä tehdä perusparannustarpeessa olevien rakennusten korjaushankkeiden yhteydessä.

3.2. Kannattavuusmalli taloudellisen päätöksenteon työkaluna

Kokemus osoittaa, että kannattavienkin energiansäästötoimenpiteiden toteuttaminen perusparannusten yhteydessä on tähän asti ollut vähäistä. *Kappaleessa 2.1* todettiin, että

nykyisillä energian hinnoilla energiakustannusten osuus vuokrasta on suuruusluokkaa 10–20 %. Energian hintojen noustessa energiakustannusten osuus vuokrasta kasvaa ja vuokrankorotuspaineet lisääntyvät. Energiakustannukset muodostavatkin elinkaaritaidellisesti merkittävän menoerän, jonka hallitsemiseen kannattaa panostaa.

Tässä esitettävällä kannattavuusmallilla voidaan vertailla energiansäästötoimenpiteiden kannattavuutta ja esittää vertailun tulokset havainnollisesti. Vastaavanlaista mallia on kehitetty myös Ruotsissa BELOK Total –projektin yhteydessä (Abel 2010). Tämän raportin esitys mallin perusteista on pelkistetty ja perusteellisempi kuvaus löytyy raportista *Hyvät käytännöt ja toimintamallit – Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuusmalli* (Kurvinen & Heljo 2011). Kannattavuusmallia on käsitelty myös Rakentajain kalenterissa 2012 (Kurvinen & al. 2011, s. 158–164). Perusasioiden esittelyn jälkeen seuraavissa kappaleissa keskitytään kannattavuusmallin soveltamiseen case-alueella ja tarkastelun laajentamiseen korttelitasolle.

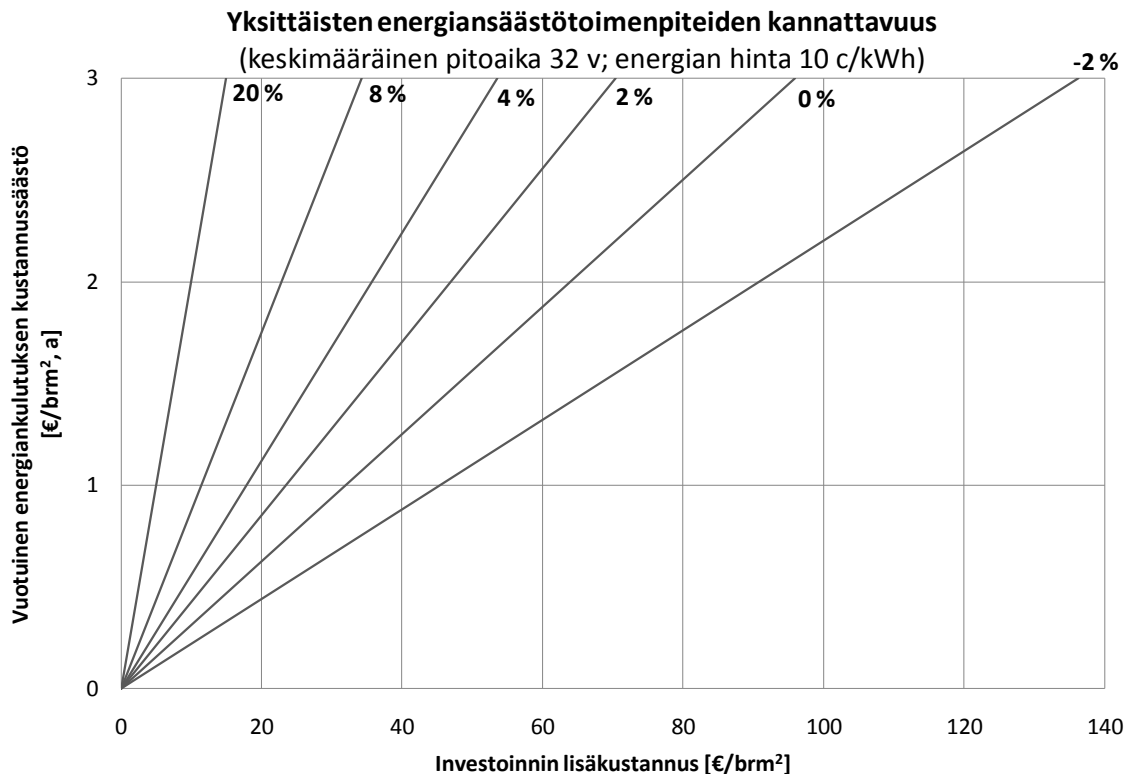
Kannattavuusmallin avulla voidaan tukea ja perustella kannattavien energiansäästötoimenpiteiden toteuttamista päätöksentekoprosessin aikana. Malli ei kuitenkaan poista sitä ongelmaa, miten korjauskustannukset jaetaan välttämättömälle rakenteiden korjaukselle ja energiatehokkuuden parantamiselle. Uudistuotannossa energiatehokkuuden parantamiselle kohdistetaan vain siitä aiheutuvat lisäkustannukset. Samoin pitää tehdä myös korjaustoiminnassa, mutta korjaustoiminnassa jako ei ole yhtä selkeä kuin uudistuotannossa.

Kannattavuusmallilla havainnollisuutta esittämiseen

Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuusmallin tärkeimpänä tehtävänä on esittää toimenpiteiden vaikutukset ja kannattavuusjärjestys mahdollisimman havainnollisessa muodossa. Sen mukaisella menettelyllä energiansäästötoimenpiteiden kannattavuutta voidaan havainnollistaa kannattavuuskuvaajilla, joista voidaan verrattain helposti lukea energiansäästöt, lisäkustannukset sekä kunkin toimenpiteen sisäinen korko ja verrata sitä asetettuun tuottovaatimukseen. Myös energian hinnan muutoksen vaikutusta toimenpiteiden kannattavuuteen voidaan tarkastella suoraan kannattavuuskuvaajasta ilman uusien laskelmien tekemistä.

Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus esitetään *kuvan 3.1* mukaisessa koordinaatistossa, jossa tarkasteltavan energiansäästötoimenpiteen kannattavuuskuvaajan päätepisteen sijoittuminen vaaka-akseliin nähdessä kuvaa sitä investoinnin lisäkustannusta, jonka kyseisen toimenpiteen toteuttaminen vaatii neliötä kohden (voidaan esittää myös kokonaiskustannuksena). Päätepisteen sijoittuminen pystyakseliin nähdessä puolestaan kuvaa toimenpiteellä saavutettavalla energiansäästöllä saavutettavaa vuotuista kustannussäästöä neliötä kohden (voidaan esittää myös kokonaiskustannussäästönä). Kuvaaja nousee sitä jyrkemmin, mitä kannattavampi energiansäästötoimenpide on. *Kuvassa 3.1* näkyvät **harmaat** vinoviivat kuvaavat sisäistä korkoa. Kun energiansäästötoimenpitei-

den kannattavuuskuvaajien kaltevuutta verrataan kuvassa näkyviin sisäisen koron viivoihin, voidaan suoraan kuvasta lukea toimenpiteen kannattavuus sisäisellä korolla mitattuna (ks. kuva 3.2 ja kuva 3.3).



Kuva 3.1. Koordinaatisto, jossa voidaan esittää havainnollisesti energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus. Vaaka-akseli kuvaa energiansäästötoimenpiteen toteuttamisesta aiheutuvaa lisäkustannusta [€/brm²] ja pystyakseli toimenpiteellä saavutettavaa vuotuista energian kustannussäästöä [€/brm², a]. Kun kuvaan piirretään toimenpiteiden vaikutuksia kuvaavat viivat, niiden kannattavuutta voidaan arvioida vertaamalla toimenpiteiden viivoja kuvassa näkyviin sisäisen koron viivoihin. Bruttoneliötä kohden esitettyjen lukujen tilalla voidaan esittää esimerkiksi myös vastaavat kokonaiskustannukset/-säästöt.

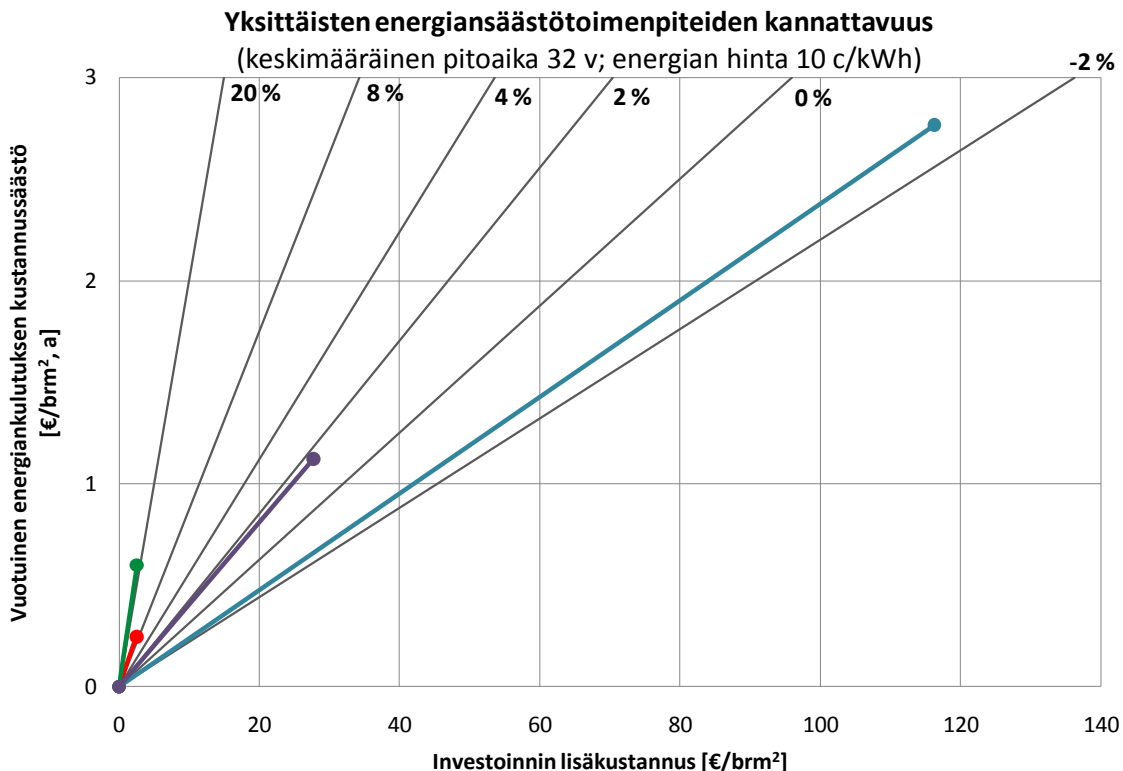
Toimenpiteiden kannattavuuden esittäminen yksittäin

Kuvassa 3.1 esitettyssä koordinaatistossa voidaan tarkastella energiansäästötoimenpiteiden kannattavuutta kahdella eri tavalla. Näistä ensimmäinen on esitetty kuvassa 3.2, jossa kunkin energiansäästötoimenpiteen kannattavuutta on tarkasteltu yksittäin. Tällöin kunkin toimenpiteen kannattavuuskuvaajan lähtöpiste on origossa ja päätepisteestä voidaan vaaka-akselilta lukea toimenpiteen vaatima lisäinvestointi neliötä kohden [€/brm²] (tai vaihtoehtoisesti kokonaiskustannus, €) ja pystyakselilta puolestaan toimenpiteellä vuotuisessa energiankulutuksessa saavutettava kustannussäästö [€/brm²] (tai vaihtoehtoisesti kokonaiskustannussäästö, €). Toimenpiteen kannattavuus voidaan arvioida sisäisen koron perusteella, kun verrataan päätepisteen sijaintia tai kannattavuuskuvaajan kaltevuutta sisäisen koron viivoihin.

Kuvassa 3.2 olevat eriväriset vinoviivat ovat eri energiansäästötoimenpiteitä. Mitä korkeammalle kuvaaja nousee, niin sitä suurempi energiansäästö sillä saavutetaan. Toisaalta mitä oikeanmammalle kuvaaja menee vaak-akselilla, sitä enemmän sen toteuttaminen maksaa.

Jos halutaan tarkastella, miten toimenpiteiden kannattavuus muuttuu, kun energian hinnan vuotuisen nousun oletetaan olevan esimerkiksi 2 prosenttiyksikköä nopeampaa kuin keskimääräinen hintatason nousu (inflaatio), energian reaali­hinnan nousu voidaan huomioida korjatulla tuotto­vaatimuksella (r_{korjattu}). Tällöin vaikutus toimenpiteiden kannattavuuteen nähdään suoraan kuvasta ilman, että muutetaan taustalla olevassa laskennassa käytettyjä arvoja. Kun tuotto­vaatimukseksi on asetettu 4 % ja energian hinnan vuotuiseksi reaalinousuksi arvioidaan 2 %, korjatuksi tuotto­vaatimukseksi saadaan: $r_{\text{korjattu}} = 4\% - 2\% = 2\%$. Tällöin toimenpiteiden kannattavuusrajana käytetään 4 %:n sisäisen koron viivan sijasta 2 %:n viivaa, jolloin energian hinnan reaalinousu tulee huomioitua.

Kun kuvan 3.2 energiansäästötoimenpiteiden kannattavuuskuvajia verrataan sisäisen koron viivoihin, nähdään, että ainoastaan vihreän ja punaisen kuvaajan toimenpiteet täyttävät tuotto­vaatimuksen (4 %) ja energian reaali­hinnan nousulla korjatun tuotto­vaatimuksen (2 %).



Kuva 3.2. Yksittäisten energiansäästötoimenpiteiden kannattavuuden havainnollistaminen. Bruttoneliötä kohden esitetyt luvut voidaan esittää myös kokonaiskustannuksina/säästöinä.

Toimenpiteiden kannattavuuden esittäminen pakettina

Toinen tapa energiansäästötoimenpiteiden kannattavuuden esittämiseen on esitetty *ku-
vassa 3.3*. Siinä tarkastellaan samanaikaisesti toteutettavien energiansäästötoimenpiteiden yhteisvaikutusta toimenpidepaketin pakettina. Tällöin yksittäisten energiansäästötoimenpiteiden kannattavuuskuvaajat ketjutetaan peräkkäin yhdeksi kuvaajaksi, joka kuvaa koko toimenpidepaketin kannattavuutta. Kuvaajien ketjuttaminen tehdään siten, että toimenpiteet järjestetään kannattavuusjärjestykseen ja kannattavimman toimenpiteen kuvaaja lähtee origosta. Seuraavaksi kannattavimman toimenpiteen kuvaajan alkupiste on puolestaan kannattavimman kuvaajan päätepiste ja kolmanneksi kannattavimman toimenpiteen kuvaajan alkupiste toiseksi kannattavimman toimenpiteen kuvaajan päätepiste jne. Näin jatketaan, kunnes kaikki tarkasteluun mukaan haluttavat toimenpiteet on ketjutettu mukaan kuvaajaan.

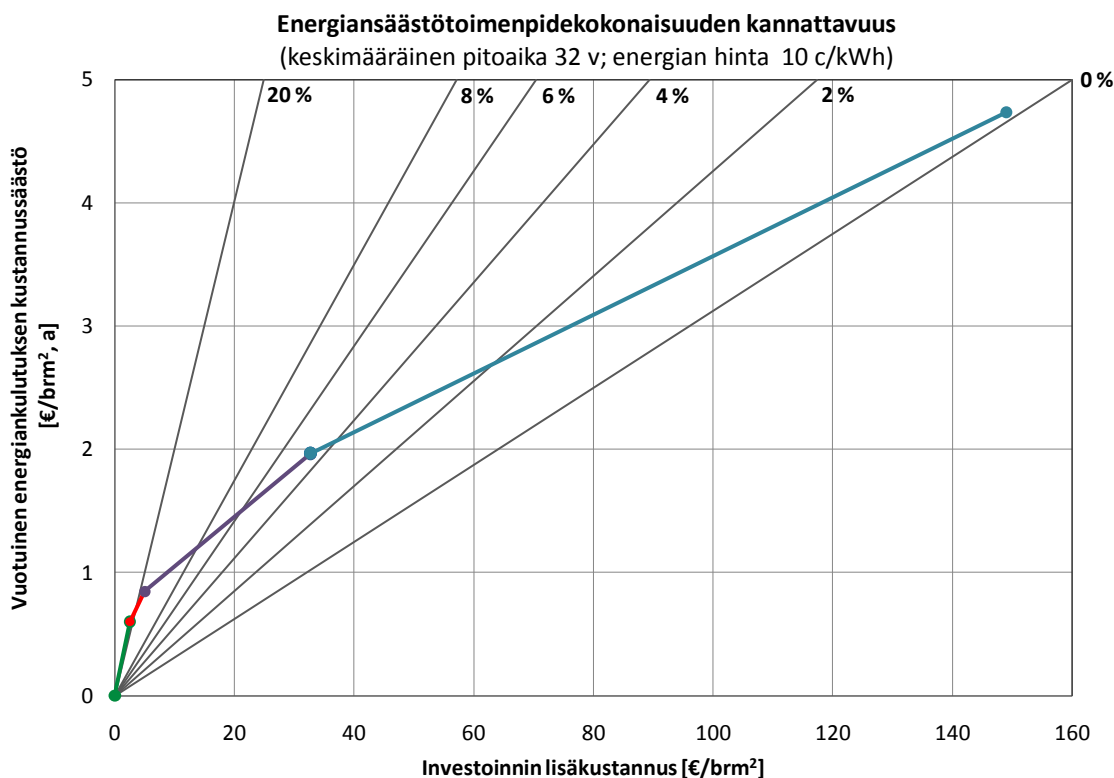
Ketjutetun kuvaajan avulla voidaan tarkastella useamman toimenpiteen yhteisvaikutusta. Kunkin toimenpiteen päätepisteen kohdalla voidaan sisäisen koron viivoihin vertaamalla lukea, mikä on siihen asti kannattavuusjärjestyksessä toteutettujen energiansäästötoimenpiteiden kokonaiskannattavuus. Kun tarkastellaan toimenpidepaketin kokonaiskannattavuutta, on mahdollista, että yksittäin tarkasteltuna tuottovaatimuksen perusteella hylättäviä toimenpiteitä voidaan toteuttaa tuottovaatimuksen puitteissa. Tämä selittyy sillä, että jotkin alkupään tarkasteltavista toimenpiteistä saattavat olla huomattavasti tuottovaatimusta kannattavampia, kun taas joidenkin loppupään toimenpiteiden kannattavuus saattaa jäädä vain hieman tuottovaatimuksen alapuolelle. Tällöin kannattavammilla toimenpiteillä ikään kuin rahoitetaan loppupään kannattamattomampia toimenpiteitä ja kokonaisuudesta saadaan tuottovaatimuksen täyttävä, vaikka jokin loppupään toimenpide alittaisi tuottovaatimuksen.

Kuvassa 3.3 olevat eriväriset vinoviivat kuvaavat eri energiansäästötoimenpiteitä. Nyt viivat on kuitenkin *kuvan 3.2* tarkastelusta poiketen ketjutettu toimenpiteiden kannattavuusjärjestyksessä peräkkäin yhdeksi kuvaajaksi. Mitä korkeammalle kuvaaja nousee, niin sitä suurempi energian kustannussäästö siihen asti kannattavuusjärjestyksessä toteutetuilla energiansäästötoimenpiteillä saavutetaan. Toisaalta mitä oikeanmammalle kuvaaja menee vaaka-akselilla, sitä kalliimmaksi toimenpidepaketin toteuttaminen tulee.

Valitaan tuottovaatimukseksi 4 % ja oletetaan energian hinnan reaalinousun olevan 2 %. Näin korjatuksi laskentakorkokannaksi saadaan sama kuin *kuvan 3.2* esimerkissä: $r_{\text{korjattu}} = 4\% - 2\% = 2\%$. Kun kuvan toimenpidepaketin kannattavuuskuvaajaa verrataan sisäisen koron viivoihin, nähdään, että kokonaisvaikutusta tarkasteltaessa **vihreän** ja **punaisen** kuvaajan toimenpiteiden lisäksi voitaisiin sekä alkuperäisen että korjatun tuottovaatimuksen puitteissa toteuttaa lisäksi **violetin** kuvaajan energiansäästötoimenpide, joka jäi toimenpiteiden kannattavuutta yksittäin tarkasteltaessa tuottovaatimuksen alapuolelle. Tässä tapauksessa siis kannattavimmat toimenpiteet (**vihreä** ja **punainen**) parantavat toimenpidepaketin kokonaiskannattavuutta sen verran, että myös yksinään

kannattamaton toimenpide (**violetti**) valitaan toteutettavaksi. **Sinisen** kuvaajan toimenpide painaa kuitenkin toimenpidepaketin kannattavuuden tuottovaatimuksen alapuolelle, joten sen toteuttaminen ei ole taloudellisesti perusteltua ja se kannattaa jättää pois toteutettavasta toimenpidepaketista.

Arvotekijät voidaan ottaa mukaan herkkyytarkastelussa kokeilemalla, kuinka paljon toimenpiteen lisäkustannusta pitää vähentää, jotta valintajärjestys muuttuisi. Voidaan ajatella, että valinnalla saavutettavista arvoista pitää maksaa kyseisen vähennyksen verran. Tällöin valitsijan on helpompi harkita, onko hän valmis maksamaan vähennyksen verran kyseisten arvojen toteutumisesta.



Kuva 3.3. Samanaikaisesti toteutettavan energiansäästötoimenpidepaketin kokonaiskannattavuuden havainnollistaminen. Bruttoneliötä kohden esitetyt luvut voidaan esittää myös kokonaiskustannuksina/-säästöinä.

3.3. Case-sovellus: VIRI Ojavainionkatu 6

Ojavainionkatu 6 (ennen Takuvainionkatu 4) on Vilusen Rinne Oy:n vuokratilakohde Tampereen Annalassa. Kyseessä on 1970-luvulla valmistunut 4-kerroksinen talo (3 asuinkerrosta + 1 kellarikerros), joka oli *Uudistuva Annala* -hankkeen ensimmäinen perusparannuskohde. Perusparannuksen yhteydessä kohdetta korotettiin yhdellä kerroksella.

Seuraavassa on tarkasteltu energiansäästötoimenpiteiden toteuttamisen kannattavuutta vanhojen rakennusten perusparannuksen yhteydessä edellä esitetyn kannattavuusmallin

avulla. Tarkasteluissa on huomioitu ainoastaan lämmönkulutus. Korjausten lisäksi on tutkittu, onko korotuskerroksen energiataloudellinen parantaminen määräystasoa paremmaksi kannattavaa. Toimenpiteiden kannattavuuksien lisäksi on esitetty myös niiden energiansäästö- ja kasvihuonekaasupäästövaikutuksia. Lisätietoja kohteesta löytyy *liitteestä 1*, ja toimenpiteiden vaikutukset on esitetty rakennuskohtaisesti *liitteessä 2*.

Perusratkaisut

Seuraavassa on esitetty perusratkaisut niiden rakennusosien osalta, joita tarkasteltavat energiansäästötoimenpiteet koskevat. Korjausrakentamisen perusratkaisut määräytyvät pääsääntöisesti rakennusteknisin ja -fysikaalisin sekä arkkitehtonisin perustein. Uudisrakentamisen perusratkaisut tulevat pääosin rakentamista säätelevistä määräyksistä.

Korjausosa:

- Ikkunat: asennetaan uudet ikkunat, joiden U-arvo on 1,2 W/m²K
- Ulkoseinät: tehdään ulkoseinille perusteellinen pinnoitus- ja paikkauskorjaus
- Parvekkeet: ei parvekelasitusta
- Ilmanvaihto: kunnostetaan vanha koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä

Korotusosa (määräystaso RakMk C3–2007):

- Ikkunat: Asennetaan uudet ikkunat, joiden U-arvo on 1,2 W/m²K
- Parvekkeet: ei parvekelasitusta.

Tarkasteltavat energiansäästötoimenpiteet

Korjauskohteet:

- Ikkunat: Asennetaan uudet ikkunat, joiden U-arvo on (1) 1,0 W/m²K, (2) 0,85 W/m²K (tarkastelu vaiheittain: ensin U=1,2 W/m²K→U=1,0 W/m²K ja sitten edelleen U=1,0 W/m²K→U=0,85 W/m²K).
- Ulkoseinät: ulkoseinien ulkopuolinen lisäeristäminen (+100 mm mineraalivillaa)
- Parvekkeet: asennetaan parvekelasitus.
- Ilmanvaihto: vaihdetaan vanha koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään 60 % lämmön talteenotolla.

Uudisrakennus (energiataloudellinen parantaminen määräystasosta):

- Ikkunat: Asennetaan uudet ikkunat, joiden U-arvo on (1) 1,0 W/m²K, (2) 0,85 W/m²K (tarkastelu vaiheittain: ensin U=1,2 W/m²K→U=1,0 W/m²K ja sitten edelleen U=1,0 W/m²K→U=0,85 W/m²K).
- Parvekkeet: asennetaan parvekelasitus.

Toimenpiteiden energiansäästöt on arvioitu DOF-Energia 2.0 ja IDA-ICE 4.2 –ohjelmilla. Vuosittain saavutettava energian kustannussäästö on laskettu arvioitujen energiansäästöjen perusteella lämmitysenergian hinnalla 10 c/kWh. Toimenpiteiden lisäinvestointikustannuksella painotettu keskimääräinen pitoaika on tarkasteltaville toimenpiteille 32 vuotta. (Lisätietoja keskimääräisestä pitoajasta: ks. Kurvinen & Heljo (2011), s. 3 ”Käyttöiän merkitys”)

Taloudellinen kannattavuus

Kuvassa 3.4 on esitetty tarkasteltujen energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus ja taloudelliset vaikutukset. Kuvaajan vaaka-akselilta voidaan lukea toimenpiteiden vaatimat lisäinvestointikustannukset ja pystyakselilta nähdään vuotuinen energiakustannussäästö. Kuvaajan pisteiden läheisyyteen merkityt euromäärät ovat pystyakselin lukemia, jotka ilmaisevat pistettä edeltävät toimenpiteet toteuttamalla saavutettavat vuotuiset energiakustannussäästöt. Toimenpiteiden päätepisteiden sijaintia **harmaisiin** sisäisen koron viivoihin vertaamalla voidaan arvioida toimenpidepaketin kannattavuutta kussakin vaiheessa ja verrata sitä asetettuun tuottovaatimukseen. Toimenpiteet ovat sitä kannattavampia, mitä jyrkemmin kuvaaja nousee. Esitystavan mukaisesti toimenpiteet on järjestetty kannattavuusjärjestykseen kannattavimmasta alkaen siten, että kannattavin toimenpide lähtee kuvaajan origosta.

Jos tuottovaatimukseksi asetetaan 4 % (sisäisen koron viiva kuvassa **vihreällä katkoviivalla**), kuvaajasta nähdään, että tuottovaatimuksen puitteissa kannattava toimenpidepaketti sisältää toimenpiteet 1–3. Tällä toimenpidepaketilla saavutettava vuotuinen energiansäästö olisi 1 800 €/a ja paketin toteuttamisen vaatima lisäinvestointikustannus n. 28 800 €. Tällöin toimenpidepaketin sisäinen korko 32 vuoden keskimääräisellä pitoajalla olisi 5 %.

Jos energian hinnan oletetaan nousevan esimerkiksi vuodessa 2 % yleistä hintatasoa enemmän, se voidaan huomioida vähentämällä energian inflaation ylittävä nousu asetetusta tuottovaatimuksesta eli esim. $4\% - 2\% = 2\%$. Tällöin energian hinnan nousu voidaan huomioida suoraan kuvasta. Kun energian hinnan nousulla korjattuna tuottovaatimuksena käytetään 2 %:ia, tässä tapauksessa tuottovaatimuksen puitteissa kannattava toimenpidepaketti ei muutu. Edelleen siis toteutettaisiin paketti, joka sisältää toimenpiteet 1–3.

Jos tuottovaatimukseksi asetetaan, että koko toimenpidepaketin sisäinen korko täytyy olla positiivinen, pakettiin valitaan toimenpiteet 1–4, eli tuottovaatimusta laskemalla pakettiin saadaan mukaan yksi toimenpide lisää. Tällöin saavutettava vuotuinen energiakustannussäästö on 9 600 €. Toimenpidepaketin vaatima lisäinvestointikustannus perusratkaisuun nähden on 310 000 €. Tällöin toimenpidepaketin sisäinen korko 32 vuoden keskimääräisellä pitoajalla on 0,0 %.

Mikäli kaikki tarkastelussa mukana olevat toimenpiteet toteutettaisiin, toimenpidepaketin sisäinen korko olisi negatiivinen, -0,8 %. Paketin vaatima lisäinvestointikustannus olisi 506 000 € ja saavutettava vuotuinen energiakustannussäästö olisi 13 600 €.

Energiansäästö- ja päästövaikutukset

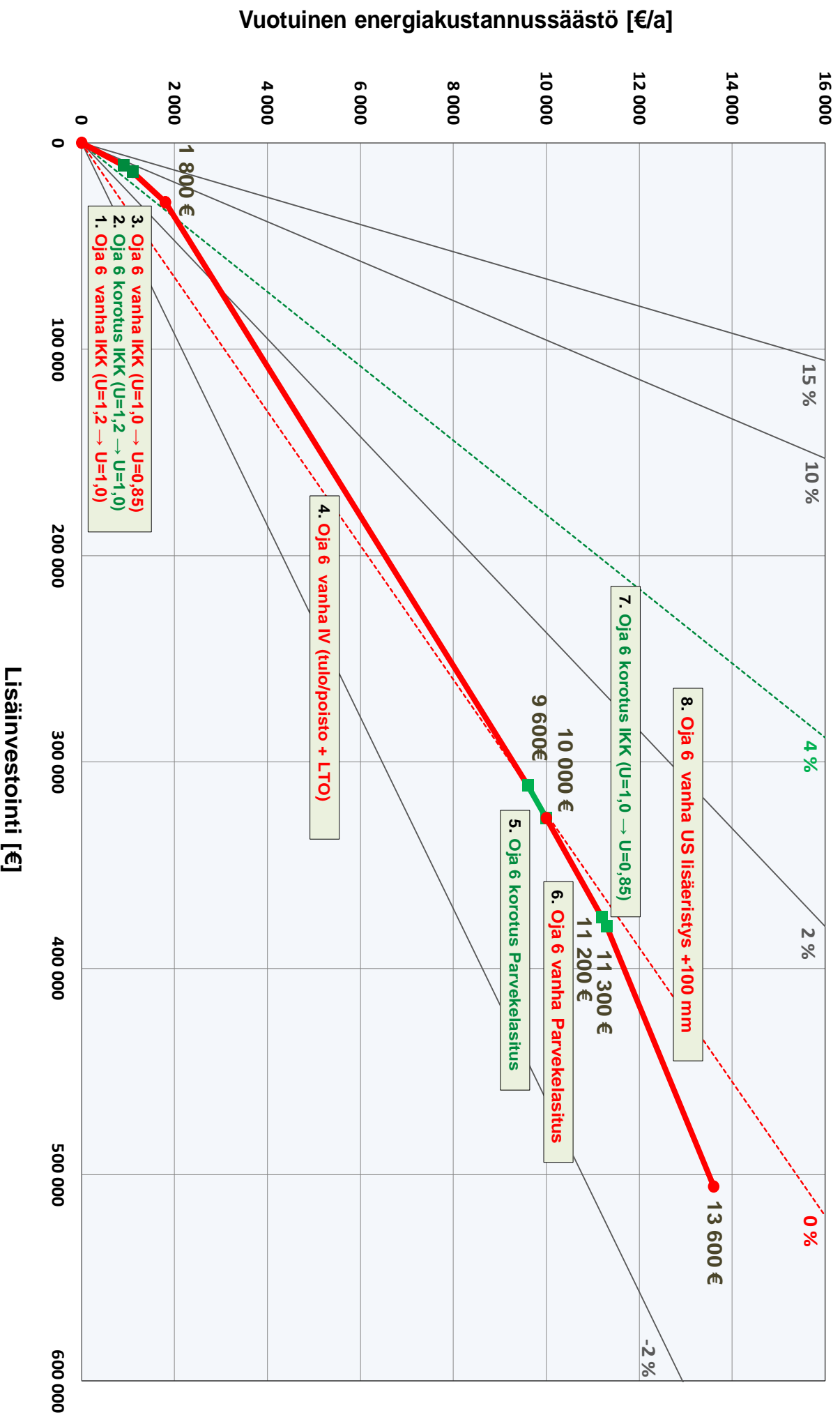
Kuvan 3.5 esitystavassa kiinnitetään huomiota toimenpiteiden energiansäästövaikutuksiin. Kuvassa on esitetty vastaavat toimenpiteet kuin *kuvassa 3.5*, mutta nyt pystyakse-

lilla on esitetty toimenpiteillä saavutettava energiansäästö. Kuvaajan pisteiden läheisyydessä olevat luvut ovat pystyakselin lukuarvoja ja ne ilmoittavat pistettä edeltävät toimenpiteet toteuttamalla saavutettavat vuotuiset energiansäästöt. Vaaka-akselilta voidaan lukea toimenpiteiden vaatimat lisäinvestointikustannukset.

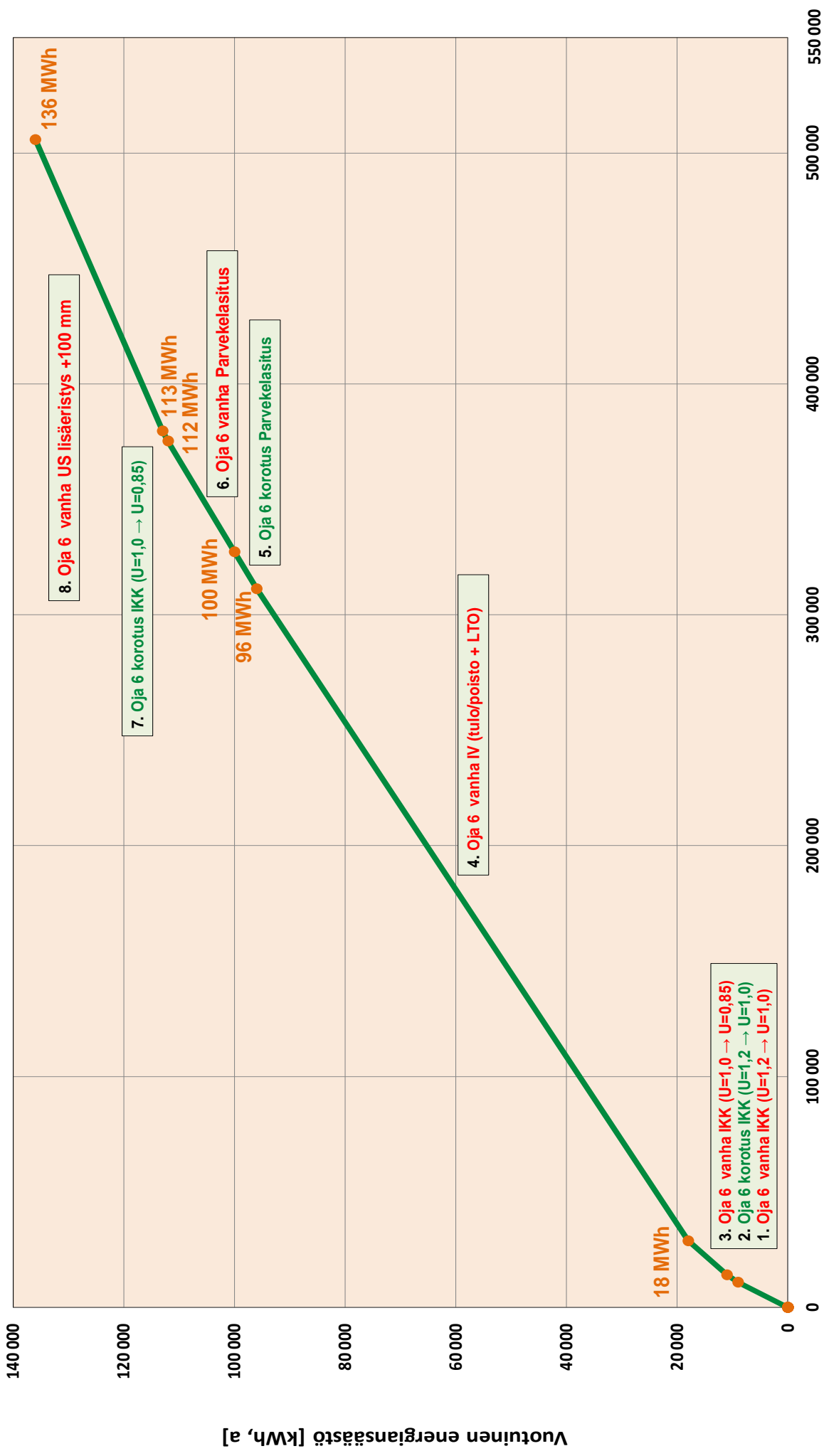
Mikäli pidetään kiinni tuottovaatimuksesta 4 %, toimenpidepaketilla saavutettava vuotuinen energiansäästö on 18 MWh. 2 %:n energian inflaation ylittävällä vuotuisella hinnan nousulla korjattua tuottovaatimusta käyttämällä toimenpidepaketti ei tässä tapauksessa muutu, joten vuotuinen energiansäästö on sama 18 MWh. Hyväksyttäessä tuottovaatimukseksi positiivinen sisäinen korko vuotuinen energiansäästö on 96 MWh. Kaikki tarkastelussa mukana olleet toimenpiteet toteutettaessa vuotuinen energiansäästö on 136 MWh.

Kuvan 3.6 esitystavassa kiinnitetään huomiota toimenpiteiden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisvaikutuksiin. Kuvassa on esitetty vastaavat toimenpiteet kuin *kuvassa 3.4* ja *kuvassa 3.5*, mutta nyt pystyakselilla on esitetty toimenpiteillä saavutettava säästö kasvihuonekaasupäästöissä. Tarkastelujen päästökertoimenä on käytetty lukua 217 g CO₂-ekv/kWh. Kuvaajan pisteiden läheisyydessä olevat luvut ovat pystyakselin lukuarvoja ja ne ilmoittavat pistettä edeltävät toimenpiteet toteuttamalla saavutettavat vuotuiset säästöt kasvihuonekaasupäästöissä. Vaaka-akselilta voidaan lukea toimenpiteiden vaatimat lisäinvestointikustannukset.

Mikäli pidetään kiinni tuottovaatimuksesta 4 %, toimenpidepaketilla saavutettava vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 3 910 kg CO₂-ekv. Energian reaali-hinnan 2 %:n vuotuisella nousulla korjattua tuottovaatimusta käyttämällä toimenpidepaketti ei tässä tapauksessa muutu ja säästö on sama 3 910 kg CO₂-ekv. Hyväksyttäessä tuottovaatimukseksi positiivinen sisäinen korko vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 20 830 kg CO₂-ekv. Kaikki tarkastelussa mukana olleet toimenpiteet toteutettaessa vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 29 510 kg CO₂-ekv.

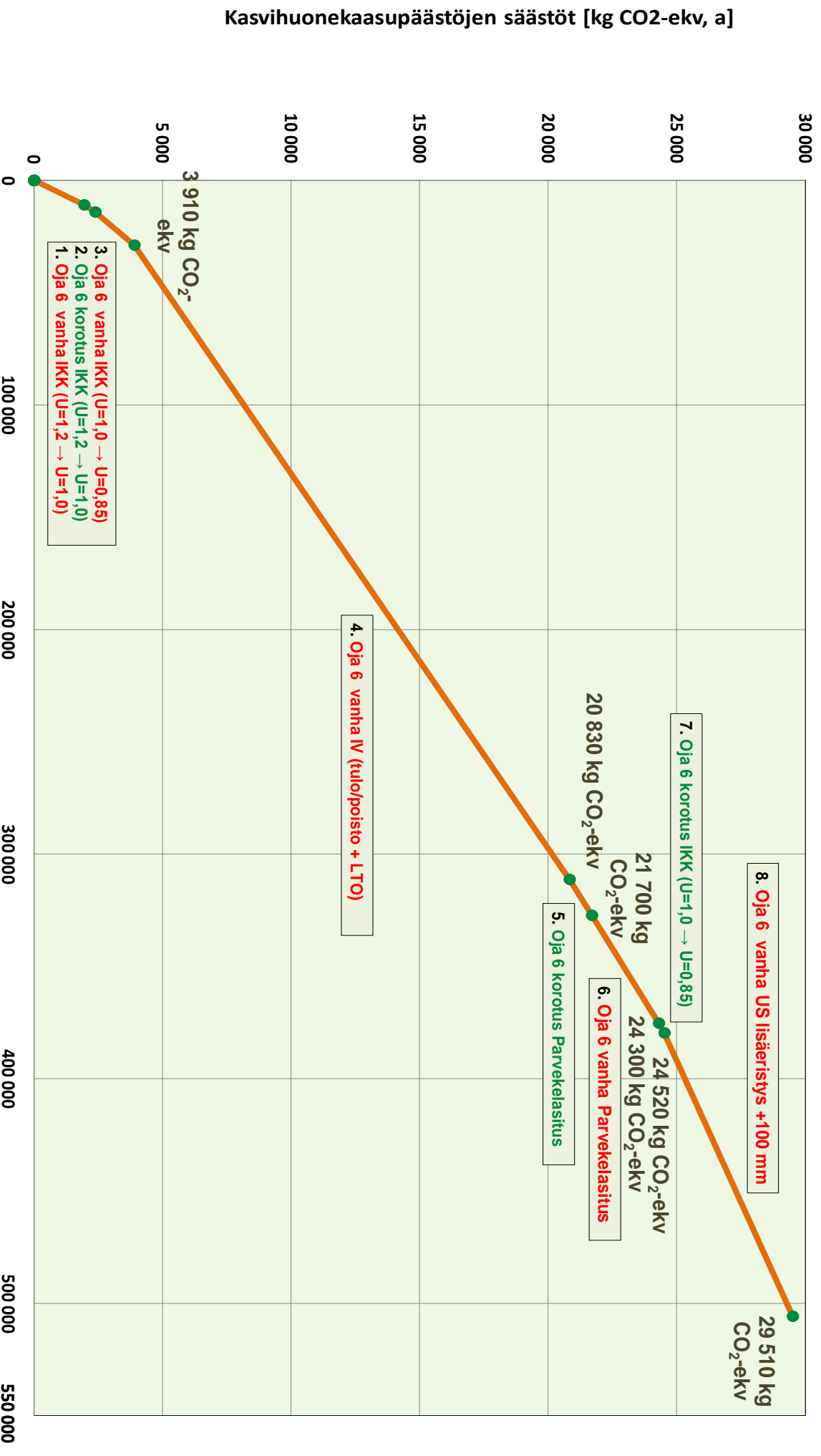


Kuva 3.4. Energiansäätötoimenpiteiden kannattavuus ja vaikutukset Ojavainonkatu 6:n uudistuksessa (pitoaika 32 vuotta, energian hinta 10 c/kWh). Tarkastelussa on huomioitu ainoastaan lämmönkulutus. Korjaustoimenpiteet on merkitty kuvan selityslaatikoihin punaisella värillä ja uutta korotusosaa koskevat toimenpiteet vihreällä värillä.



Lisäinvestointi [€]

Kuva 3.5. Toimenpiteiden energiansäästövaikutukset Ojavainionkatu 6:n uudistuksessa. Tarkastelussa on huomioitu ainoastaan lämmönkulutus. Korjaustoimenpiteet on merkitty kuvan selityslaatikoihin punaisella värillä ja uutta korotusosaa koskevat toimenpiteet vihreällä värillä.



Kuva 3.6. Energiansäästötoimenpiteiden vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin Takuväinönkatu 2:n uudistamisessa (päästökerron 217 g CO₂-ekv/kWh). Tarkastelussa on huomioitu ainoastaan lämmönlulutus. Korjaustoimenpiteet on merkitty kuvan selityslaatikoihin punaisella värillä ja uutta korotusosaa koskevat toimenpiteet vihreällä värillä.

3.4. Case-sovellus: VIRI Takuvainionkatu 2

Takuvainionkatu 2 on Vilusen Rinne Oy:n vuokratalokohde Tampereen Annalassa. Kyseessä on kaksi 1970-luvulla valmistunutta 4-kerroksista taloa (3-asuinkerrosta + 1 kellarikerros). Takuvainionkatu 2 oli Uudistuva Annala –hankkeen toinen perusparannuskohde. Perusparannuksen yhteydessä kohdetta uudistettiin myös rakentamalla vanhojen talojen väliin talot toisiinsa yhdistävä uudiskulmarakennus.

Seuraavassa on tarkasteltu energiansäästötoimenpiteiden toteuttamisen kannattavuutta vanhojen rakennusten perusparannuksen yhteydessä edellä esitetyn kannattavuusmallin avulla. Tarkasteluissa on huomioitu ainoastaan lämmönkulutus. Korjausten lisäksi on tutkittu, onko uudiskulmarakennuksen energiataloudellinen parantaminen määräystasoa paremmaksi kannattavaa. Toimenpiteiden kannattavuuksien lisäksi on esitetty myös niiden energiansäästö- ja kasvihuonekaasupäästövaikutuksia. Lisätietoja kohteesta löytyy *liitteestä 1*, ja toimenpiteiden vaikutukset on esitetty rakennuskohtaisesti *liitteessä 2*.

Perusratkaisut

Seuraavassa on esitetty perusratkaisut niiden rakennusosien osalta, joita tarkasteltavat energiansäästötoimenpiteet koskevat. Korjausrakentamisen perusratkaisut määräytyvät pääsääntöisesti rakennusteknisin ja -fysikaalisin sekä arkkitehtonisin perustein. Uudisrakentamisen perusratkaisut tulevat pääosin rakentamista säätelevistä määräyksistä.

Korjauskohteet:

- Ikkunat: asennetaan uudet ikkunat, joiden U-arvo on 1,2 W/m²K
- Yläpohja: ei tehdä eristemuutoksia
- Ulkoseinät: tehdään ulkoseinille perusteellinen pinnoitus- ja paikkauskorjaus
- Parvekkeet: ei parvekelasitusta
- Ilmanvaihto: kunnostetaan vanha koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä

Uudisrakennus (määräystaso RakMk C3–2007):

- Ikkunat: Asennetaan uudet ikkunat, joiden U-arvo on 1,2 W/m²K
- Parvekkeet: ei parvekelasitusta.

Tarkasteltavat energiansäästötoimenpiteet

Korjauskohteet:

- Ikkunat: Asennetaan uudet ikkunat, joiden U-arvo on (1) 1,0 W/m²K, (2) 0,85 W/m²K (tarkastelu vaiheittain: ensin U=1,2 W/m²K → U=1,0 W/m²K ja sitten edelleen U=1,0 W/m²K → U=0,85 W/m²K).
- Yläpohja: Parannetaan yläpohjan eristystä. Lähtötilanteessa yläpohjassa on riittävästi tyhjää tilaa, jotta yläpohjaan voidaan puhaltaa +200 mm puhallusvilla.
- Ulkoseinät: ulkoseinien ulkopuolinen lisäeristäminen (+100 mm mineraalivillaa)
- Parvekkeet: asennetaan parvekelasitus.

- Ilmanvaihto: vaihdetaan vanha koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään 60 % lämmön talteenotolla.

Uudisrakennus (energiataloudellinen parantaminen määräystasosta):

- Ikkunat: Asennetaan uudet ikkunat, joiden U-arvo on (1) 1,0 W/m²K, (2) 0,85 W/m²K (tarkastelu vaiheittain: ensin U=1,2 W/m²K→U=1,0 W/m²K ja sitten edelleen U=1,0 W/m²K→U=0,85 W/m²K).
- Parvekkeet: asennetaan parvekelasitus.

Toimenpiteiden energiansäästöt on arvioitu DOF-Energia 2.0 ja IDA-ICE 4.2 – ohjelmilla. Vuosittain saavutettava kustannussäästö on laskettu arvioitujen energiansäästöjen perusteella lämmitysenergian hinnalla 10 c/kWh. Toimenpiteiden lisäinvestointikustannuksella painotettu keskimääräinen pitoaika on tarkasteltaville toimenpiteille 33 vuotta. (Lisätietoja keskimääräisestä pitoajasta: ks. Kurvinen & Heljo (2011), s. 3 ”Käyttöiän merkitys”)

Taloudellinen kannattavuus

Kuvassa 3.7 on esitetty tarkasteltujen energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus ja taloudelliset vaikutukset. Kuvaajan vaaka-akselilta voidaan lukea toimenpiteiden vaatimat lisäinvestointikustannukset ja pystyakselilta nähdään vuotuinen energiakustannussäästö. Kuvaajan pisteiden läheisyyteen merkityt euromäärät ovat pystyakselin lukemia, jotka ilmaisevat pistettä edeltävät toimenpiteet toteuttamalla saavutettavat vuotuiset energiakustannussäästöt. Toimenpiteiden päätepisteiden sijaintia **harmaisiin** sisäisen koron viivoihin vertaamalla voidaan arvioida toimenpidepaketin kannattavuutta kussakin vaiheessa ja verrata sitä asetettuun tuottovaatimukseen. Toimenpiteet ovat sitä kannattavampia, mitä jyrkemmin kuvaaja nousee. Esitystavan mukaisesti toimenpiteet on järjestetty kannattavuusjärjestykseen kannattavimmasta alkaen siten, että kannattavin toimenpide lähtee kuvaajan origosta.

Jos tuottovaatimukseksi asetetaan 4 % (sisäisen koron viiva kuvassa **vihreällä katkoviivalla**), kuvaajasta nähdään, että tuottovaatimuksen puitteissa kannattava toimenpidepaketti sisältää toimenpiteet 1–10. Tällä toimenpidepaketilla saavutettava vuotuinen energiansäästö olisi 6 320 €/a ja paketin toteuttamisen vaatima lisäinvestointikustannus n. 115 000 €. Tällöin toimenpidepaketin sisäinen korko 33 vuoden keskimääräisellä pitoajalla olisi 4 %.

Jos energian hinnan oletetaan nousevan esimerkiksi vuodessa 2 % yleistä hintatasoa enemmän, se voidaan huomioida vähentämällä energian inflaation ylittävä nousu asetetusta tuottovaatimuksesta eli esim. 4 % – 2 % = 2 %. Tällöin energian hinnan nousu voidaan huomioida suoraan kuvasta. Kun energian hinnan nousulla korjattuna tuottovaatimuksena käytetään 2 %:ia, tässä tapauksessa tuottovaatimuksen puitteissa kannattava toimenpidepaketti ei muutu. Edelleen siis toteutettaisiin paketti, joka sisältää toimenpiteet 1–10.

Jos tuottovaatimukseksi asetetaan, että toimenpidepaketin sisäinen koron täytyy olla positiivinen, pakettiin valitaan toimenpiteet 1–12, jolloin saavutettava vuotuinen energiakustannussäästö on 19 720 €. Toimenpidepaketin vaatima lisäinvestointikustannus perusratkaisuun nähden on 627 000 €. Tällöin toimenpidepaketin sisäinen korko 33 vuoden keskimääräisellä pitoajalla on 0,1 %.

Mikäli kaikki tarkastelussa mukana olevat toimenpiteet toteutettaisiin, toimenpidepaketin sisäinen korko olisi negatiivinen, -0,7 %. Paketin vaatima lisäinvestointikustannus olisi 901 000 € ja saavutettava vuotuinen energiakustannussäästö olisi 24 580 €.

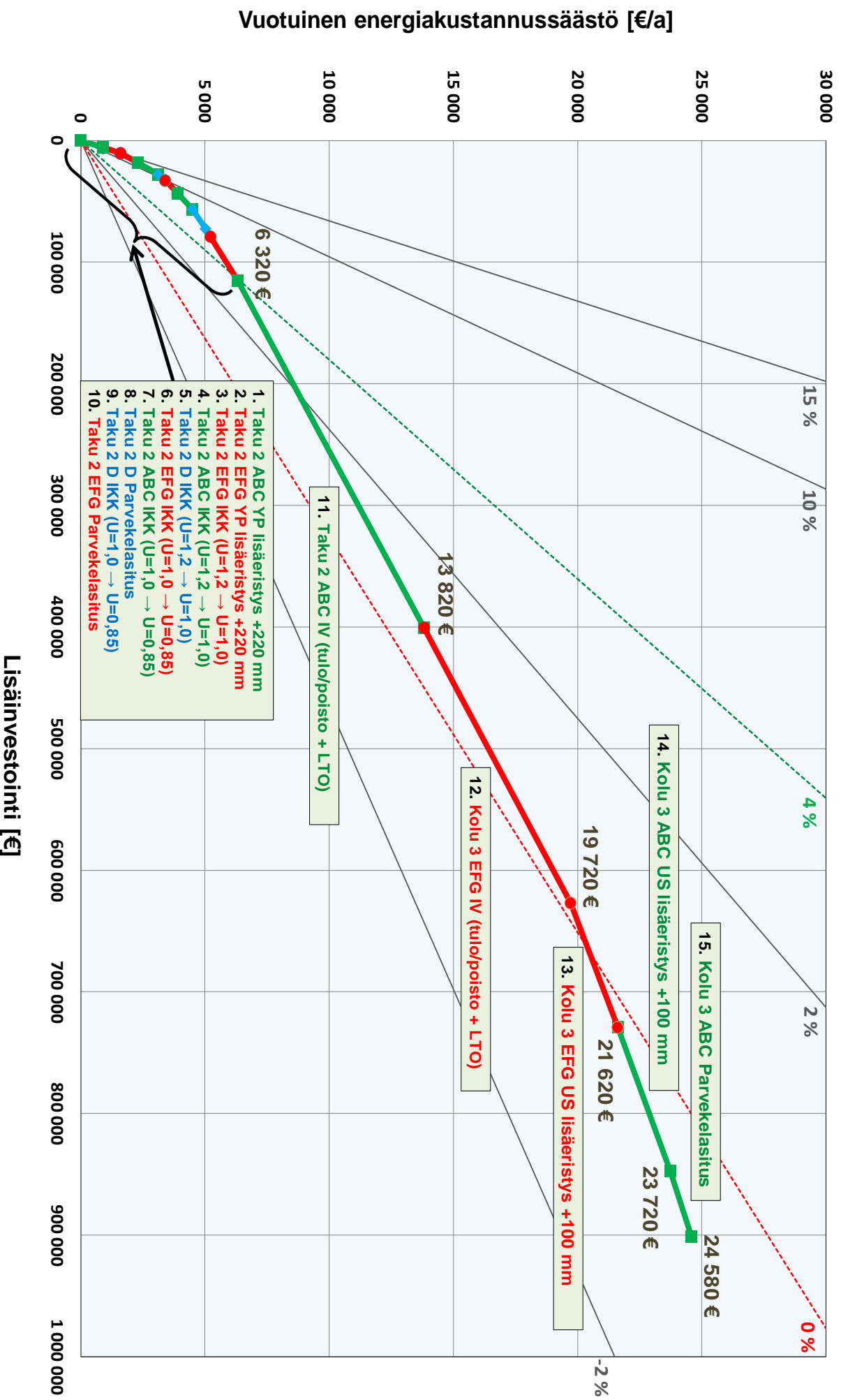
Energiansäästö- ja päästövaikutukset

Kuvan 3.8 esitystavassa kiinnitetään huomiota toimenpiteiden energiansäästövaikutuksiin. Kuvassa on esitetty vastaavat toimenpiteet kuin *kuvassa 3.7*, mutta nyt pystyakselilla on esitetty toimenpiteillä saavutettava energiansäästö. Kuvaajan pisteiden läheisyydessä olevat luvut ovat pystyakselin lukuarvoja ja ne ilmoittavat pistettä edeltävät toimenpiteet toteuttamalla saavutettavat vuotuiset energiansäästöt. Vaaka-akselilta voidaan lukea toimenpiteiden vaatimat lisäinvestointikustannukset.

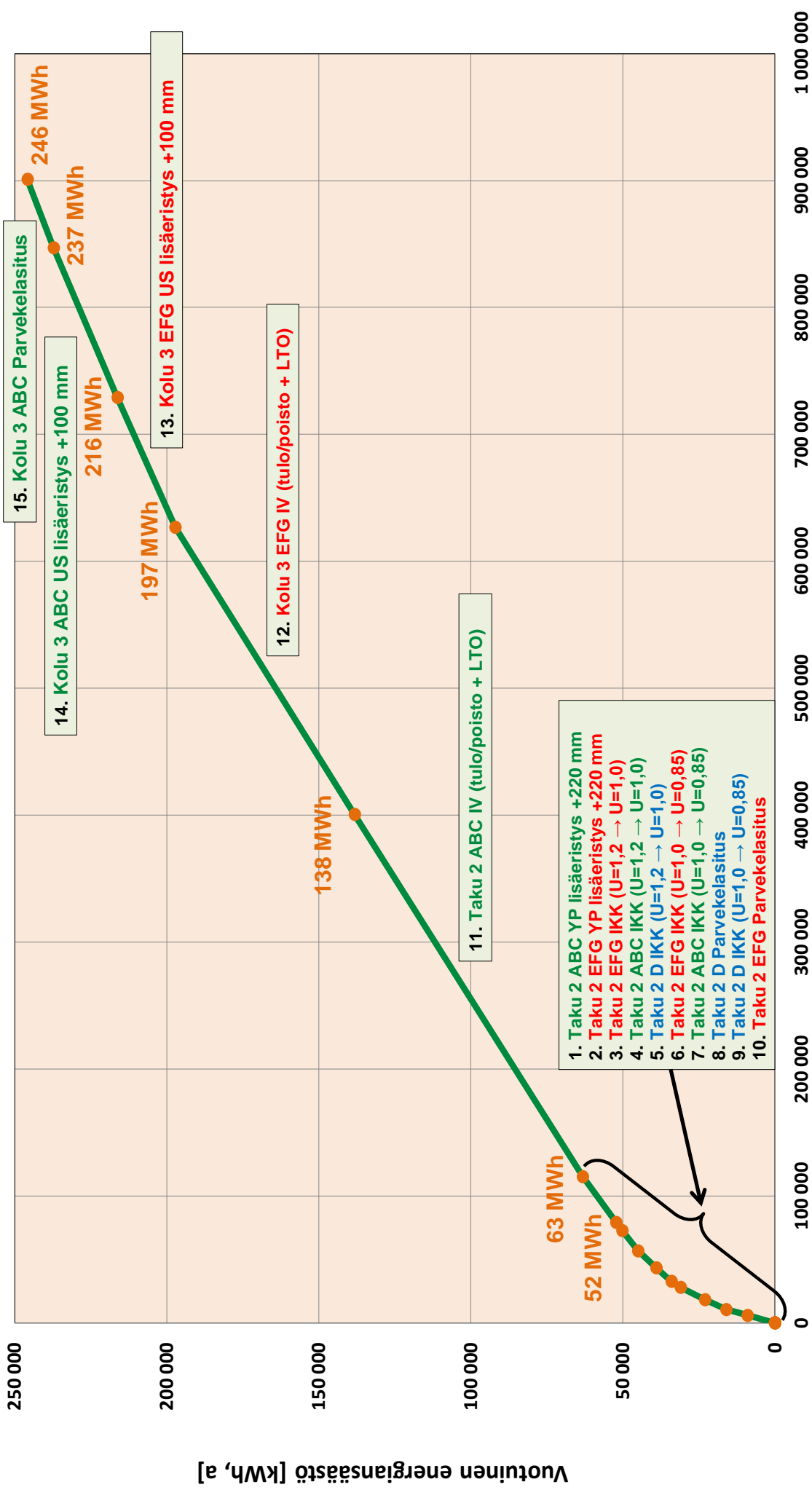
Mikäli pidetään kiinni tuottovaatimuksesta 4 %, toimenpidepaketilla saavutettava vuotuinen energiansäästö on 63 MWh. 2 %:n energian inflaation ylittävällä vuotuisella hinnan nousulla korjattua tuottovaatimusta käyttämällä toimenpidepaketti ei tässä tapauksessa muutu, joten vuotuinen energiansäästö on sama 63 MWh. Hyväksyttäessä tuottovaatimukseksi positiivinen sisäinen korko vuotuinen energiansäästö on 197 MWh. Kaikki tarkastelussa mukana olleet toimenpiteet toteutettaessa vuotuinen energiansäästö on 246 MWh.

Kuvan 3.9 esitystavassa kiinnitetään huomiota toimenpiteiden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisvaikutuksiin. Kuvassa on esitetty vastaavat toimenpiteet kuin *kuvassa 3.7* ja *kuvassa 3.8*, mutta nyt pystyakselilla on esitetty toimenpiteillä saavutettava säästö kasvihuonekaasupäästöissä. Päästökertoimenä on käytetty lukua 217 g CO₂-ekv/kWh. Kuvaajan pisteiden läheisyydessä olevat luvut ovat pystyakselin lukuarvoja ja ne ilmoittavat pistettä edeltävät toimenpiteet toteuttamalla saavutettavat vuotuiset säästöt kasvihuonekaasupäästöissä. Vaaka-akselilta voidaan lukea toimenpiteiden vaatimat lisäinvestointikustannukset.

Mikäli pidetään kiinni tuottovaatimuksesta 4 %, toimenpidepaketilla saavutettava vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 13 710 kg CO₂-ekv. Energian reaalihintan vuotuisella 2 %:n nousulla korjattua tuottovaatimusta käyttämällä toimenpidepaketti ei tässä tapauksessa muutu ja säästö on sama 13 710 kg CO₂-ekv. Hyväksyttäessä tuottovaatimukseksi positiivinen sisäinen korko vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 42 790 kg CO₂-ekv. Kaikki tarkastelussa mukana olleet toimenpiteet toteutettaessa vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 53 340 kg CO₂-ekv.

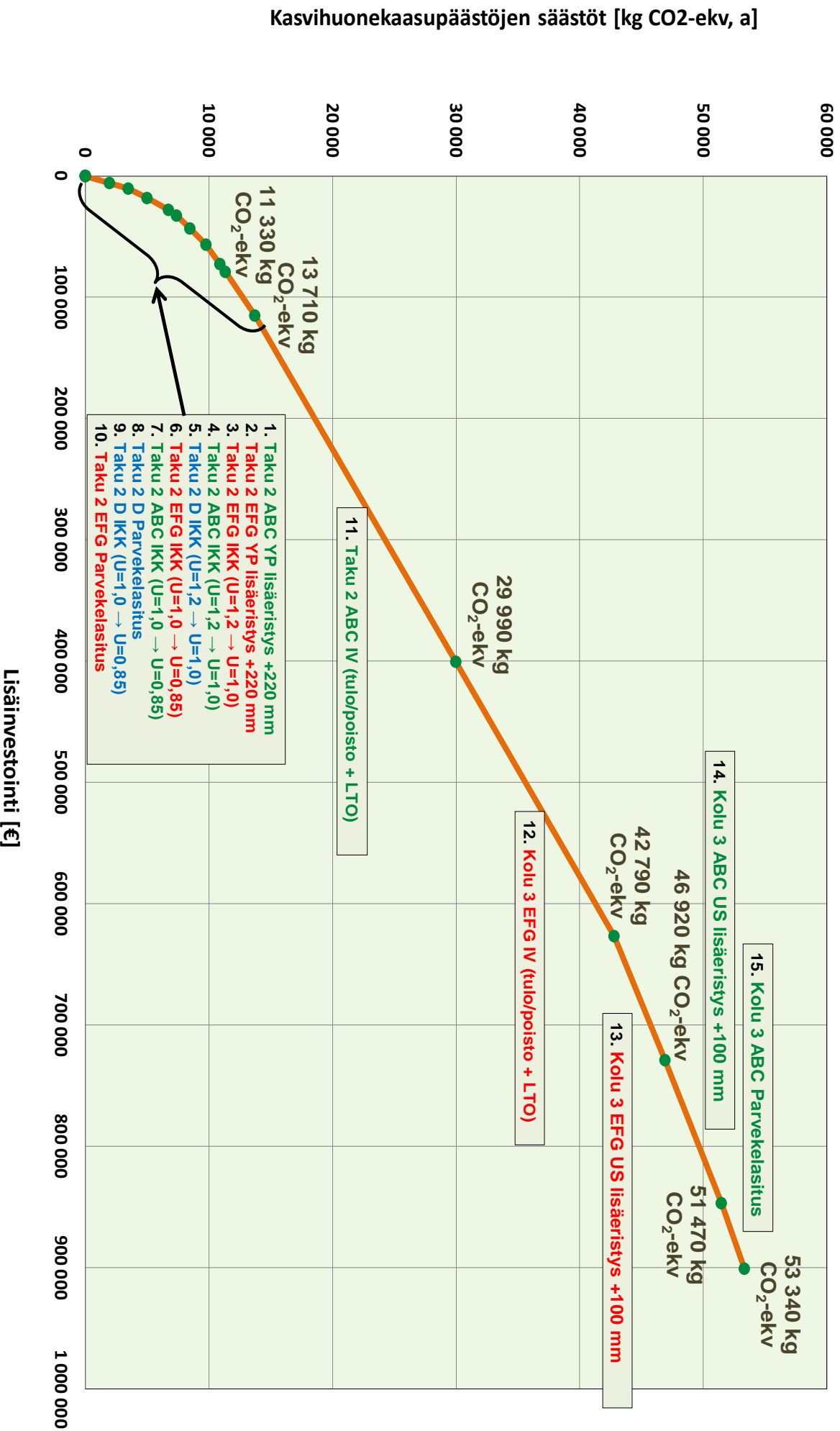


Kuva 3.7. Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus ja vaikutukset Takuvainionkatu 2:n uudistamisessa (pitoaika 33 vuotta, energian hinta 10 c/kWh). Tar-
 kastelussa on huomioitu ainoastaan lämmönkulutus. Rakennuksen ABC korjaustoimenpiteet on merkitty kuvan selityslaatikoihin vihreällä, rakennuksen EFG
 korjaustoimenpiteet punaisella ja uudiskalmarakennuksen D energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet sinisellä värillä.



Lisäinvestointi [€]

Kuva 3.8. Toimenpiteiden energiansäästövaikutukset Takuvainionkatu 2:n uudistamisessa. Tarkastelussa on huomioitu ainoastaan lämmönkulutus. Rakennuksen ABC korjaustoimenpiteet on merkitty kuvan selityslaatikoihin vihreällä, rakennuksen EFG korjaustoimenpiteet punaisella ja uudiskulmarakennuksen D energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet sinisellä värillä.



Kuva 3.9. Energiansäästötoimenpiteiden vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin Takuvanionkatu 2:n uudistamisessa (päästökerroin 217 g CO₂-ekv/kWh). Tarkastelussa on huomioitu ainoastaan lämmönläpitys. Rakennuksen ABC korjaustoimenpiteet on merkitty kuvan selityslaatikoihin vihreällä, rakennuksen EFG korjaustoimenpiteet punaisella ja uudistuskulmarakennuksen D energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet sinisellä värillä.

3.5. Case-sovellus: VIRI Kolunkatu 3

Kolunkatu 3 on Vilusen Rinne Oy:n vuokratalokohde Tampereen Annalassa. Kyseessä on kaksi 1970-luvulla valmistunutta 4-kerroksista taloa (3 asuinkerrosta + 1 kellarikerros). Kolunkatu 3 oli *Uudistuva Annala* -hankkeen kolmas perusparannuskohde, joka sammalla päätti hankkeen ensimmäisen vaiheen. Perusparannuksen yhteydessä kohdetta uudistettiin myös rakentamalla vanhojen talojen väliin talot toisiinsa yhdistävä uudiskulmarakennus.

Seuraavassa on tarkasteltu energiansäästötoimenpiteiden toteuttamisen kannattavuutta vanhojen rakennusten perusparannuksen yhteydessä edellä esitetyn kannattavuusmallin avulla. Tarkasteluissa on huomioitu ainoastaan lämmönkulutus. Korjausten lisäksi on tutkittu, onko uudiskulmarakennuksen energiataloudellinen parantaminen määräystasoa paremmaksi kannattavaa. Toimenpiteiden kannattavuuksien lisäksi on esitetty myös niiden energiansäästö- ja kasvihuonekaasupäästövaikutuksia. Lisätietoja kohteesta löytyy *liitteestä 1*, ja toimenpiteiden vaikutukset on esitetty rakennuskohtaisesti *liitteessä 2*.

Perusratkaisut

Seuraavassa on esitetty perusratkaisut niiden rakennusosien osalta, joita tarkasteltavat energiansäästötoimenpiteet koskevat. Korjausrakentamisen perusratkaisut määräytyvät pääsääntöisesti rakennusteknisin ja -fysikaalisin sekä arkkitehtonisin perustein. Uudisrakentamisen perusratkaisut tulevat pääosin rakentamista säätelevistä määräyksistä.

Korjauskohteet:

- Ikkunat: asennetaan uudet ikkunat, joiden U-arvo on 1,2 W/m²K
- Yläpohja: ei tehdä eristemuutoksia
- Ulkoseinät: tehdään ulkoseinille perusteellinen pinnoitus- ja paikkauskorjaus
- Parvekkeet: ei parvekelasitusta
- Ilmanvaihto: kunnostetaan vanha koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä

Uudisrakennus (määräystaso RakMk C3–2010):

- Ikkunat: Asennetaan uudet ikkunat, joiden U-arvo on 1,0 W/m²K
- Parvekkeet: ei parvekelasitusta.

Tarkasteltavat energiansäästötoimenpiteet

Korjauskohteet:

- Ikkunat: Asennetaan uudet ikkunat, joiden U-arvo on (1) 1,0 W/m²K, (2) 0,85 W/m²K (tarkastelu vaiheittain: ensin U=1,2 W/m²K→U=1,0 W/m²K ja sitten edelleen U=1,0 W/m²K→U=0,85 W/m²K).
- Yläpohja: Parannetaan yläpohjan eristystä. Lähtötilanteessa yläpohjassa on riittävästi tyhjää tilaa, jotta yläpohjaan voidaan puhaltaa +200 mm puhallusvillaa.
- Ulkoseinät: ulkoseinien ulkopuolinen lisäeristäminen (+100 mm mineraalivillaa)

- Parvekkeet: asennetaan parvekelasitus.
- Ilmanvaihto: vaihdetaan vanha koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään 60 % lämmön talteenotolla.

Uudisrakennus (energiataloudellinen parantaminen määräystasosta):

- Ikkunat: Asennetaan uudet ikkunat, joiden U-arvo on 0,85 W/m²K (parannus määräystasosta U=1,0 W/m²K → U=0,85 W/m²K).
- Parvekkeet: asennetaan parvekelasitus.

Toimenpiteiden energiansäästöt on arvioitu DOF-Energia 2.0 ja IDA-ICE 4.2 – ohjelmilla. Vuosittain saavutettava kustannussäästö on laskettu arvioitujen energiansäästöjen perusteella lämmitysenergian hinnalla 10 c/kWh. Toimenpiteiden lisäinvestointikustannuksella painotettu keskimääräinen pitoaika on tarkasteltaville toimenpiteille 32 vuotta. (Lisätietoja keskimääräisestä pitoajasta: ks. Kurvinen & Heljo (2011), s. 3 ”Käyttöiän merkitys”)

Taloudellinen kannattavuus

Kuvassa 3.10 on esitetty tarkasteltujen energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus ja taloudelliset vaikutukset. Kuvaajan vaaka-akselilta voidaan lukea toimenpiteiden vaatimat lisäinvestointikustannukset ja pystyakselilta nähdään vuotuinen energiakustannussäästö. Kuvaajan pisteiden läheisyyteen merkityt euromäärät ovat pystyakselin lukemia, jotka ilmaisevat pistettä edeltävät toimenpiteet toteuttamalla saavutettavat vuotuiset energiakustannussäästöt. Toimenpiteiden päätepisteiden sijaintia **harmaisiin** sisäisen koron viivoihin vertaamalla voidaan arvioida toimenpidepaketin kannattavuutta kussakin vaiheessa ja verrata sitä asetettuun tuottovaatimukseen. Toimenpiteet ovat sitä kannattavampia, mitä jyrkemmin kuvaaja nousee. Toimenpiteet on järjestetty kannattavuusjärjestykseen kannattavimmasta alkaen.

Jos tuottovaatimukseksi asetetaan 4 % (sisäisen koron viiva kuvassa **vihreällä katko-viivalla**), kuvaajasta nähdään, että tuottovaatimuksen puitteissa kannattava toimenpidepaketti sisältää toimenpiteet 1–7. Tällä toimenpidepaketilla saavutettava vuotuinen energiansäästö olisi 6 320 €/a ja paketin toteuttamisen vaatima lisäinvestointikustannus n. 108 000 €. Tällöin toimenpidepaketin sisäinen korko 32 vuoden keskimääräisellä pitoajalla olisi 4,4 %.

Jos energian hinnan vuotuisen reaalinousun oletetaan olevan 2 %, se voidaan huomioida vähentämällä tuottovaatimuksesta eli esim. 4 % – 2 % = 2 %. Kun energian hinnan nousulla korjattuna tuottovaatimuksena käytetään 2 %:ia, toimenpidepakettiin tulee kaksi toimenpidettä lisää. Korjatun tuottovaatimuksen puitteissa kannattava toimenpidepaketti sisältää toimenpiteet 1–9. Toimenpidepaketilla saavutettava vuotuinen energiakustannussäästö on 9 000 €/a ja paketin toteuttamisen lisäkustannus perusratkaisuun verrattuna on n. 198 000 €. Tällöin toimenpidepaketin sisäinen korko 32 vuoden keskimääräisellä pitoajalla olisi 2,5 %.

Jos tuottovaatimukseksi asetetaan, että toimenpidepaketin sisäinen korko täytyy olla positiivinen, pakettiin valitaan toimenpiteet 1–12, jolloin saavutettava vuotuinen energiakustannussäästö on 22 700 €. Toimenpidepaketin vaatima lisäinvestointikustannus perusratkaisuun nähden on 708 000 €. Tällöin toimenpidepaketin sisäinen korko 32 vuoden keskimääräisellä pitoajalla on 0,2 %.

Mikäli kaikki tarkastelussa mukana olevat toimenpiteet toteutettaisiin, toimenpidepaketin sisäinen korko olisi negatiivinen, -0,4 %. Paketin vaatima lisäinvestointikustannus olisi 925 000 € ja saavutettava vuotuinen energiakustannussäästö olisi 26 700 €.

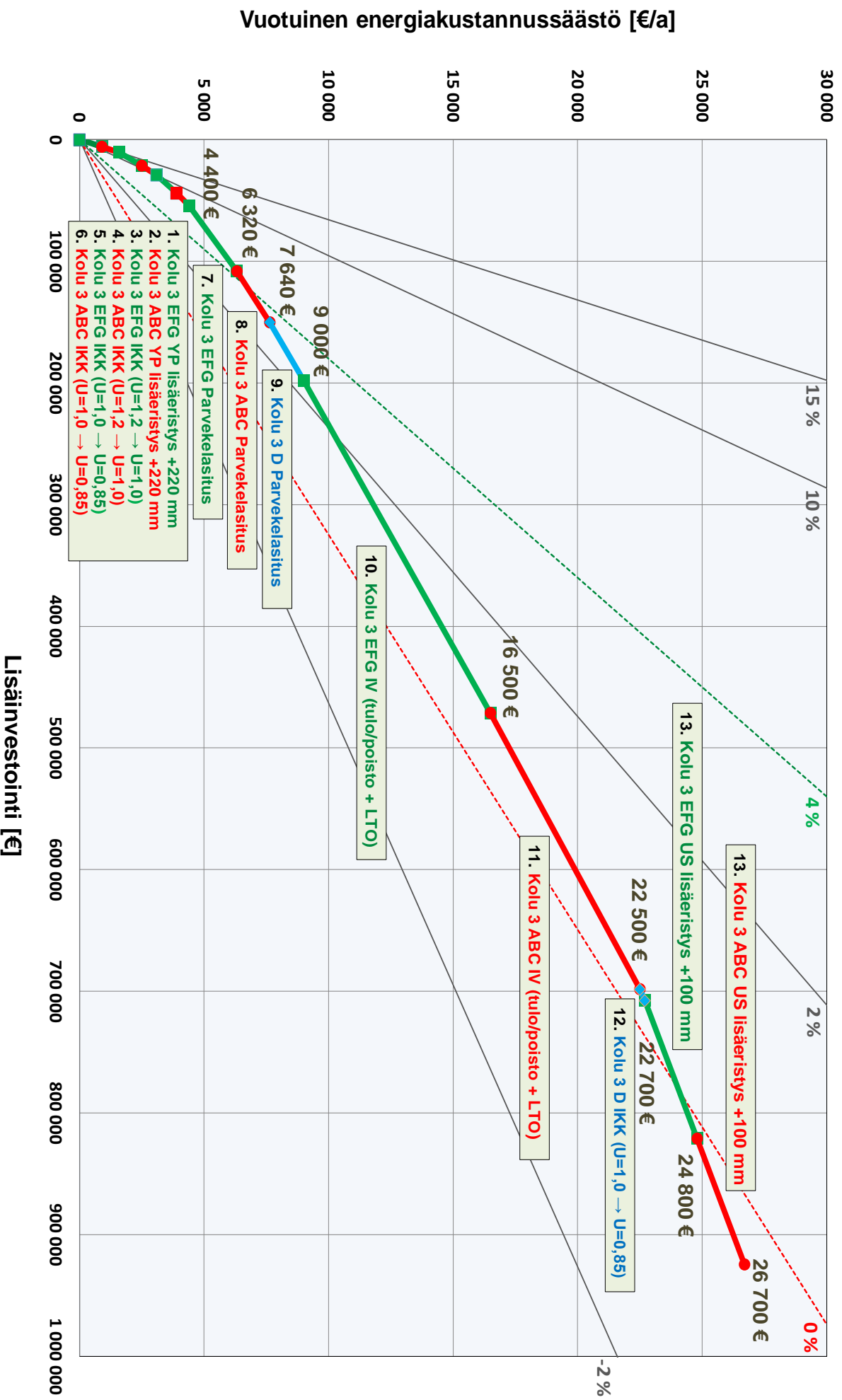
Energiansäästö- ja päästövaikutukset

Kuvan 3.11 esitystavassa kiinnitetään huomiota toimenpiteiden energiansäästövaikutuksiin. Kuvassa on esitetty vastaavat toimenpiteet kuin *kuvassa 3.10*, mutta nyt pystyakselilla on esitetty toimenpiteillä saavutettava energiansäästö. Kuvaajan pisteiden läheisyydessä olevat luvut ovat pystyakselin lukuarvoja ja ne ilmoittavat pistettä edeltävät toimenpiteet toteuttamalla saavutettavat vuotuiset energiansäästöt. Vaaka-akselilta voidaan lukea toimenpiteiden vaatimat lisäinvestointikustannukset.

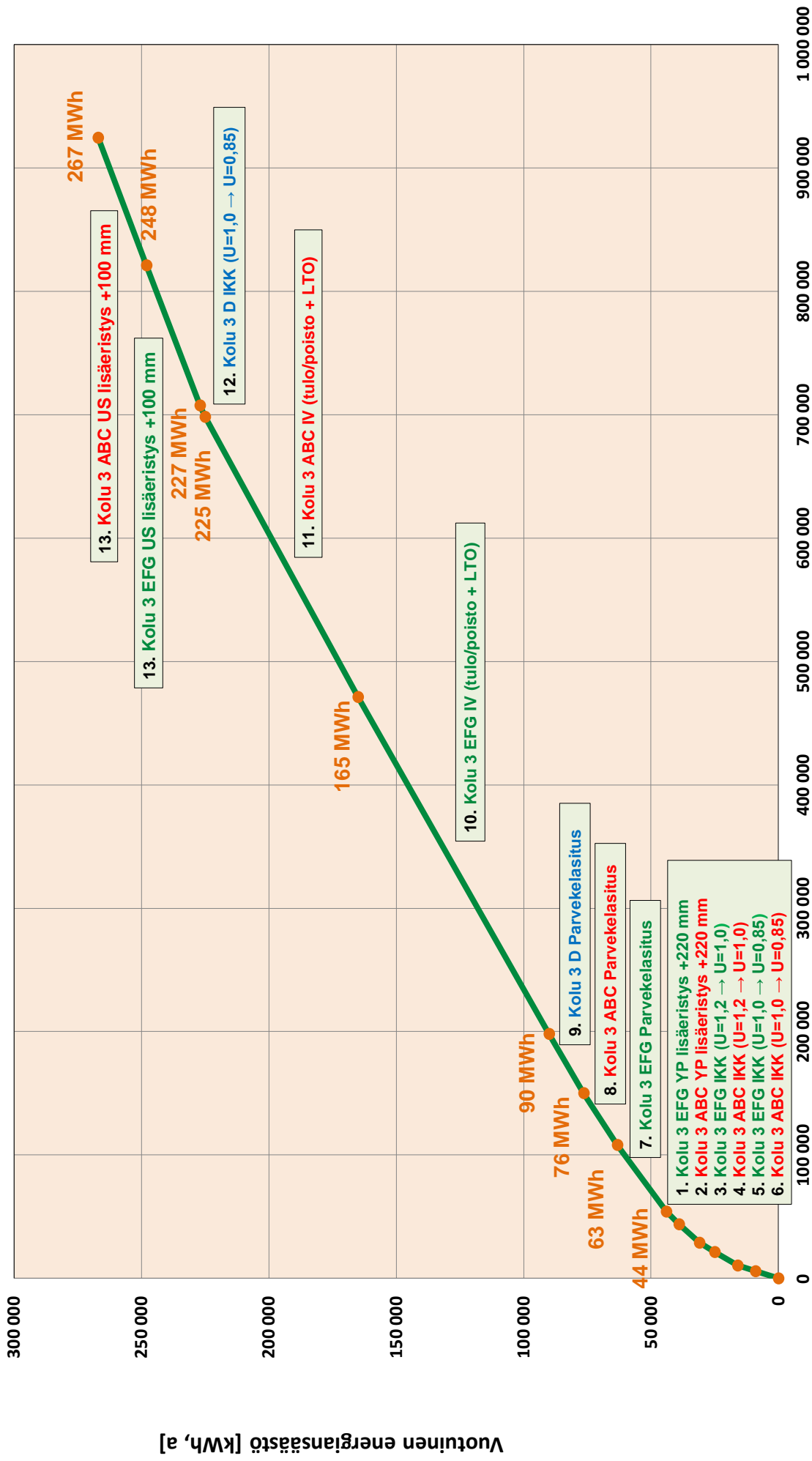
Mikäli pidetään kiinni tuottovaatimuksesta 4 %, toimenpidepaketilla saavutettava vuotuinen energiansäästö on 63 MWh. Energian hinnan vuotuisella 2 %:n reaalinousulla korjattua tuottovaatimusta käyttämällä toimenpidepaketin vuotuinen energiansäästö on 90 MWh. Hyväksyttäessä tuottovaatimukseksi positiivinen sisäinen korko vuotuinen energiansäästö on 227 MWh. Kaikki tarkastelussa mukana olleet toimenpiteet toteutettaessa vuotuinen energiansäästö on 267 MWh.

Kuvan 3.12 esitystavassa kiinnitetään huomiota toimenpiteiden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisvaikutuksiin. Kuvassa on esitetty vastaavat toimenpiteet kuin *kuvassa 3.10* ja *kuvassa 3.11*, mutta nyt pystyakselilla on esitetty toimenpiteillä saavutettava säästö kasvihuonekaasupäästöissä. Päästökertoimenä on käytetty lukua 217 g CO₂-ekv/kWh. Kuvaajan pisteiden läheisyydessä olevat luvut ovat pystyakselin lukuarvoja ja ne ilmoittavat pistettä edeltävät toimenpiteet toteuttamalla saavutettavat vuotuiset säästöt kasvihuonekaasupäästöissä. Vaaka-akselilta voidaan lukea toimenpiteiden vaatimat lisäinvestointikustannukset.

4 %:n tuottovaatimuksella, toimenpidepaketilla saavutettava vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 13 710 kg CO₂-ekv. Korjattua tuottovaatimusta käyttämällä toimenpidepaketin vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 19 530 kg CO₂-ekv. Hyväksyttäessä tuottovaatimukseksi positiivinen sisäinen korko vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 49 260 kg CO₂-ekv. Kaikki tarkastelussa mukana olleet toimenpiteet toteutettaessa vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 57 940 kg CO₂-ekv.

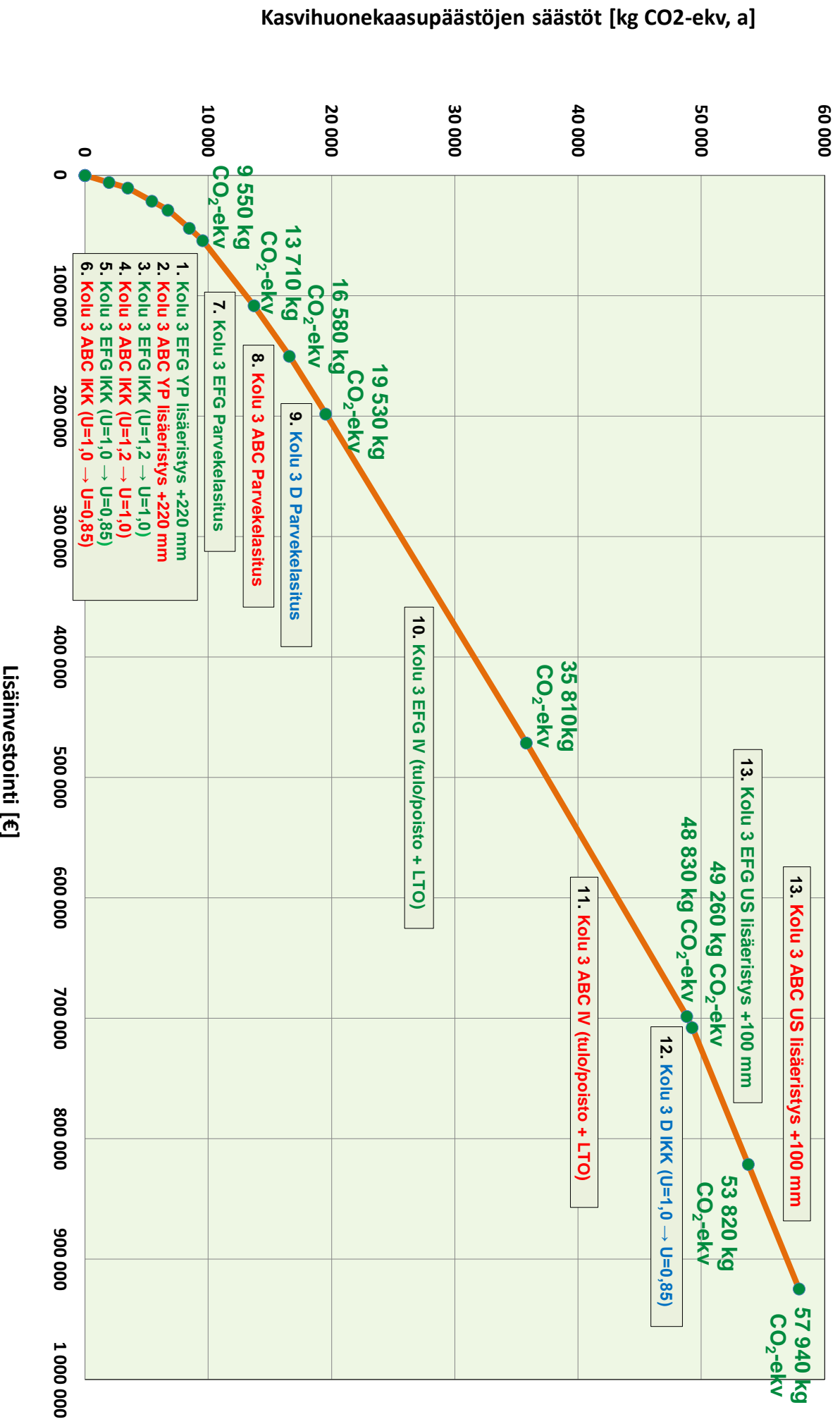


Kuva 3.10. Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus Kolumkatu 3:n uudistamisessa (pitoaika 32 vuotta, energian hinta 10 c/kWh). Tarkastelussa on huomi-
oitu ainoastaan lämmityskulut. Rakennuksen ABC korjaustoimenpiteet on merkitty kuvan selityslaatikoihin punaisella, rakennuksen EFG korjaustoimenpiteet
vihreällä ja uudiskulmarakennuksen D energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet sinisellä värillä.



Lisäinvestointi [€]

Kuva 3.11. Toimenpiteiden energiansäästövaikutukset Kolunkatu 3:n uudistamisessa. Tarkastelussa on huomioitu ainoastaan lämmönkulutus. Rakennuksen ABC korjaustoimenpiteet on merkitty kuvan selityslaatikoihin punaisella, rakennuksen EFG korjaustoimenpiteet vihreällä ja uudiskulmarakennuksen D energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet sinisellä värillä.



Kuva 3.12. Energiansäästötoimenpiteiden vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin Kolumkatu 3:n uudistamisessa (päästökerron 217 g CO₂-ekv/kWh). Tarkastelussa on huomioitu ainoastaan lämmönkulutus. Rakennuksen ABC korjaustoimenpiteet on merkitty kuvan selityslaatikoihin punaisella, rakennuksen EFG korjaustoimenpiteet vihreällä ja uudiskulmarakennuksen D energiatihokkuutta parantavat toimenpiteet sinisellä värillä.

3.6. Tarkastelun laajentaminen korttelitasolle: Uudistuva Annala vaihe 1

Seuraavaksi *kappaleissa 3.3, 3.4 ja 3.5* esitettyjen kohteiden tarkastelu on laajennettu yksittäisistä kohteista korttelitasolle kattamaan Uudistuva Annala –hankkeen koko 1-vaihe. Korttelitason tarkastelulla saadaan selvitettyä, minkälaiset energiansäästöavoitteet ovat korttelitason hankkeissa realistisia. Samalla nähdään, mihin taloudelliset resurssit kannattaa sijoittaa, jotta päästään mahdollisimman tehokkaasti asetettuun tavoitteeseen. Esitetty tarkastelumenetelmä on uusi mielenkiintoinen tapa tarkastella korttelitason uudis- ja korjausrakentamista samanaikaisesti.

Taloudellinen kannattavuus

Kuvassa 3.13 on esitetty 1-vaiheen kohteissa tarkasteltujen energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus ja taloudelliset vaikutukset. Kuvaajan vaaka-akselilta voidaan lukea toimenpiteiden vaatimat lisäinvestointikustannukset ja pystyakselilta nähdään vuotuinen energiakustannussäästö. Kuvaajan pisteiden läheisyyteen merkityt euromäärät ovat pystyakselin lukemia, jotka ilmaisevat pistettä edeltävät toimenpiteet toteuttamalla saavutettavat vuotuiset energiakustannussäästöt. Toimenpiteiden päätepisteiden sijaintia **harmaisiin** sisäisen koron viivoihin vertaamalla voidaan arvioida toimenpidepaketin kannattavuutta kussakin vaiheessa ja verrata sitä asetettuun tuottovaatimukseen. Toimenpiteet ovat sitä kannattavampia, mitä jyrkemmin kuvaaja nousee. Esitystavan mukaisesti toimenpiteet on järjestetty kannattavuusjärjestykseen kannattavimmasta alkaen siten, että kannattavin toimenpide lähtee kuvaajan origosta.

Jos tuottovaatimukseksi asetetaan 4 % (sisäisen koron viiva kuvassa **vihreällä katko- viivalla**), kuvaajasta nähdään, että tuottovaatimuksen puitteissa korttelitasolla kannattava toimenpidepaketti sisältää toimenpiteet 1–20. Tällä toimenpidepaketillä saavutettava vuotuinen energiansäästö olisi 14 700 €/a ja paketin toteuttamisen vaatima lisäinvestointikustannus n. 258 000 €. Tällöin toimenpidepaketin sisäinen korko 33 vuoden keskimääräisellä pitoajalla olisi 4,2 %.

Jos energian hinnan oletetaan nousevan esimerkiksi vuodessa 2 % yleistä hintatasoa enemmän, se voidaan huomioida vähentämällä energian inflaation ylittävä nousu asetetusta tuottovaatimuksesta eli esim. $4\% - 2\% = 2\%$. Tällöin energian hinnan nousu voidaan huomioida suoraan kuvasta. Kun energian hinnan nousulla korjattuna tuottovaatimuksena käytetään 2 %:ia, toimenpidepakettiin tulee kaksi toimenpidettä lisää. Korjatun tuottovaatimuksen puitteissa kannattava toimenpidepaketti sisältää toimenpiteet 1–22. Toimenpidepaketillä saavutettava vuotuinen energiakustannussäästö on 17 100 €/a ja paketin toteuttamisen lisäkustannus perusratkaisuun verrattuna on n. 342 000 €. Tällöin toimenpidepaketin sisäinen korko 33 vuoden keskimääräisellä pitoajalla olisi 3,2 %.

Jos tuottovaatimukseksi asetetaan, että toimenpidepaketin sisäinen korko täytyy olla positiivinen, pakettiin valitaan toimenpiteet 1–31, jolloin saavutettava vuotuinen energiakustannussäästö on korttelitasolla 53 700 €. Toimenpidepaketin vaatima lisäinvestointikustannus perusratkaisuun nähden on 1 714 000 €. Tällöin toimenpidepaketin sisäinen korko 32 vuoden keskimääräisellä pitoajalla on 0,1 %.

Mikäli kaikki tarkastelussa mukana olevat toimenpiteet toteutettaisiin, toimenpidepaketin sisäinen korko olisi negatiivinen, -0,6 %. Paketin vaatima lisäinvestointikustannus olisi n. 2 331 000 € ja saavutettava vuotuinen energiakustannussäästö olisi n. 65 000 €.

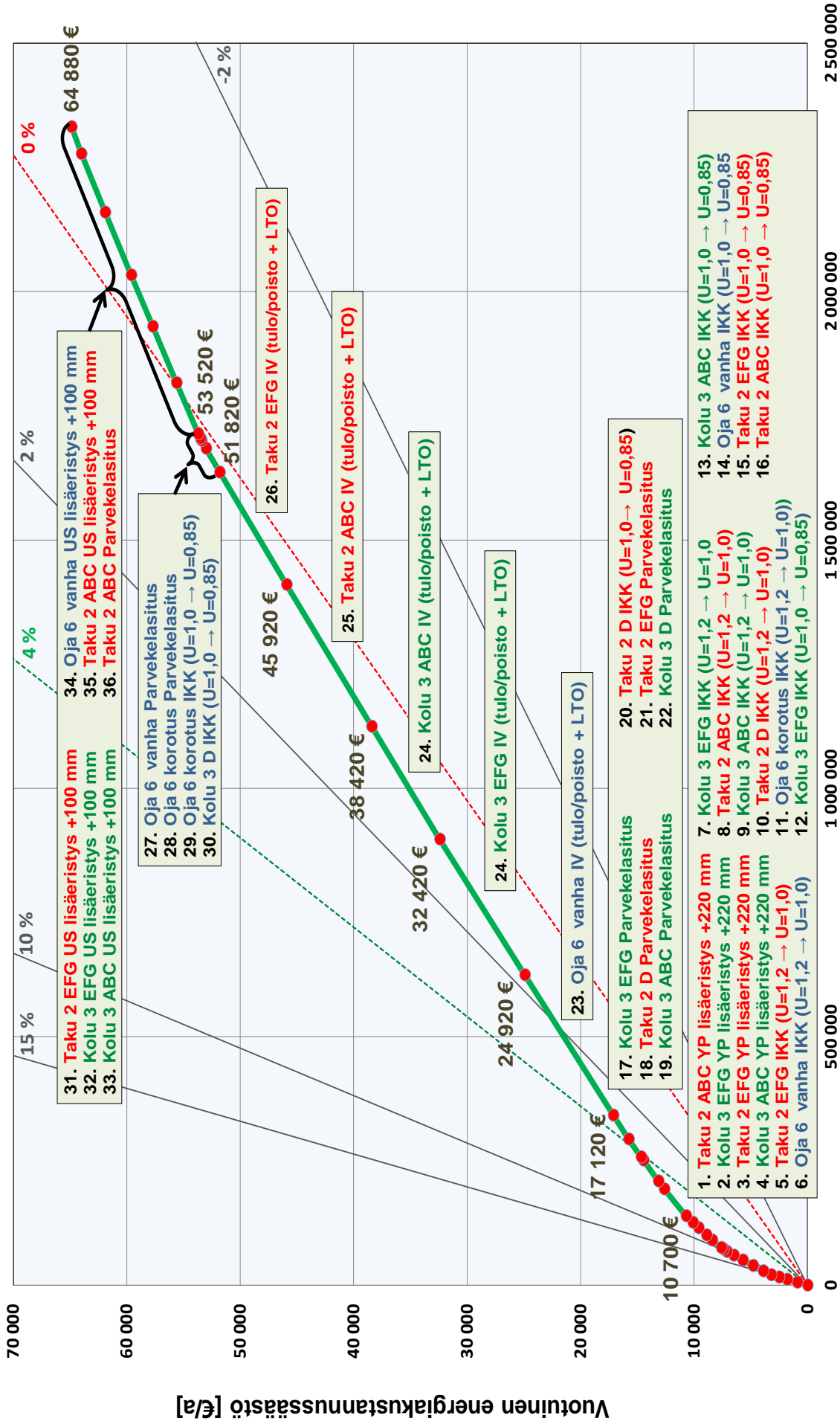
Energiansäästö- ja päästövaikutukset

Kuvan 3.14 esitystavassa kiinnitetään huomiota toimenpiteiden energiansäästövaikutuksiin. Kuvassa on esitetty vastaavat toimenpiteet kuin *kuvassa 3.13*, mutta nyt pystyakselilla on esitetty toimenpiteillä saavutettava energiansäästö. Kuvaajan pisteiden läheisyydessä olevat luvut ovat pystyakselin lukuarvoja ja ne ilmoittavat pistettä edeltävät toimenpiteet toteuttamalla saavutettavat vuotuiset energiansäästöt. Vaaka-akselilta voidaan lukea toimenpiteiden vaatimat lisäinvestointikustannukset.

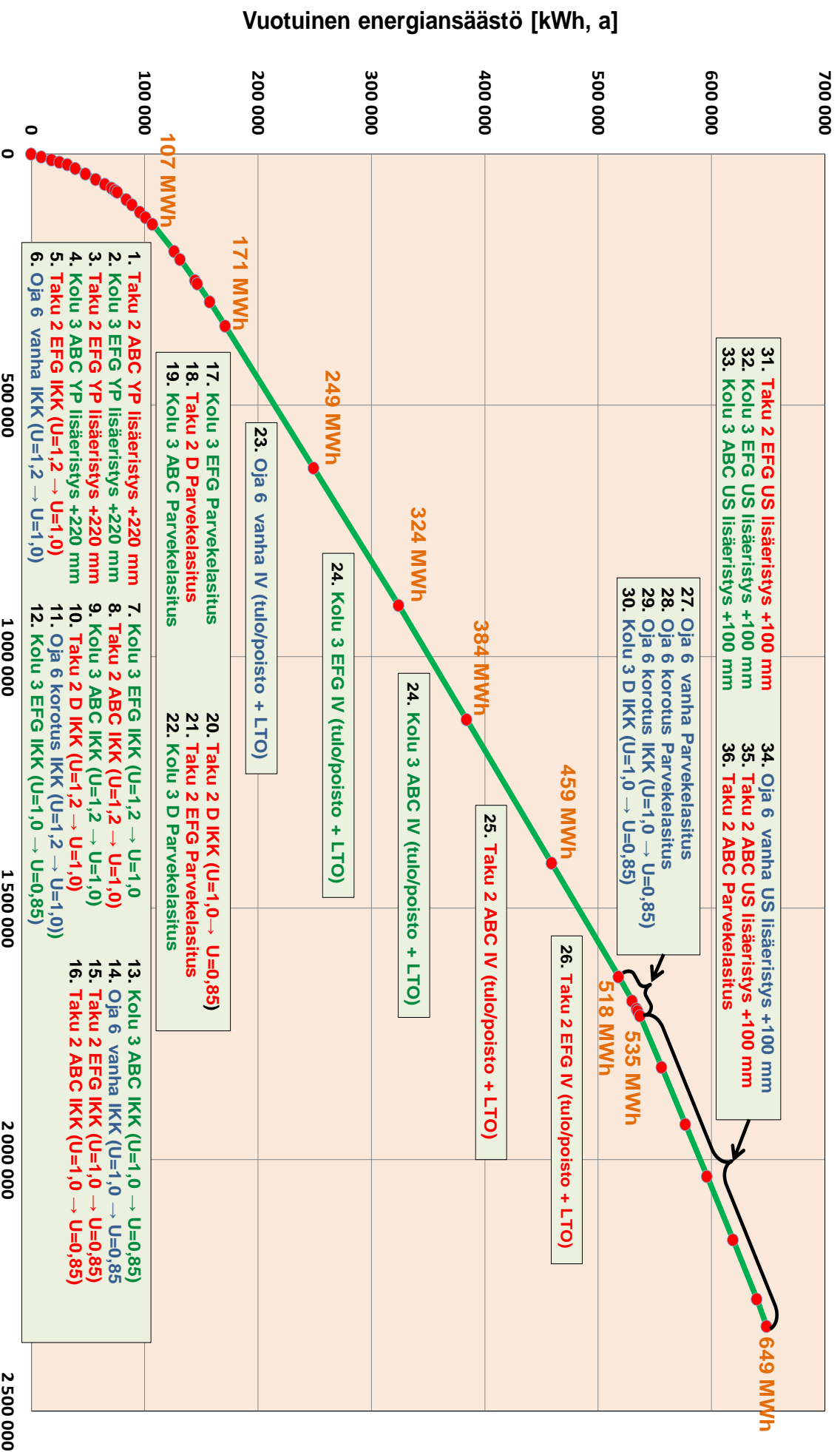
Mikäli pidetään kiinni tuottovaatimuksesta 4 %, toimenpidepaketilla saavutettava vuotuinen energiansäästö on 147 MWh. 2 %:n energian inflaation ylittävällä vuotuisella hinnan nousulla korjattua tuottovaatimusta käyttämällä toimenpidepaketin vuotuinen energiansäästö on 171 MWh. Hyväksyttäessä tuottovaatimukseksi positiivinen sisäinen korko vuotuinen energiansäästö on 537 MWh. Kaikki tarkastelussa mukana olleet toimenpiteet toteutettaessa vuotuinen energiansäästö on 649 MWh.

Kuvan 3.15 esitystavassa kiinnitetään huomiota toimenpiteiden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisvaikutuksiin. Kuvassa on esitetty vastaavat toimenpiteet kuin *kuvassa 3.13* ja *kuvassa 3.14*, mutta nyt pystyakselilla on esitetty toimenpiteillä saavutettava säästö kasvihuonekaasupäästöissä. Kuvaajan pisteiden läheisyydessä olevat luvut ovat pystyakselin lukuarvoja ja ne ilmoittavat pistettä edeltävät toimenpiteet toteuttamalla saavutettavat vuotuiset säästöt kasvihuonekaasupäästöissä. Vaaka-akselilta voidaan lukea toimenpiteiden vaatimat lisäinvestointikustannukset.

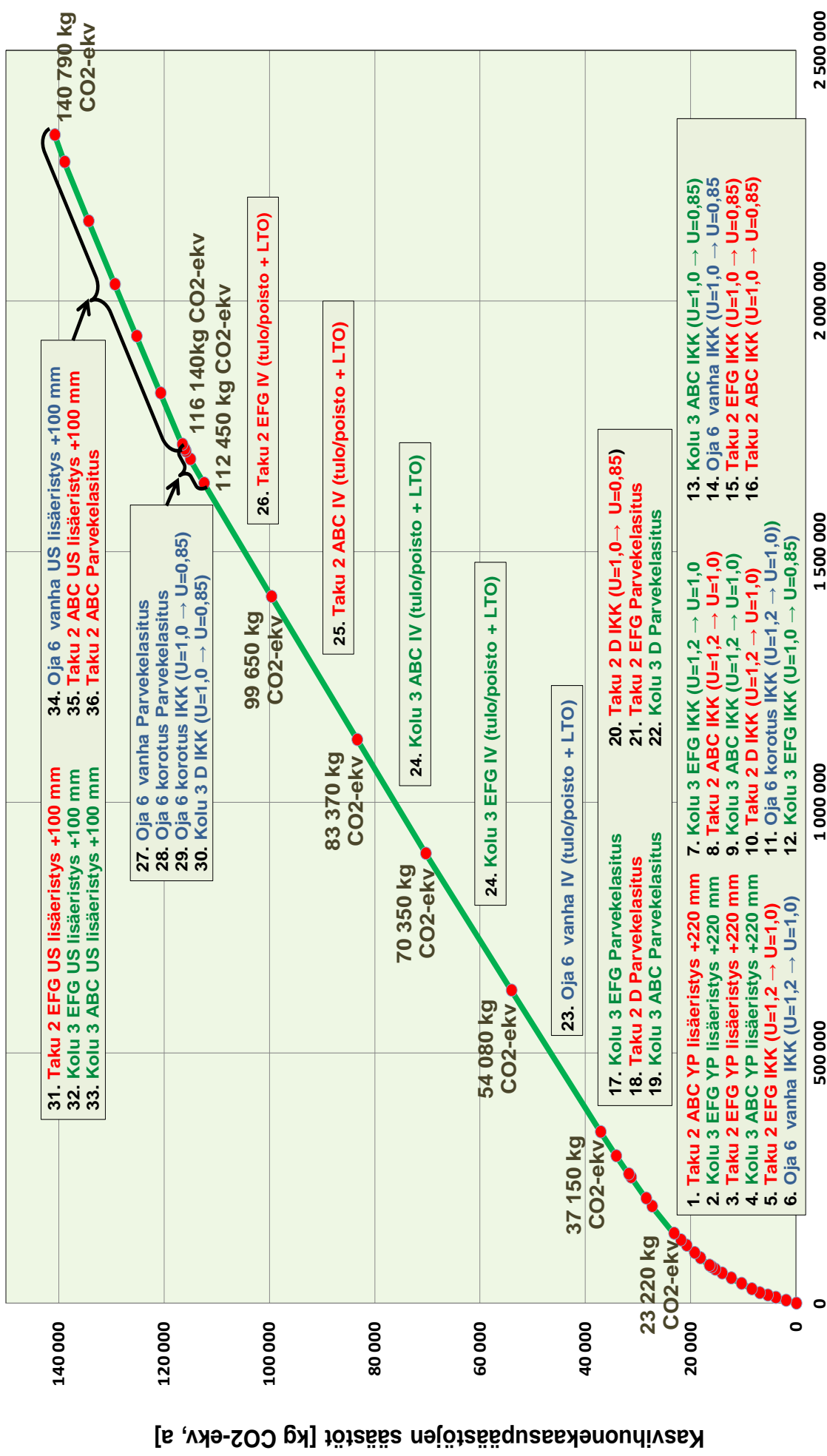
Mikäli pidetään kiinni tuottovaatimuksesta 4 %, toimenpidepaketilla saavutettava vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 31 810 kg CO₂-ekv. 2 %:n energian inflaation ylittävällä vuotuisella hinnan nousulla korjattua tuottovaatimusta käyttämällä toimenpidepaketin vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 37 150 kg CO₂-ekv. Hyväksyttäessä tuottovaatimukseksi positiivinen sisäinen korko vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 116 570 kg CO₂-ekv. Kaikki tarkastelussa mukana olleet toimenpiteet toteutettaessa vuotuinen säästö kasvihuonekaasupäästöissä on 140 790 kg CO₂-ekv.



Kuva 3.13. Uudistuva Annala, vaihe 1. Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus ja vaikutukset korttelitasolla (pitoaika 33 vuotta, energian hinta 10 c/kWh). Tarkastelussa on huomioitu ainoastaan lämmönkulutus. Ojävainionkatu 6:n toimenpiteet on merkitty kuvan selityslaatikoihin sinisellä, Takuvainionkatu 2:n toimenpiteet punaisella ja Kolumkatu 3:n toimenpiteet vihreällä värillä.



Kuva 3.14. Uudistuva Annala, vaihe 1. Toimenpiteiden energiansäästövaikutukset korttelitasolla. Tarkastelussa on huomioitu ainoastaan lämmönlämpöisyys. Oja-vaunioikatu 6:n toimenpiteet on merkitty kuvan selityslaatikoihin sinisellä, Takuvaunioikatu 2:n toimenpiteet punaisella ja Kolumkatu 3:n toimenpiteet vihreällä värillä.



Kuva 3.15. Uudistuva Annala, vaihe 1. Energiansäästötoimenpiteiden vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin korttelitasolla (päästökerroin 217 g CO₂-ekv/kWh). Tarkastelussa on huomioitu ainoastaan lämmönkulutus. Ojavainionkatu 6:n toimenpiteet on merkitty kuvan selityslaatikoihin sinisellä, Takuvainionkatu 2:n toimenpiteet punaisella ja Kolumkatu 3:n toimenpiteet vihreällä värillä.

3.7. Huolellisilla tarkasteluilla tukea päätöksentekoon

Edellä esitetyt tarkastelut osoittavat, että korjausrakentamisen yhteydessä toteutettaessa on myös energiansäästötoimenpiteitä, jotka ovat taloudellisesti perusteltavissa. Pelkin taloudellisin perustein ei kuitenkaan päästä nykyisillä energian hinnoilla kovin suuriin säästövaikutuksiin. Mikäli tarkasteluissa huomioidaan energian hinnan oletettu nousu laskemalla tuottovaatimusta (*korjattu tuottovaatimus*), taloudelliset investointikriteerit täyttävien energiansäästötoimenpiteiden määrä nousee. Tämä ei kuitenkaan vielä johda kovin merkittäviin säästövaikutuksiin yksittäisten rakennusten tasolla eikä korttelitasolla.

Mikäli hyväksytään energiansäästötoimenpiteille tuottovaatimus 0 %, päästään jo huomattaviin säästöihin. Jos tämän lisäksi huomioidaan vielä energian hinnan oletettu nousu, saavutettavat säästöt lisääntyvät edelleen. Toimenpidepaketin laajetessa ja säästövaikutusten kasvaessa myös investointikustannukset nousevat merkittävästi, joten riittävä rahoitus ja taloudellisten resurssien riittävyys on varmistettava.

On syytä huomata, että edellä esitettyjen energiataloudellisten tarkastelujen tulokset ovat vain suuntaa antavia. Esimerkiksi koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän asentamisen yhteydessä ei ole huomioitu sähkönkulutuksen kasvua. Lisäksi ilmanvaihtomääränä lähtötilanteessa ja uusimisen jälkeisessä tilanteessa on käytetty samaa lukuarvoa, vaikka todellisuudessa ilmanvaihtomäärä lienee suurempi perusparannuksen jälkeisessä tilanteessa. Näin ollen laskennalliset säästöt lienevät todellisia säästöjä suuremmat. Energiankulutuslaskelmien ongelmana on myös eri laskentaohjelmilla saatavien tulosten hajonta.

Yleensä energiansäästötoimenpiteiden vaikutus ei rajoitu ainoastaan energiankulutuksen ja kasvihuonekaasupäästöjen säästöihin, vaan niillä on muun muassa viihtyvyyttä parantavia vaikutuksia, kuten termisen viihtyvyyden paraneminen. Esimerkiksi edellä tehdyissä tarkasteluissa on tutkittu parvekelasituksen asentamisen kannattavuutta energiatalouden näkökulmasta. Energiansäästön lisäksi parvekelasituksen asentamista puoltavat useat muutkin tekijät, jotka on syytä huomioida päätöksenteossa. Näitä ovat esimerkiksi parvekkeen pitkäaikaiskestävyyden paraneminen ja parvekkeen käyttömahdollisuuksien monipuolistuminen.

Koska parvekelasituksen asentaminen vaikuttaa melko järkevältä jo energiataloudellisen kannattavuutensa puolesta, muut tekijät tekevät lasituksen asentamisesta entistä edullisempää. Energiataloudellisten kannattavuustarkastelujen yhteydessä tulisikin aina arvioida myös muut edullisuuteen vaikuttavat tekijät. Tällöin puhtaasti energiataloudellisesti tarkasteltuna kannattamattomat voivat tulla muiden tekijöiden kautta kannattaviksi. Arvotekijöiden huomioimista on käsitelty tarkemmin *kappaleessa 4.2 ja liitteessä 4*.

Koska energialaskentaan ja kustannusten arviointiin liittyy aina merkittävää epävarmuutta, päätöksiä tehtäessä on muistettava, etteivät tarkastelutulokset ole absoluuttisia totuuksia. Laskentamallit mahdollistavat kuitenkin vaihtoehtojen vertailun kannalta arvokkaiden herkkyystarkastelujen tekemisen ja huolellisesti tehdyt tarkastelut antavat hyvän pohjan päätöksenteolle ja ohjaavat kehitystä rationaalisempaan suuntaan.

Tehdyt tarkastelut näyttävät, että energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus on määrätyn edellytyksin korjaustoiminnassa parempi kuin uudistuotannossa. Tämä johtuu lähinnä siitä, että korjausrakentamisessa lämmöneristävyyden lähtötaso on merkittävästi uudisrakentamista huonompi. Määrätyillä edellytyksillä viitataan siihen, minkälainen korjaus on päätetty tehdä joka tapauksessa. Korjauksen perusratkaisun määrittämisellä on oleellinen vaikutus korjaushankkeiden energiansäästötoimenpiteiden kannattavuusarvioihin, sillä energiataloudelliset kannattavuusarviot perustuvat energiansäästötoimenpiteiden aiheuttamiin lisäkustannuksiin eikä niissä ole mukana valitusta perusratkaisusta aiheutuvaa kustannusta.

4. Elinkaarihedullisuus päätöksenteon kriteerinä

Tässä luvussa esitetään periaatteita ja menetelmiä *kappaleessa 2.3* esitetyn systemaattisen päätöksentekoprosessin **vaiheen 5** vertailujen toteuttamiseen. Kyseisessä vaiheessa vertaillaan kokonaisratkaisuvaihtoehtoja *elinkaarihedullisuuden* perusteella. *Elinkaarihedullisuudella* tarkoitetaan tässä *elinkaariarvojen* ja *elinkaarikustannusten* välistä suhdetta. *Elinkaariarvoilla* puolestaan viitataan arvotekijöiden vaikutukseen koko tarkasteltavan elinkaaren aikana.

Ensin tarkastellaan elinkaarikustannusten laskemisen periaatteita ja problematiikkaa. Elinkaarikustannusten yhteydessä pohditaan myös, kannattaako vanhojen rakennusten korjaaminen vai olisiko purkaminen ja uuden rakentaminen joissain tapauksissa kannattavampaa. Lopuksi tarkastellaan, miten elinkaariarvot voidaan huomioida systemaattisesti taloudellisessa päätöksenteossa.

4.1. Elinkaarikustannusten huomioiminen

Vaikka rakennusten elinkaarikustannuksista on puhuttu jo pitkään, päätöksiä tehdään elinkaarikustannusten perusteella edelleen melko vähän. Kuitenkin rakennuksen rakennuskustannukset ovat vain murto-osa rakennuksen koko elinkaaren aikana muodostuvista kustannuksista. Näin ollen elinkaarikustannusten tarkastelu on järkevää ja tärkeää erityisesti rakennusten pitkäaikaisille omistajille, kuten vuokrataloyhtiöt.

Elinkaarikustannusten laskenta on teoreettisesti verrattain yksinkertaista. Laskenta perustuu yleisimmin investointilaskennasta tuttuun nykyarvomenetelmään, jossa elinkaaren eri vaiheissa syntyneet kustannukset ja saavutetut säästöt diskontataan nykyhetkeen. Näin eri ajankohtina syntyvät kustannukset ja säästöt saadaan muutettua keskenään vertailukelpoisiksi.

Eri aikoina syntyvien kustannusten eriarvoisuuden taustalla on rahalla oleva aika-arvo. Otetaan esimerkiksi 2 000 euron tulo nyt 20 vuoden kuluttua. Heti saatu 2 000 euroa tuntuu varmasti huomattavasti houkuttelevammalta vaihtoehdolta. Lisäksi voidaan olettaa, että viisaasti sijoitettuna 2 000 euroa ehtii tuottaa merkittävästi 20 vuoden aikana. Jos vuosittaiseksi tuotoksi oletetaan 3 %, 2 000 euroa ehtisi kasvaa korkoa korolle 20 vuoden ajan, jolloin 20 vuoden päästä sijoituksen reaalin arvo olisi n. 3 612 €. Jos 3 % oletetaan lähes riskittömän sijoituksen tuotoksi, investointimielessä ei kannattaisi sijoittaa tätä huonommin tuottaviin kohteisiin. Toisaalta riskialttiimmilta sijoituksilta

tulee vaatia korkeampaa tuottoa, koska tuottojen saamiseen liittyy suurempi epävarmuus.

Mikäli tuottovaatimukseksi hyväksyttäisiin nollakorko, heti ja 20 vuoden päästä saatu rahasuoritus arvostettaisiin samanarvoisiksi. Mikäli tuottovaatimuksen määrittelyä lähestytään vaihtoehtoisten tuottojen näkökulmasta, on hyvin todennäköistä, että löytyy lähes riskitön investointikohde, jonka oletettu tuotto on enemmän kuin 0 %. Jos määrittäminen tehdään rahoituskustannusten näkökulmasta, on selvää, ettei mistään saa lainattua rahaa nollakorolla. Rahoituskustannusten lisäksi tuottovaatimuksessa pitää huomioida myös sijoitukseen liittyvät riskit. Tuottovaatimuksella (laskentakorolla) on suuri merkitys laskennan lopputulokseen, joten se on syytä valita harkiten. Mitä suurempaa laskentakorkoa käytetään, sitä suuremman painoarvon investointikustannus saa ja vastaavasti myöhemmin aiheutuvien kustannusten ja saavutettavien säästöjen merkitys pienenee.

Rakennusten elinkaarikustannustarkastelu on käytännössä huomattavasti hankalampaa kuin mitä yksinkertainen teoria tarkastelujen pohjalla antaa olettaa. Käytännön sovellusten kirjo on laaja ja laskentaan osallistumattomien tahojen on vaikea tietää, mitkä laskelmat ovat keskenään vertailukelpoisia.

Ongelmana on, että laskelmiin liittyy suuri määrä muuttujia, joiden arvoja muuttamalla lopputulos voi vaihdella huomattavasti. Näin ollen sama tapaus voi näyttää hyvin erilaiselta kahden eri osapuolen laskemana. Tämän vuoksi laskennasta pitäisi tehdä mahdollisimman läpinäkyvää ja saatujen lopputulosten lisäksi on tarpeellista määrittellä myös tehdyt oletukset ja käytetyt lähtöarvot sekä niiden taustat. Muuten erilaisten laskelmien vertaaminen voi olla hyvinkin harhaan johtavaa.

Koska elinkaarikustannuslaskelmiin liittyy paljon epävarmuutta, herkkyystarkastelujen tekeminen laskennan yhteydessä on erittäin tärkeää. Näin hahmotetaan paremmin, kuinka suuri vaikutus eri lähtöarvoilla on lopputulokseen ja saadaan käsitys siitä, liikutaanko oikeassa suuruusluokassa.

Vaihtoehtojen vertailu elinkaarikustannusten avulla

Eri toteutusvaihtoehtojen elinkaarikustannuksia vertaamalla saadaan tärkeää tietoa koko elinkaaren ajalta, jolloin päätöksenteossa on helpompi huomioida investoinnin pitkän aikavälin vaikutuksia. Pelkän investointikustannuksen huomioiminen on varsin lyhytkatseista. Vaihtoehtojen elinkaarikustannuksia verrattaessa on tärkeää, että kaikki laskelmat on tehty samoilla periaatteilla. Koska tällä hetkellä ei ole käytössä yhtä tiettyä käytäntöä elinkaarikustannusten laskemiseksi, laskelmien vertailukelpoisuuden varmistamiseksi voi olla parasta, että vertailtavat laskelmat ovat saman tahon toteuttamia. Toki myös eri tekijöiden laskelmien tuloksien vertaaminen on mahdollista, mutta tällöin on ehdottomasti varmistuttava laskelmien vertailukelpoisuudesta.

Liitteen 3 taulukossa 1 on esitetty yksinkertainen esimerkkilaskelma julkisivun lisäeristämisen elinkaarikustannuksista. Elinkaaren pituudeksi on oletettu 50 vuotta ja laskentakoroksi on valittu 3 %. Investointikustannukseksi on oletettu 450 000 € ja toimenpiteellä arvioidaan saavutettavan 4 858 euron suuruinen vuosittainen energiakustannussäästö, jos energian hinnaksi oletetaan 0,10 €/kWh. Laskelmassa on oletettu, että 50 vuoden elinkaaren aikana julkisivulle joudutaan tekemään yksi huoltomaalaus 25 vuoden kohdalla. Huoltomaalauksen kustannukseksi on oletettu 90 000 €. Näillä oletuksilla lisäeristämisen investoinnin nettonykyarvoksi on saatu -367 989 €.

Liitteen 3 taulukossa 2 on puolestaan esitetty esimerkki julkisivun pinnoitus- ja paikkauskorjauksen elinkaarikustannusten laskennasta. Pinnoitus- ja paikkauskorjauksen investointikustannukseksi on oletettu 240 000 €. Toimenpiteellä ei ole oletettu saavutettavan merkittäviä energiansäästöjä, joten positiivinen kassavirta on nolla koko 50 vuoden elinkaaren ajan. Laskelmassa on oletettu, että 25 vuoden kohdalla julkisivulle täytyy uusaa vastaava pinnoitus- ja paikkauskorjaus, jonka kustannus on myös 240 000 €. Näillä oletuksilla toimenpiteen elinkaarikustannuksiksi saadaan -354 625 €.

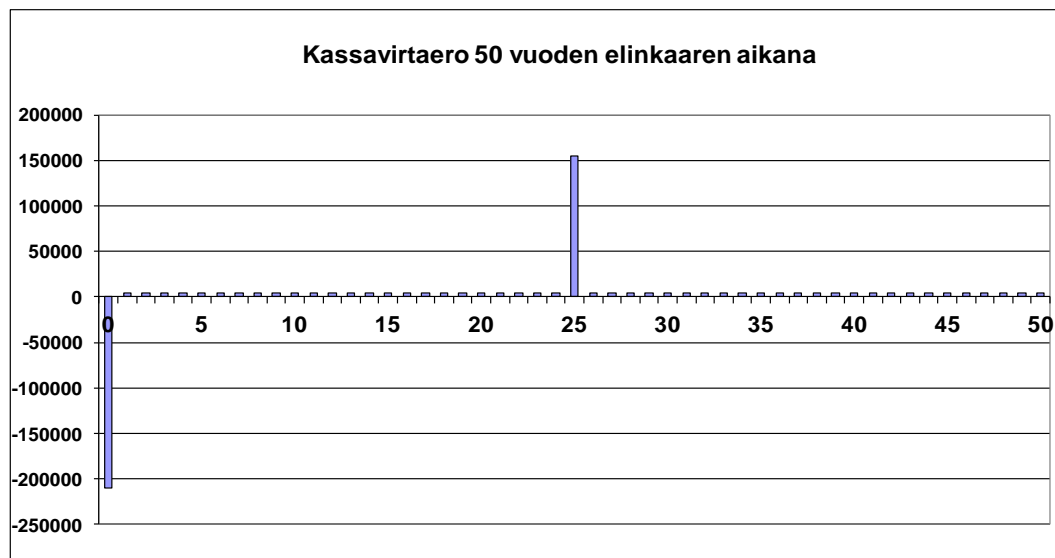
Kun verrataan toimenpiteiden elinkaarikustannuksia toisiinsa, nähdään, että pinnoitus- ja paikkauskorjauksen elinkaarikustannukset ovat $(-367\,989\text{ €}) - (-354\,625) = 13\,364$ € pienemmät kuin lisäeristysvaihtoehdon. Näin ollen näissä laskelmissa käytetyillä lähtöarvoilla elinkaarikustannusten perusteella valittaisiin julkisivun pinnoitus- ja paikkauskorjaus toteutettavaksi vaihtoehdoksi.

On hyvä huomata, ettei laskelmissa ole huomioitu toimenpiteiden jäännösarvoja. Julkisivun lisäeristämisen jäännösarvo saattaisi periaatteessa olla suurempi kuin pinnoitus- ja paikkauskorjauksen. Jäännösarvojen luotettava arvioiminen on kuitenkin hyvin hankalaa. Koska laskentakorkoa käytettäessä elinkaaren lopussa tapahtuvien suoritusten painoarvo laskelman lopputuloksessa on varsin pieni ja eri vaihtoehtojen jäännösarvot voivat olla hyvin lähellä toisiaan, niiden arvuutteluun ei kannattane kuluttaa kovin paljon energiaa. Jäännösarvojen arvioimisen tarpeellisuutta on kuitenkin aina arvioitava tapauskohtaisesti. Jos laskentajakso valitaan elinkaarta lyhyemmäksi, jäännösarvoilla on suurempi merkitys.

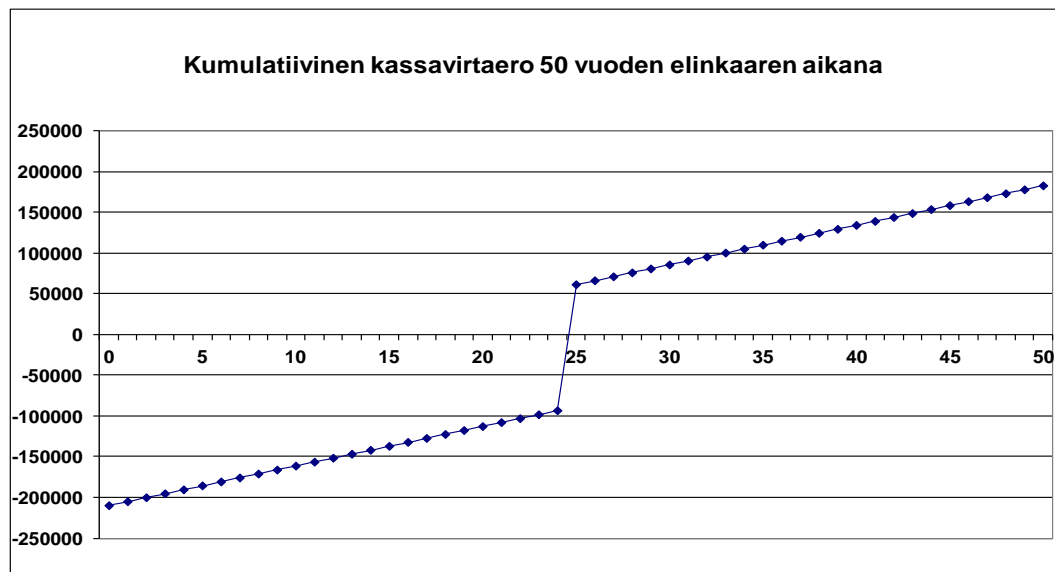
Vaihtoehtoja vertailtaessa elinkaarikustannuslaskelmia voidaan yksinkertaistaa, tarkastelemalla vaihtoehtojen välisiä kustannuseroja. Tällöin riittää, että selvitetään, miten eri vaihtoehtojen elinkaarenaikaiset kassavirratt eroavat toisistaan. *Liitteen 3 taulukossa 3* on esimerkki yksinkertaistetusta elinkaarilaskelmasta, jossa edellä esitettyjä julkisivun korjausvaihtoehtoja on vertailtu kustannuserojen avulla. Investoinnin kustannusero on $(-450\,000\text{ €}) - (-240\,000\text{ €}) = -210\,000\text{ €}$. Koska julkisivujen pinnoitus- ja paikkauskorjauksella ei saavuteta energiansäästöjä, vuotuinen energian kustannussäästöero on 4 858 €. Pinnoitus- ja paikkauskorjausvaihtoehdossa 25 vuoden kohdalla toteutettavaksi arvioidun korjauksen hinnaksi arvioitiin 240 000 € ja eristettyyn julkisivuun vastaavana aikana tehdyn huoltomaalauksen hinnaksi 90 000 €. Näin ollen kustannusero on positiiv-

vinen 240 000 € - 90 000 € = 150 000 €. Laskelman nettonykyarvoksi saadaan -13 364 €, joka on sama kuin aiemmin erikseen laskettujen elinkaarikustannusten erotus.

Elinkaarilaskelmien yhteydessä pitää esittää elinkaaren aikaisia kassavirtoja havainnollistavat kuvat, joissa esitetään sekä vuosittainen kassavirta koko elinkaaren ajalta (*kuva 4.1*), että elinkaaren aikainen kumulatiivinen kassavirta (*kuva 4.2*). Todellisen kassavirran esittäminen ja tarkastelu on tärkeää muun muassa siksi, että osataan varautua tuleviin kustannuksiin. Muutoin käytetyt laskentaoletukset saattavat luoda harhan, joka saa odotettavissa olevat menoerät näyttämään merkityksettömän pieniltä, jolloin tulevaisuudessa aiheutuvat kustannukset saattavat päästä yllättämään. *Kuvissa 4.1 ja 4.2* on kuvattu *liitteen 3 taulukossa 3* esitetyn laskelman vuosittainen kassavirta ja kumulatiivinen kassavirta.



Kuva 4.1. Julkisivun lisäeristämisen ja pinnoitus- ja paikkauskorjauksen kassavirtaero 50 vuoden elinkaaren aikana.



Kuva 4.2. Julkisivun lisäeristämisen ja pinnoitus- ja paikkauskorjauksen kumulatiivinen kassavirtaero 50 vuoden elinkaaren aikana.

Edellä esitetyt elinkaarilaskelmat ovat yksinkertaisia esimerkkejä julkisivun korjausvaihtoehtojen vertailusta. Vastaavia periaatteita sovelletaan myös *kappaleessa 2.3* esitetyn päätöksentekoprosessin mukaisen menettelyn kokonaisratkaisuvaihtoehtojen vertailamiseen. Kokonaisratkaisuja vertailtaessa on oleellista, että elinkaarta katsotaan aina eteenpäin. Historiaa ei voida muuttaa, joten taloudellista kannattavuutta ei kannata lähestyä laskelmissa jo tapahtuneiden asioiden kautta. *Kappaleessa 4.2* on käsitelty arvotekijöiden huomioimista elinkaaritarkastelujen yhteydessä.

Korjaus vai purku ja uuden rakentaminen?

Seuraavaksi on tarkasteltu vanhan rakennuksen purkamisen ja uuden rakentamisen kannattavuutta verrattuna vanhan rakennuksen korjaamiseen. Esitys perustuu Nippala & Heljon (2009) ympäristöministeriölle tekemään tarkasteluun. Kustannustarkastelussa on huomioitu purkukustannus, uuden rakennuksen rakentamiskustannus, hoitokulut sisältäen lämmityskulut sekä rakennuksen jäännösarvo. Kannattavuustarkastelussa on edellä mainittujen kustannusten lisäksi huomioitu oletetut vuokratuotot vanhan ja uuden rakennuksen tapauksessa. Tarkastelujaksoksi on valittu 2010–2060 eli tarkastelujakson pituus on 50 vuotta.

Tarkastelun kohteena on 1970-luvulla rakennettu 3-kerroksinen betonielementtirakenteinen asuinkerrostalo. Vanhan rakennuksen peruskorjaukset on oletettu tarkastelussa vuosille 2015 ja 2050. Vanhan rakennuksen energiankulutus on lähtötilanteessa 150 kWh/brm², jonka lisäksi kiinteistösähkön kulutus on 15 kWh/brm². Lämmönkulutuksen on oletettu vähenevän korjausten yhteydessä 10 %.

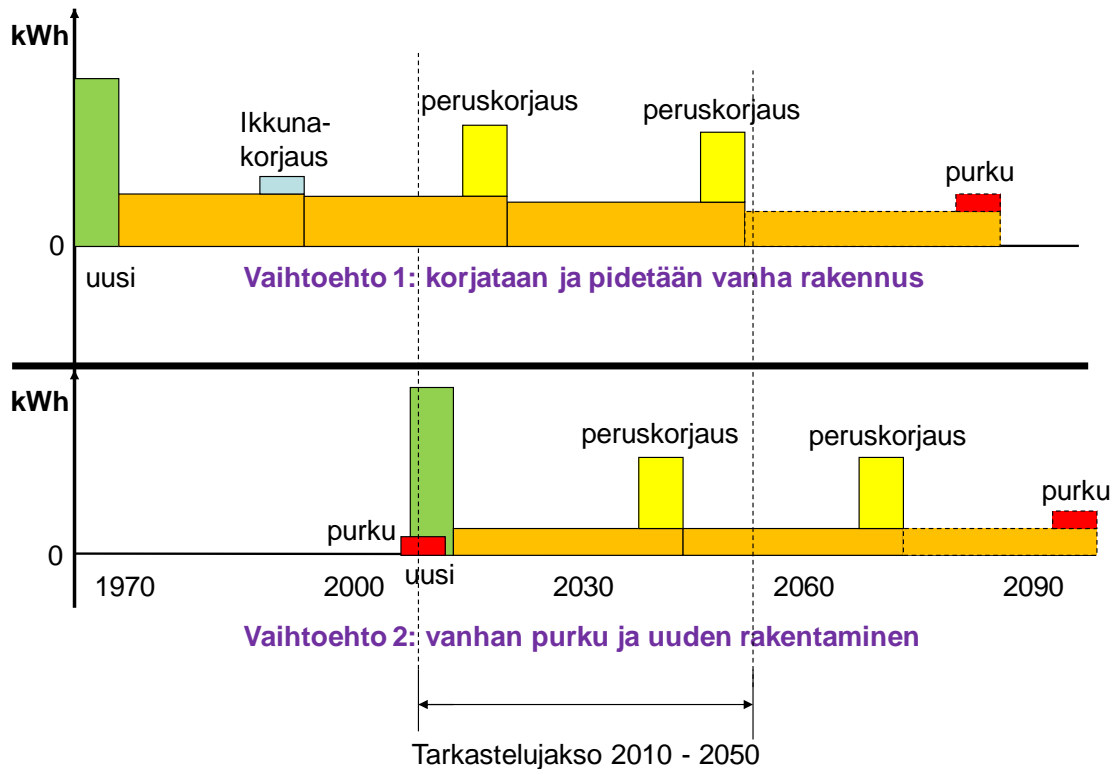
Korvaavaksi uudeksi rakennukseksi tarkasteluun on valittu 2010 valmistuva 3-kerroksinen uusi betonielementtirakenteinen asuinkerrostalo. Uuden rakennuksen energiankulutus on 100 kWh/brm². Uudisrakennukseen tarkastelujakson aikana tehtävien korjausten ei ole oletettu parantavan rakennuksen energiatehokkuutta, koska se on energiatehokas jo lähtötilanteessa.

Kuvassa 4.3 on esitetty kaksi elinkaarivaihtoehtoa tarkasteltavalle rakennukselle. Ensimmäisessä vaihtoehdossa korjataan ja pidetään vanha rakennus. Toisessa vaihtoehdossa puolestaan puretaan vanha rakennus ja rakennetaan sen tilalle uusi. Vanhan rakennuksen purkuajankohdaksi on oletettu vuosi 2080 ja uuden rakennuksen purkuajankohta on oletettu vuodelle 2090. *Kuvan 4.3* pylväät ja palkit kuvaavat rakennuksen ja rakentamistoimenpiteiden energiankulutusta rakennusten elinkaaren aikana.

Purkupäätöksen tekeminen on aina iso päätös ja siihen vaikuttavat ainakin seuraavat tekijät:

- rakennuksen sijainti (yhdyskuntarakenne, tarve kyseisellä paikalla, tontin tarve muuhun käyttöön, olemassa olevan rakennuksen korjausmahdollisuus),

- rakennuksen arkkitehtuuri,
- rakennuksen tekninen kunto tai laatu (hissi, ilmanvaihto, putkistot, parvekkeet, julkisivut, ikkunat, energiaremonttien laajuus),
- talon terveys (onko esim. homeongelmia),
- toiminnallisuus (asuntotyypit, joista markkinoilla kysyntää) ja
- lisärakennusoikeuden saamismahdollisuus.



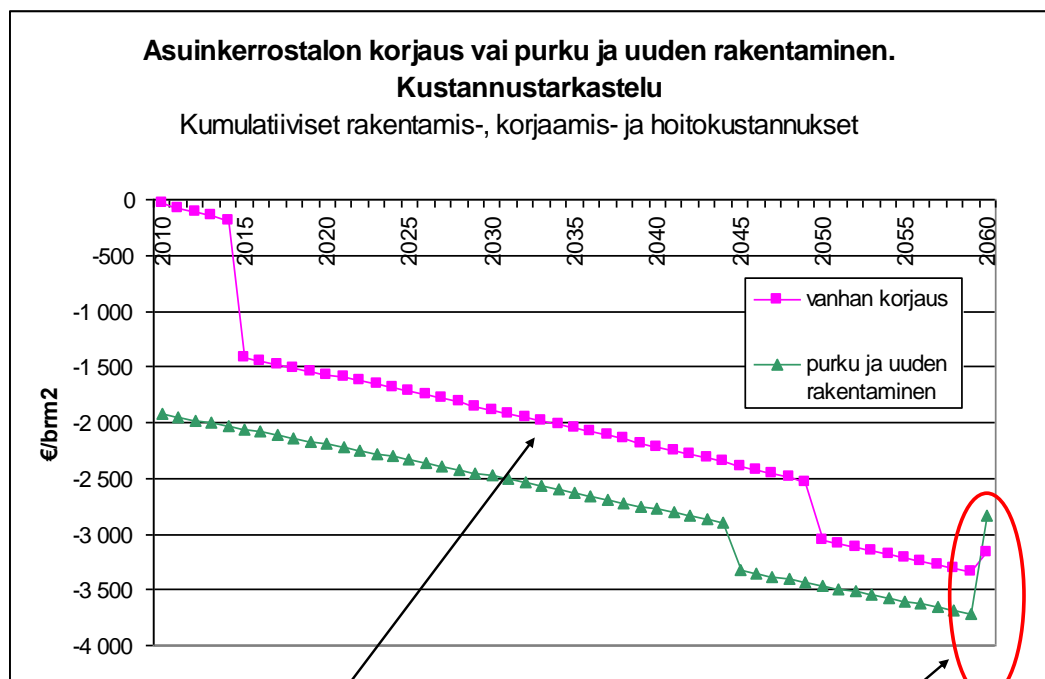
Kuva 4.3. Periaatekuva asuinkerrostalokiinteistön kahdesta elinkaarivaihtoehdosta (mukaiillen Nippala & Heljo 2009).

Kuvassa 4.4 on esitetty kustannustarkastelu, jossa ovat mukana molemmat edellä esitellyt elinkaarivaihtoehdot eli sekä vanhan rakennuksen purkaminen ja uuden rakentaminen että vanhan rakennuksen korjaus. Vanhan rakennuksen peruskorjauksen kustannukseksi vuonna 2015 on oletettu $1\,200\text{ €/brm}^2$ ja vuoden 2050 peruskorjauksen kustannukseksi 500 €/brm^2 . Hoitokuluiksi (sis. lämmitysenergian kulutuksen) on oletettu $2,5\text{ €/kk/brm}^2$. Perusparannusten välillä hoitokulut kasvavat $0,5\%$ vuodessa ja kunkin perusparannuksen jälkeen hoitokulut laskevat takaisin lähtötasoonsa ($2,5\text{ €/kk/brm}^2$). Vuonna 2010 vanhan rakennuksen hoitokulut ovat $3,05\text{ €/kk/brm}^2$. Vanhan rakennuksen tekniseksi jäännösarvoksi (ei sisällä tontin arvoa) on oletettu tarkastelun loppuhetkellä (vuonna 2060) 200 €/brm^2 .

Elinkaarivaihtoehdossa, jossa vanha rakennus puretaan, purkukustannukseksi on oletettu 100 €/brm^2 . Uuden rakennuksen investointikustannus on puolestaan $1\,800\text{ €/brm}^2$. Vuonna 2045 tehtävän peruskorjauksen hinnaksi on oletettu 400 €/brm^2 . Hoitokulujen on odotettu käyttäytyvän vastaavalla tavalla kuin edellä on esitetty vanhan rakennuksen

hoitokuluista. Uuden rakennuksen jäännösarvon on oletettu olevan vuonna 2060 900 €/brm² (ei sisällä tontin arvoa).

Kuvan 4.4 kustannustarkastelun perusteella näyttäisi, että elinkaarivaihtoehdon, jossa vanha rakennus puretaan ja tilalle rakennetaan uusi, kumulatiiviset kustannukset pysyvät koko tarkasteluvälin ajan suurempina verrattuna vanhan rakennuksen korjaamiseen. Jos tarkastelussa otetaan lisäksi oletetut jäännösarviot huomioon, purkuvaihtoehto tulee kokonaiskustannuksiltaan edullisemmaksi, mutta tosin vasta 50 vuoden kuluttua.



Kustannustarkastelu : Purku ja uuden rakentaminen
kumulatiiviset kustannukset pysyvät suurempina verrattuna vanhan korjaukseen tarkasteluvälillä (50v).

Jos tarkastelussa otetaan huomioon vanhan ja uuden rakennuksien jäännösarvot, purku/uuden rakentaminen on kokonaiskustannuksiltaan pienempi.

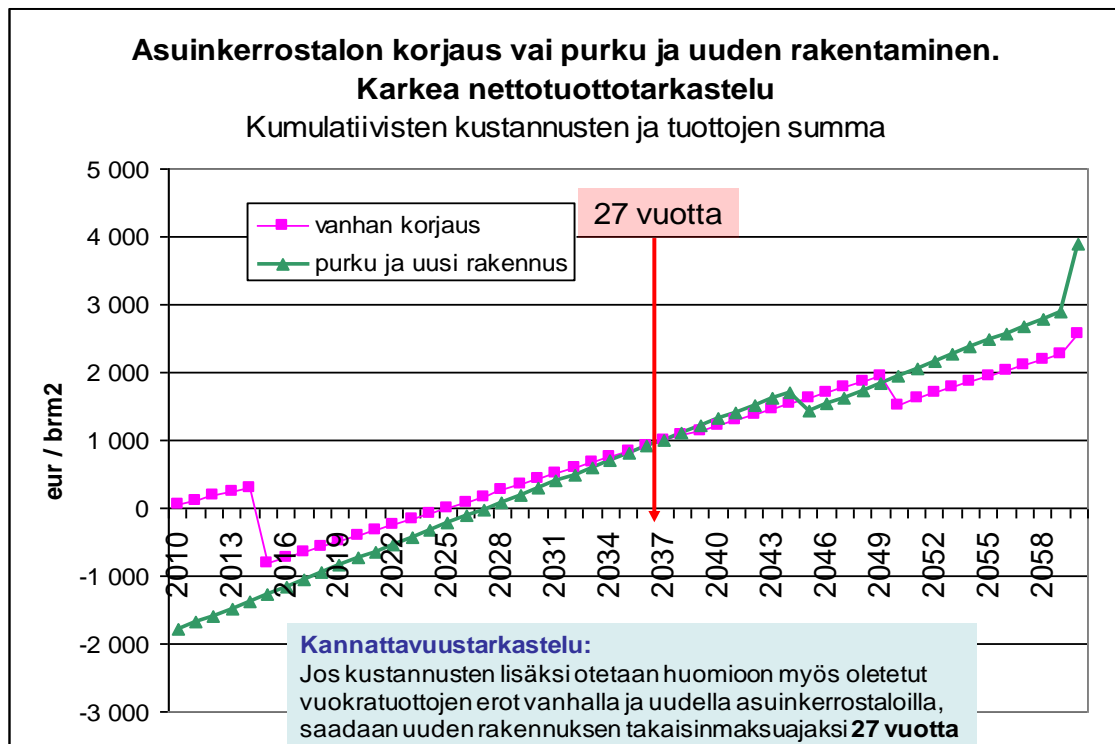
Kuva 4.4. Vanhan rakennuksen korjauksen sekä vanhan rakennuksen purkamisen ja uuden rakentamisen kustannustarkastelu (Nippala & Heljo 2009).

Kuvassa 4.5 kustannustarkastelu on laajennettu kannattavuustarkasteluksi huomioimalla kustannusten lisäksi myös eri vaihtoehtojen oletetut vuokratuotot tarkastelujakson aikana. Lähtötilanteessa vanhan rakennuksen vuokratuotoksi on valittu 8 €/htm² ja perusrakennuksen jälkeen vuokratuoton on oletettu nousevan 9,5 €/htm². Uudisrakennuksen vuokratuotoksi on oletettu 11 €/brm². Kuvan 4.5 tarkastelun mukaan näyttäisi, että jos kustannusten lisäksi otetaan huomioon myös oletetut vuokratuotot, uuden rakennuksen takaisinmaksuajaksi tulisi käytetyillä lähtöarvoilla 27 vuotta.

Rakennusten purkamisen kannattavuudesta ei voida sanoa yleispäteviä totuuksia, vaan purkamisen kannattavuutta tulee aina tarkastella tapauskohtaisesti. Tässä esitetty esimerkkitarkastelu kuitenkin osoittaa, että rakennuksen purkaminen ja uuden rakentaminen sen tilalle voi olla joissain tapauksissa järkevämpää kuin vanhan rakennuksen peruskorjaaminen. On kuitenkin syytä huomata, että tässä esitetty tarkastelu on tehty täy-

sin europohjaisesti ja ”luonnontalouden” näkökulmasta tarkasteltuna tilanne voi näyttää täysin toisenlaiselta. Silloin tarkastelussa tulisi huomioida myös mm. purkujätteiden kohtalo ja uuden rakennuksen rakentamisen aiheuttamat ympäristöhaitat.

Asunto-osakeyhtiöissä purkaminen lienee hyvin harvoin taloudellisesti mahdollista. Asunto-osakeyhtiön purkaminen voisi tulla kyseeseen lähinnä tilanteessa, jossa pienehkö talo sijaitsee hyvin arvokkaalla tontilla. Tällöin purkaminen voisi mahdollistaa selkeästi suuremman rakennuksen toteuttamisen, mikä tekisi hankkeesta taloudellisesti kannattavan ja kiinnostavan myös sijoittajien tai kiinteistökehittäjien näkökulmasta.



Kuva 4.5. Vanhan rakennuksen korjauksen sekä vanhan rakennuksen purkamisen ja uuden rakentamisen kannattavuustarkastelu (Nippala & Heljo 2009).

Vuokrataloyhtiöissä purkaminen voi sen sijaan tulla kyseeseen useammassa tilanteissa. Koska päätöksiä tehdään pitkällä aikatahtaimella, taloudelliset edellytykset purkamiselle täyttyvät helpommin. Tässä esitetyn esimerkkilaskelman tilanteessa purkamisen ja uuden rakennuksen rakentamisen kannattavuus voisi lisääntyä, jos tarkasteltaisiin tilannetta, jossa vanhan rakennuksen tilalle olisi mahdollista rakentaa selkeästi lähtötilannetta suurempi rakennus.

Kuten muissakin rakennusten elinkaaritarkasteluissa myös purkuvaihtoehtoa mietittäessä on oleellista, että eri vaihtoehtoja vertaillaan katsomalla elinkaarta eteenpäin. Menneiden asioiden huomioiminen päätöksenteon tukena käytettävissä laskelmissa johtaa harhaan. Koska asiat menevät usein eri tavalla kuin menneisyudessa, päätöksiä ei pidä tehdä historiadatan perusteella, vaan tulevaisuuden näkymiin perustuen. Kuitenkin menneisyyden virheistä on hyvä ottaa oppia.

Jäännösarvon määrittäminen laskelmia varten on ongelmallista. Jos tarkasteluissa käytetään laskentakorkokantaa ja tarkastelujaksoa venytetään, ei jäännösarvolla ole laskelmissa juuri merkitystä. Lyhyen aikavälin tarkasteluissa jäännösarvolla puolestaan on selkeä merkitys. Periaatteessa jäännösarvo tarkastelujakson lopussakin pitäisi laskea tarkastelujakson jälkeen tulevista kustannuksista ja tuotoista, mikä on jo aika haastavaa. Nykyisin jäännösarvo määritetäänkin tavallisesti rakennuksen poistumattoman arvon mukaan.

4.2. Arvotekijöiden huomioiminen

Elinkaaritarkastelujen yhteydessä kustannusten lisäksi on tarpeen tarkastella, mitä syntyviin kustannuksiin sijoitettujen resurssien vastapainoksi saadaan. *Arvojen* voidaan määritellä ilmaisevan hyödykkeiden kykyä tyydyttää tarpeita. *Kustannukset* puolestaan voidaan määritellä tarpeiden tyydyttämiseksi tarpeellisten resurssien käyttämisen seurauksiksi.

Mikäli elinkaarivertailut toteutetaan ja päätökset tehdään pelkästään kustannusten perusteella, tehdään samalla oletus siitä, että kaikki vaihtoehdot ovat arvotekijöiden suhteen samanarvoisia. Tämä oletus voi pitää paikkansa joidenkin rakennusosien ja laitteiden valinnassa, mutta on pääsääntöisesti ristiriidassa todellisuuden kanssa. Arvotekijöiden jättäminen vertailun ulkopuolella yksinkertaistaa sen toteuttamista huomattavasti. Kuitenkin tarve niiden huomioimiselle kasvaa sen mukaan, mitä huonommin samanvertaisuusoletus pitää paikkansa vertailtavien vaihtoehtojen kohdalla.

Tässä kappaleessa on sovellettu systemaattista menettelytapaa, jota voidaan käyttää apuna arvotekijöiden huomioimisessa päätöksenteossa. Arvotekijöiden huomioiminen on hankalaa ja menetelmällä saatavat tulokset ovat vain suuntaa antavia. Tulosten järkevyyttä on aina arvioitava tapauskohtaisesti. Tässä esitettävään tarkastelutapaan voidaan suhtautua eräänlaisena pelinä, johon sijoitettavia arvoja muuttamalla voidaan hakea optimaalista ratkaisua.

Arvotarkastelu perustuu Aalto & Heljon (1984) teoksessaan *Rakennusten energiataloudelliset valinnat* esittämään menetelmään. Tarkempi kuvaus menetelmästä on esitetty liitteessä 4. Tässä esityksessä arvotarkastelua on lähestytty esimerkin avulla.

Arvotarkasteluesimerkki: julkisivun pinnoitus- ja paikkaus vs. lisäeristys

Seuraavaksi käsitellään arvotarkastelua yksinkertaisen esimerkin avulla. Esimerkissä vertaillaan kahta julkisivun korjausvaihtoehtoa. Perusratkaisuna on, että vanhan betonielementtikerrostalon julkisivu kunnostetaan tekemällä pinnoitus- ja paikkauskorjaus. Vaihtoehtoisena toimenpiteenä on julkisivun lisäeristäminen. Tarkastelu on tehty 50 vuoden ajanjaksolle.

Pinnoitus- ja paikkauskorjauksen hintana on käytetty 240 000 euroa ja oletuksena on, että samanhintainen pinnoitus- ja paikkauskorjaus joudutaan tekemään 25 vuoden kuluttua uudestaan. Tällöin 4 % laskentakorolla 50 vuoden elinkaarikustannuksiksi saadaan 330 000 €.

Julkisivun lisäeristämisen hintana on käytetty 450 000 euroa. Oletuksena on, että 25 vuoden kuluttua julkisivulle joudutaan tekemään huoltomaalaus, jonka kustannus on 90 000 €. Kun energian hinnaksi oletetaan 0,10 €/kWh, lisäeristämällä saavutettava laskennallinen energiakustannussäästö on 4 858 € vuodessa. Näillä oletuksilla ja 4 % laskentakorolla lisäeristämisen elinkaarikustannukset ovat 50 vuoden aikana 380 000 €.

Taloudellisen elinkaarikustannustarkastelun perusteella julkisivun pinnoitus- ja paikkauskorjaus näyttäisi olevan kannattavampi vaihtoehto. *Taulukossa 4.1* on edellisessä kappaleessa esitetyn menettelyn mukainen esimerkkিতarkastelu, jossa on pyritty huomiomaan myös arvojen vaikutus. Arvotarkastelussa on käytetty kouluarvosana-asteikkoa. Alimmaksi tyydyttäväksi arvoksi on valittu 7 ja parhaaksi mahdolliseksi arvoksi 10.

Tarkasteluun on otettu mukaan seuraavat arvostettavat ominaisuudet:

- talon ja pihapiirin ulkonäkö,
- terminen viihtyisyys,
- ääneneristävyys ja
- ympäristöystävällisyys.

Arvostettavien ominaisuuksien painoarvojen määrittämisessä on käytetty apuna asteikkoa 1–5, jossa 1=lähes merkityksetön ja 5=ensisijaisen tärkeä. Lopulliset painokertoimet on saatu jakamalla apuasteikolla ominaisuuksille annetut painoarvot kaikkien apuasteikolla annettujen painoarvojen summalla (16). Näin ominaisuuksille on saatu lopulliset painoarvot, joiden summa on yksi.

Suurimman painoarvon (0,31) tässä tarkastelussa saivat *talon pihapiirin ulkonäkö* ja *terminen viihtyisyys*. Toiseksi suurimman painoarvon (0,25) sai *ääneneristävyys* ja pienimmän painoarvon (0,13) ympäristöystävällisyys. Lisäeristämisen oletettiin parantavan kaikkia arvosteltavia ominaisuuksia *taulukossa 4.1* esitettyjen pistearvojen mukaisesti. Arvotekijöiden muutoksen arvoksi tässä tarkastelussa on valittu 20 % perusratkaisun arvosta (66 000 €).

Taulukko 4.1. Julkisivun korjausvaihtoehtojen arvotarkastelu (laskentakorko 4 %).

Vaihtoehdon kuvaus:	
Kerrostalon julkisivuremontti Pinnoitus- ja paikkauskorjaus vs. julkisivun ulkopuolinen lisäeristys (laskentakorko 4 %)	
Perusratkaisun arvo (A_p)	330 000 €
(usein ajatellaan halvimman ratkaisun olevan kustannustensa arvoinen)	
Vaihtoehdon kustannus	380 000 €
Arvosteluasteikon määrittäminen	kouluarvosana-asteikko
Tyydyttävän ratkaisun arvo:	7
Parhaan käyttökelpoisen ratkaisun arvo:	10

Arvostettava ominaisuus:	Ominaisuuden painokertoimen apulaskuri	Ominaisuuden painokerroin	Perusratkaisun piste-arvo	Tarkasteltavan vaihtoehdon piste-arvo	Painotettu piste-arvo-ero
		p_j	a_p	a_j	$p_j \cdot (a_j - a_p)$
Talon ja pihapiirin ulkonäkö	5	0,31	8,5	9	0,16
Terminen viihtyisyys	5	0,31	7	8	0,31
Ääneneristävyyttä	4	0,25	7	8	0,25
Ympäristöystävällisyys	2	0,13	7	9	0,25
Yhteensä K_i	16	1,00			0,97
Ratkaisun hyvyyskerroin $k_i = K_i / \text{Arvotekijöiden muutos (ylin-tyydyttävä)}$					0,32
Arvotekijöiden muutoksen arvo perusratkaisun arvosta					66 000 €
Vaihtoehdon arvo					
$A = A_p + k_i \cdot \text{Arvoero}$					351 313 €
Vaihtoehdon edullisuus					
Arvo / Kustannus					0,92

Taulukosta 4.1 nähdään, että tehdyn arvotarkastelun mukaan perusratkaisulle vaihtoehdoisen toimenpiteen arvo/kustannus –suhde on 0,92. Kun perusratkaisun ajatellaan olevan kustannustensa arvoinen (arvo/kustannus –suhde 1,00), tehdyn tarkastelun perusteella valittaisiin toteutettavaksi julkisivun pinnoitus- ja paikkauskorjaus.

Taulukossa 4.2 on esitetty vastaavanlainen arvotarkastelu, kun vaihtoehtojen elinkaari-kustannusten laskennan laskentakorkona on käytetty 3 %. Tällöin vaihtoehtojen elinkaari-kustannusten ero on pienempi kuin 4 %:n laskentakorkolla ja vastaava arvotarkastelu nostaisi julkisivun lisäeristämisen kannattavammaksi vaihtoehdoksi (arvo/kustannus –suhde 1,03) kuin perusratkaisun pinnoitus- ja paikkauskorjaus (arvo/kustannus –suhde 1,00).

Taulukko 4.2. Julkisivun korjausvaihtoehtojen arvotarkastelu (laskentakorko 3 %).

Vaihtoehdon kuvaus:	
Kerrostalon julkisivuremontti Pinnoitus- ja paikkauskorjaus vs. julkisivun ulkopuolinen lisäeristys (laskentakorko 3 %)	
Perusratkaisun arvo (A_p)	355 000 €
(usein ajatellaan halvimman ratkaisun olevan kustannustensa arvoinen)	
Vaihtoehdon kustannus	368 000 €
Arvosteluasteikon määrittäminen	kouluarvosana-asteikko
Tyydyttävän ratkaisun arvo:	7
Parhaan käyttökelpoisen ratkaisun arvo:	10

Arvostettava ominaisuus:	Ominaisuuden painokertoimen apulaskuri	Ominaisuuden painokerroin	Perusratkaisun piste-arvo	Tarkasteltavan vaihtoehdon piste-arvo	Painotettu pistearvoero
		p_j	a_p	a_j	$p_j \cdot (a_j - a_p)$
Talon ja pihapiirin ulkonäkö	5	0,31	8,5	9	0,16
Terminen viihtyisyys	5	0,31	7	8	0,31
Ääneneristävyys	4	0,25	7	8	0,25
Ympäristöystävällisyys	2	0,13	7	9	0,25
Yhteensä K_i	16	1,00			0,97
Ratkaisun hyvyyskerroin $k_i = K_i / \text{Arvotekijöiden muutos (ylin-tyydyttävä)}$					0,32
Arvotekijöiden muutoksen arvo perusratkaisun arvosta					71 000 €
Vaihtoehdon arvo					
$A = A_p + k_i \cdot \text{Arvoero}$					377 927 €
Vaihtoehdon edullisuus					
Arvo / Kustannus					1,03

Arvotarkastelujen tarkoituksena on auttaa ottamaan huomioon oleellimmat valintaan vaikuttavat asiat. Edellä esitetyt esimerkit osoittavat, että pienehkötkin muutokset käytetyissä laskenta-arvoissa, voivat vaikuttaa merkittävästi tarkastelun lopputulokseen. Ensimmäisen arvotarkastelukierroksen jälkeen on hyvä tehdä herkkyystarkastelua ("pelata") laskenta-arvoja muuttamalla. Tällöin saadaan parempi varmuus siitä, että saatu tulos on suuruusluokaltaan oikea.

Koska arvoasteikko ei ole lineaarinen, saatu tulos ei ole matemaattisesti oikea. Laskentatuloksia voidaan kuitenkin hyvin käyttää apuna eri vaihtoehtojen vertailemisessa. *Kappaleessa 2.3* esitetyn päätöksentekomenetelmän mukainen kokonaisratkaisujen arvovertailu voidaan toteuttaa tässä esitetyllä tavalla.

Arvotekijöiden huomioimiseen on olemassa myös vaihtoehtoisia tapoja. Yksi niistä on *maksuhalukkuusmenettely*. Tällöin kysytään, onko päätöksentekijä valmis maksamaan taloudellisesti kannattamattomamman (kalliimman) vaihtoehdon ja perusratkaisun elinkaarikustannusten erotuksen kalliimmalla vaihtoehdolla saavutettavista arvomuutoksista.

5. Tietomallit päätöksenteon apuvälineenä

Rakennusten tietomallintaminen (BIM) on jo pidemmän aikaa herättänyt kiinnostusta rakennusalan ammattilaisten keskuudessa. EVAKO-hankkeen aikana tarjoutui luonteva mahdollisuus sisällyttää hankkeeseen tietomalleja käsittelevä osuus, kun hankkeen case-alueen arkkitehti hyödynsi suunnittelutyössään tietomallintamista ja oli valmis luovuttamaan tekemänsä mallit tutkimuskäyttöön. Tämän mahdollisuuden ja tietomallien ajankohtaisuuden innoittamana hankkeessa päätettiin tarkastella tietomallien hyödyntämismahdollisuuksia lähiökorttelikorjaamisen päätöksenteon apuvälineenä.

Hankkeen case-kohteen suunnittelumalleihin liittyneiden tarkastelujen päämääränä oli selvittää, kuinka hyvin arkkitehdin tekemiä tietomalleja voidaan hyödyntää energia-analyysien tekemisessä. Tämän lisäksi tietomallien ja tietomallipohjaisen tiedonsiirron mahdollisuuksia ja haasteita kartoitettiin myös yleisemmällä tasolla kirjallisuusselvityksen avulla sekä konsultoimalla rakennusten tietomallien parissa työskenteleviä ammattilaisia.

5.1. Mistä tietomallintamisesta ja tietomallipohjaisesta tiedonsiirrossa on kyse?

Tietomallintamiseen liittyy paljon potentiaalia, jota ei vielä osata hyödyntää täysimääräisesti. Kehittyessään tietomallintaminen voi muuttaa rakennusalaan ja sen toimintatapojen merkittävästi – koko alan mullistavasta vallankumouksesta ei kuitenkaan ole kyse. Jo tällä hetkellä tietomalleja ja tietomallipohjaista tiedonsiirtoa sopivasti hyödyntämällä voidaan parantaa rakennusprosessia ja käytönaikaista kiinteistöhallintaa.

Tietomalli ei ole itseisarvo eikä korvaa ammattilaista

Edelleen voi törmätä projekteihin, joissa on päätetty käyttää tietomallintamista tietämättä, mitä hyötyä siitä voisi olla (Lehtinen 2012). Kun päätös tietomallintamisesta tehdään ns. pelkästään tietomallintamisen takia vaille varsinaisia perusteita ja asiantuntemusta, odotukset saattavat muodostua epärealistisiksi ja todelliset tietomallintamisen hyödyt jäävät todennäköisesti saavuttamatta. Toisinaan saatetaan perusteettomasti olettaa jopa, että tietomalleilla ja niihin liittyvällä tiedonsiirrolla voidaan ratkaista ongelmia yhtä nappia painamalla. Tällaisesta ”taikalaatikosta” ei kuitenkaan ole kyse (Lehtinen 2012).

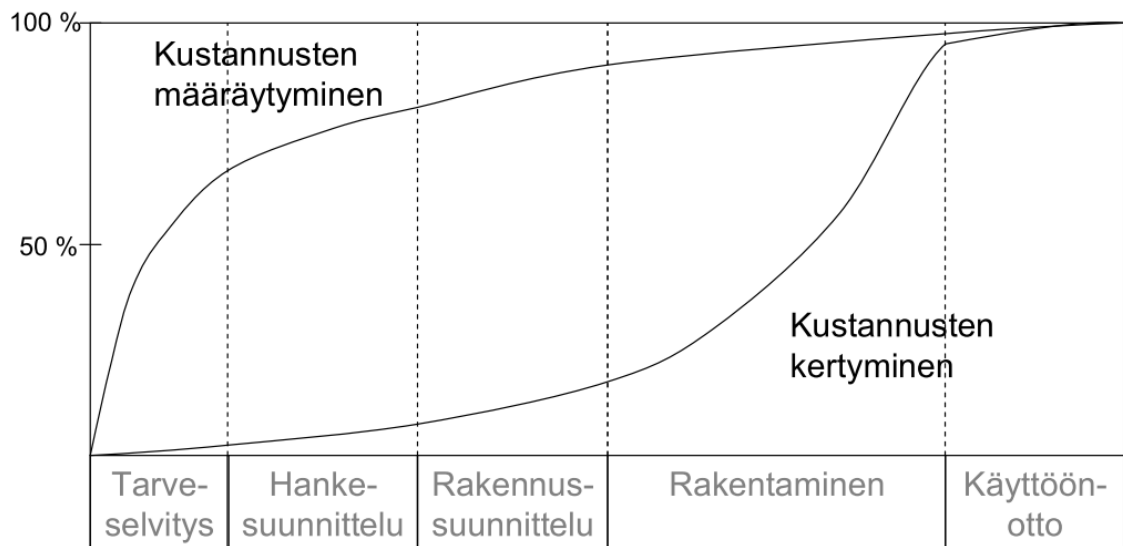
Tietomallintamisesta ja tietomallipohjaisesta tiedonsiirrosta puhuttaessa on tärkeää muistaa, että tietomallit ovat vain yksi apuväline alan ammattilaisten käyttöön. Tietomalleilla ei pystytä – eikä niillä ole tarkoituskaan pystyä – korvaamaan alan ammattilai-

sia. Sen sijaan niiden tarkoituksena on helpottaa ja nopeuttaa ammattilaisten työtä. Uusista apuvälineistä huolimatta asiantuntemus on kuitenkin edelleen välttämätöntä.

Ensimmäinen askel tietomallien menestyksekkääseen hyödyntämiseen on niihin liittyvän todellisuuden ymmärtäminen. Tietomallintamista ei kannata väkisin yrittää hyödyntää jokaisessa projektissa, ellei tiedetä, mitä hyötyä siitä voisi olla. Tietomalleihin ja tietomallipohjaiseen tiedonsiirtoon liittyvä potentiaali on kuitenkin huomattavan suuri ja oikein hyödynnettynä niillä voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä.

Päämääränä parempaa tietoa enemmän ja aiemmin

Kuvassa 5.1 on havainnollistettu rakennushankkeen kustannusten määräytymistä ja kertymistä hankkeen eri vaiheissa. Kuvasta nähdään, että rakennushankkeen aikana syntyvät kustannukset määräytyvät jo varsin varhaisessa vaiheessa. Vaikka valtaosa kustannuksista kertyy vasta rakentamisvaiheen aikana, hankkeen kokonaiskustannuksiin voidaan vaikuttaa eniten rakentamista edeltävien vaiheiden aikana.

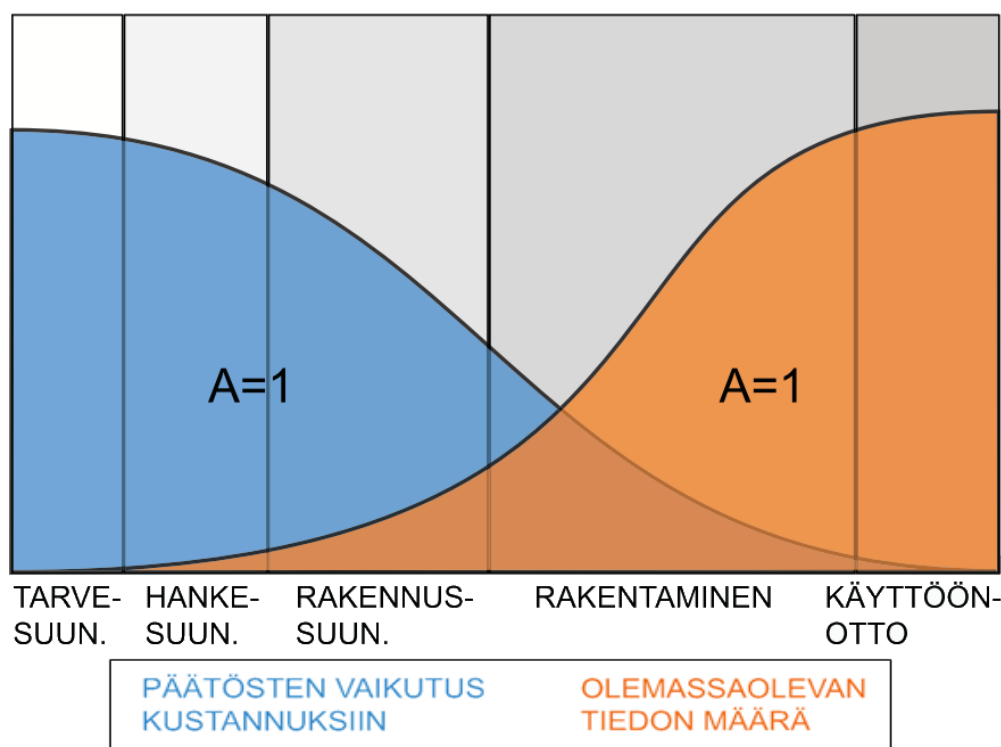


Kuva 5.1. Rakennushankkeen kustannusten määräytyminen ja kertyminen (Kankainen & Junnonen 2001, s. 42).

Kuva 5.2 havainnollistaa rakennushankkeiden päätöksentekoon liittyvää ongelmaa: päätöksenteon tueksi tarvittavaa tietoa on olemassa varsin vähän vielä silloin, kun täytyy tehdä päätöksiä, jotka määrittävät valtaosan hankkeen kustannuksista. Mahdollisimman edullisten päätösten tekemiseksi tarvittaisiin siis luotettavaa tietoa päätösten vaikutuksista jo hankkeen varhaisessa vaiheessa.

Tietomallintamisella ja tietomallipohjaisella tiedonsiirrolla pyritään osaltaan vastaamaan tähän päätöksenteossa tarvittavan tiedon ongelmaan. Pyrkimyksenä on, että tietomallintamisen keinoin pystyttäisiin tuomaan enemmän parempaa tietoa päätöksenteon tueksi jo projektin varhaisemmissa vaiheissa, jolloin myös kustannukset sitovat päätökset joudutaan tekemään. Tällä tavoin on mahdollista tehdä viisaampia päätöksiä, saavut-

taa kustannussäästöjä ja päästä parempaan laatuun. Toisin sanoen ihannetilanteessa saadaan rakennettua laadukkaampia rakennuksia halvemmalla, mikä johtaisi kaikkien kannalta parempaan liiketoimintaan. (Lehtinen 2012.)



Kuva 5.2. Käytettävissä olevan tiedon määrä ja päätösten kustannusvaikutus rakennushankkeen eri vaiheissa. (Laitinen 1998, Vakkilaisen 2009 mukaan).

Päätöksenteossa tarvitaan laadukasta tietoa

Kuvassa 5.3 on havainnollistettu tietomallipohjaisen tiedonsiirron perusajatusta. Lähtökohtana on, että tavoitteiden saavuttamiseksi on tehtävä päätöksiä. Hyvään päätökseen päästään todennäköisemmin, jos käytettävissä on riittävästi laadukasta tietoa. Laadukkaan tiedon avulla ymmärretään paremmin, minkälaisia vaikutuksia erilaisilla valinnoilla on. Ongelmana on, että sopivaa tietoa on harvoin rakennushankkeen alkuvaiheissa saatavilla riittävästi. Sen sijaan usein olemassa on vain suuri määrä epämääräistä dataa, jota ei voida suoraan hyödyntää päätöksenteossa.

Tietomallit mahdollistavat suuren datamäärän tallentamisen ja kokoamisen yhteen. Suunnittelumalli sisältää valtavan määrän dataa. Dataa on kuitenkin käsiteltävä ennen kuin se on käyttökelpoista. Tietomallit eivät siis sinällään ratkaise päätöksenteossa tarvittavan laadukkaan tiedon ongelmaa. On tärkeää huomata, että suuri datamäärä ei itsessään takaa, että päätöksentekotilanteessa on käytettävissä riittävästi oikeanlaista tietoa. Sen sijaan avainasemassa on tiedon laatu: pieni määrä tietoa voi olla riittävästi, jos se antaa luotettavan vastauksen juuri oikeaan kysymykseen.

Tietomallit sisältävät niin valtavan määrän dataa, että ihmisen on lähes mahdotonta seuloa sen joukosta ne palaset, joista tarvittava tieto saataisiin koottua. Sen sijaan tietomallipohjaisen tiedonsiirron avulla ja käsittelemällä dataa sopivien menetelmien avulla tuosta datasta saadaan jalostettua päätöksentekoa tukevaa laadullista tietoa.



Kuva 5.3. Tietomallipohjaisen tiedonsiirron perusajatus (mukailtuna Lehtinen 2012).

Tiedonsiirron avulla datasta tietoa tehokkaasti

Mitä päätöksenteossa tarvittavan tiedon tuottaminen sitten käytännössä tarkoittaa? Tarkastellaan periaatteellisena esimerkkinä hanketta, jossa arkkitehti tekee erilaisia suunnitelmavaihtoehtoja hyödyntäen tietomallintamista. Perinteisillä CAD-ohjelmilla tehdyt luonnospiirustukset tai erilliset visualisoinnit eri vaihtoehdoista sisältävät paljon informaatiota, mutta ne eivät suoraan kerro esimerkiksi eri suunnitteluvaihtoehtojen kustannus- tai energiavaikutuksista. Näin ratkaisuvaihtoehtojen kaikkia oleellisia vaikutuksia on vaikea tuoda konkreettisesti esille suunnittelukokouksissa. Päätöksiä joudutaan kuitenkin usein tekemään nopeasti, mikä johtaa helposti puutteellisiin tiedoin tehtyihin päätöksiin.

Perinteisestä CAD-suunnittelusta poiketen tietomallipohjaisen suunnittelun etuna on, että tässä esimerkkitapauksessa kustannuslaskija voi viedä arkkitehdin tuottamista tietomalleista tarvittavat tiedot kustannuslaskentaohjelmaan tietomallipohjaista tiedonsiirtoa hyödyntämällä. Mikäli määrä- ja kustannuslaskentaan tarvittava data saadaan siirtymään oikein, eri suunnitteluvaihtoehtojen kustannusvaikutukset voidaan selvittää nopeasti. Näin suunnittelukokouksessa olisi käytössä tärkeää tietoa eri suunnitteluratkaisujen kustannusvaikutuksista. Nykyisin yleisesti käytössä olevilla ns. perinteisillä menetelmillä ei pystytä tuottamaan tällaista ratkaisuvaihtoehtojen vertailun kannalta oleellista tietoa riittävän tehokkaasti.

Vastaavasti energia-asiantuntija voi viedä arkkitehdin tuottamista malleista tarvittavan datan energiasimulointiohjelmaan, jolloin saadaan kokouskäyttöön tietoa myös eri suunnitteluvaihtoehtojen energiankulutusvaikutuksista. Näin ollen tietomalleja hyödyntämällä suunnittelukokouksessa käytettävissä olevan tiedon määrää pystyttäisiin verrattain pienellä työmäärällä lisäämään merkittävästi. Onnistuneen päätöksenteon kannalta tällä voi olla hyvinkin ratkaiseva merkitys.

Periaatteessa samat selvitykset pystyttäisiin tekemään myös perinteisten CAD-suunnitelmien pohjalta, mutta samalle tarkkuustasolle pääseminen vaatisi tuolloin huomattavasti suurempaa työmäärää. Mikäli tietomallipohjaiseen suunnitteluun siirtyminen

pystytään toteuttamaan sujuvasti ja toimivasti, eri suunnitteluratkaisujen vertailumahdollisuudet paranevat merkittävästi.

5.2. Tietomallien hyödyntämisen haasteet ja ongelmat

Rakennusten tietomallien soveltaminen ei onnistu käytännössä aina ihan yhtä sujuvasti kuin teoriassa. Kuten aiemminkin tässä luvussa on mainittu, suurimpana haasteena on tietomallien sisältämän informaation saattaminen hyödylliseen muotoon. Dataa on paljon, mutta miten sitä voidaan hyödyntää.

Vaatimuksia tiedonsiirrolle, ei tietomalleille

Tietomalli on suunnittelijalle (esim. arkkitehti tai LVI-suunnittelija) ensisijaisesti suunnittelutyökalu. Tietomallipohjainen suunnittelu helpottaa itse suunnittelijan työtä, mutta miten suunnittelun aikana tietomalleihin kerääntyvää valtavaa tietomäärää voitaisiin hyödyntää myös muualla. Koska usein tarvittava data on tietomalleissa jo valmiina, sen hyödyntäminen myös muualla on kiistatta järkevää.

Tietomalleja voidaan tehdä useilla sovelluksilla ja useisiin eri tarkoituksiin (esim. Autodesk Revit Architecture, Graphisoft ArchiCAD ja Tekla Structures). Tietomalleihin tallennetun datan hyödyntäminen eri käyttötarkoituksiin edellyttää, että dataa on pystytävä siirtämään toisiin sovelluksiin, joissa siitä voidaan työstää päätöksenteossa tarvittavaa tietoa. Koska eri sovellukset käyttävät omia tiedostomuotojaan, on syntynyt tarve avoimelle kansainväliselle tiedonsiirto-standardille. Tiedonsiirtoon on olemassa erilaisia formaatteja, mutta rakennusten tietomallintamisessa hyödynnetään yleisimmin IFC-standardin (*Industry Foundation Classes*) mukaista tiedonsiirtoa, joka on siirtoformaateista kehittynein (Lehtinen 2012).

Suomen rakennus- ja kiinteistöalan eri toimijat ovat laatineet yhteistyössä kansalliset tietomallivaatimukset (YTV2012), jotka julkaistiin maaliskuussa 2012. Vaatimusten tavoitteena on tietomallien käytön lisääminen sekä rakennusalan toimintatapojen yhtenäistäminen ja vakinaistaminen. Aiemmin Suomessa on ollut käytössä Senaattikiinteistöjen vuonna 2007 julkaisemat tietomallivaatimukset, joita kansallisilla vaatimuksilla päivitettiin ja laajennettiin. Rakennustieto on julkaissut uusista tietomallivaatimuksista myös RT-ohjekortit. Tietomallivaatimukseen voi tutustua osoitteessa: www.buildingsmart.fi. (Building Smart Finland 2012.)

Kansalliset tietomallivaatimukset edistävät omalta osaltaan tietomallien käyttöä ja helpottavat osapuolien välistä toimintaa luomalla viitekehyksen yhtenäisille toimintatavoille. Rakennusosalalla uudistuminen on perinteisesti ollut hidasta ja jokainen kehitystä eteenpäin vievä askel on arvokas. Tietomalleihin kohdistettavilla vaatimuksilla ei kuitenkaan pystytä ratkaisemaan kaikkia tietomallien hyödyntämiseen liittyviä haasteita. Huomiota pitäisi kiinnittää erityisesti tietomallipohjaiseen tiedonsiirtoon liittyviin haas-

teisiin, sillä niiden ratkaisemisella voidaan vaikuttaa merkittävästi tietomallien hyödynnettävyyteen laajassa mittakaavassa.

Usein ajatellaan virheellisesti, että suunnittelumallin ja siirtotiedoston sisältö on sama. Todellisuudessa siirtotiedoston tarkoituksenmukainen sisältö kuitenkin riippuu sen käyttötarkoituksesta ja näin ollen poikkeaa alkuperäisen suunnittelumallin sisällöstä. Tämän vuoksi vaatimuksia tulisi enemmän kohdistaa tiedonsiirrolle ja siirtotiedostoille kuin itse suunnittelumalleille. (Lehtinen 2012.)

BIM-tiedonsiirron todellisuus on moniulotteinen ja haasteellinen

Tiedon siirtäminen suunnittelijan tekemästä tietomallista toiseen sovellukseen kuulostaa periaatteessa yksinkertaiselta. Todellisuus on kuitenkin useista eri tekijöistä johtuen huomattavasti ensivaikutelmaa mutkikkaampi. *Kuvassa 5.4* on havainnollistettu tietomallipohjaisen tiedonsiirron moniulotteisuutta ja siihen liittyvää ongelmakenttää sipulimaisen kuvion avulla. Keskellä kuvion ytimessä on IFC-tiedonsiirtostandardi, jonka tehtävänä on huolehtia tietomallien sisältämän datan siirtämisestä järjestelmistä riippumattomasti. Siirtoformaatin tehtävä on äärimmäisen haastava, sillä sen pitäisi kyetä käsittelemään ja sovittamaan yhteen huomattava määrä muuttuvia tekijöitä siten, että data saadaan sijoitettua ja siirrettyä yksiselitteisesti.

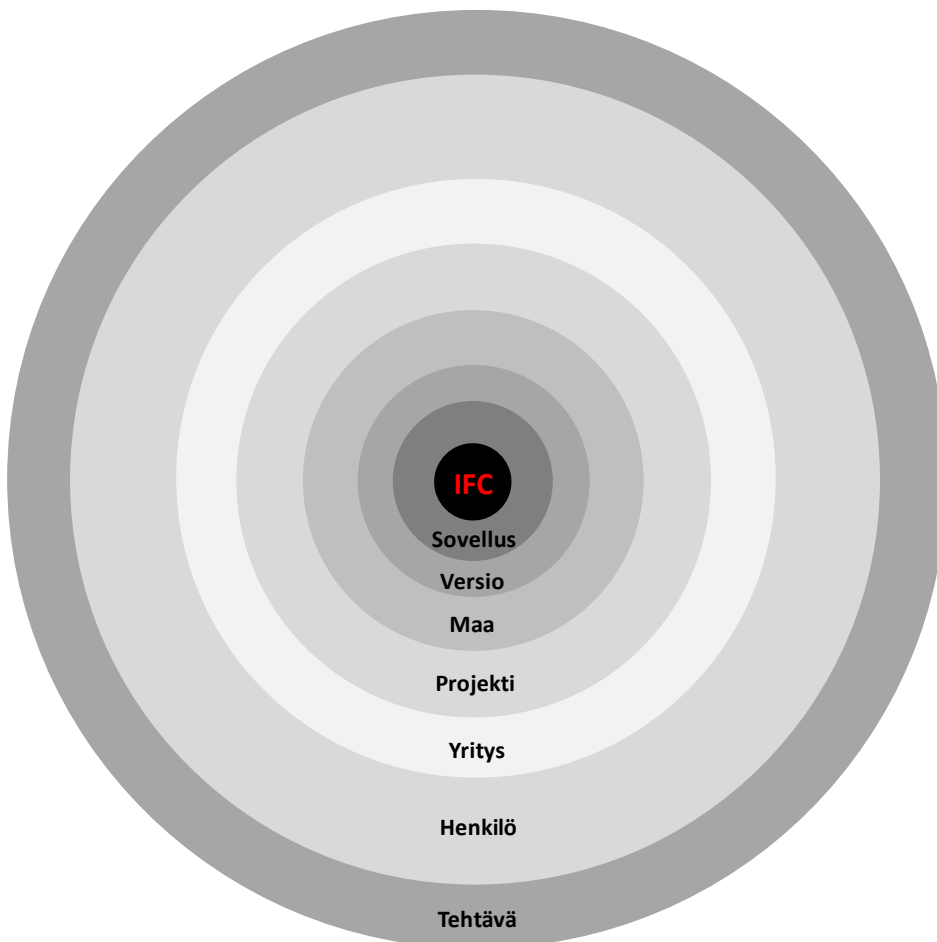
IFC-standardin mukaisen tiedonsiirron pitäisi toimia ohjelmista riippumattomasti. Kuitenkin sovellukset eroavat aina toisistaan ja niillä on omat ominaispiirteensä. Tähän viitataan *kuvan 5.4* ensimmäisellä kuoritasolla. IFC-sertifioinnista huolimatta jokaisessa ohjelmassa on oma vientisysteeminsä, jolla ohjelmalla tehty tietomalli muunnetaan IFC-muotoon. Vaikka IFC-vienti on standardin mukainen, eri ohjelmat tallentavat dataa hieman toisistaan poikkeaviin paikkoihin ja/tai hieman eri tavalla nimettynä. Tämä voi johtaa siihen, ettei tieto siirry ohjelmasta toiseen halutulla tavalla. On ilmeistä, ettei tieto löydy, jos ohjelma, josta tietomalli on viety IFC-tiedostoksi, on tallentanut tiedon juuri sen paikan viereen, josta toinen ohjelma, johon IFC-tiedosto tuodaan, yrittää etsiä sitä. Aivan kuin elävässä elämässä yrittäisi etsiä tärkeitä papereita vääränpuoleisesta laatikosta – ne eivät löydy.

Oman lisähaasteensa tiedonsiirto-ongelmaan tuo, että eri ohjelmista on olemassa myös eri versioita. *Kuvan 5.4* toinen kuoritaso viittaa tähän haasteeseen. Ohjelmien IFC-tiedostojen tuontia ja vientiä kehitetään jatkuvasti, jolloin myös tiedon sijainti ja nimeäminen IFC-tiedostossa voi hieman muuttua. Tämän jälkeen saatetaan huomata, ettei ohjelmasta enää pystytäkään viemään sujuvasti IFC-tiedostoja toiseen ohjelmaan, johon tiedostojen vieminen on aiemmin sujunut ongelmitta. Toisaalta versioiden päivittyessä muutos olla myös myönteinen: tiedonsiirto saattaa onnistua ohjelmien uudemmilla versioilla aiempaa jouhevammin.

Kuvan 5.4 kolmas kuoritaso viittaa maiden toisistaan eroavien käytäntöjen aiheuttamiin haasteisiin. Jokaisessa maassa on omia rakentamisen käytäntöjä, jotka vaikuttavat väistämättä myös tietomallipohjaisen tiedonsiirron tarpeisiin. Esimerkiksi saman datan soveltaminen kahden eri maan erilaisiin käytäntöihin voi osoittautua haasteelliseksi

Projektien erilaisuus tuo myös tietomallipohjaiselle tiedonsiirrolle oman haasteensa. Harvoin mikään rakennusprojekti on täysin samanlainen kuin jokin toinen. Myös samankaltaisia projekteja on toki olemassa, mutta myös niillä on omat yksilölliset ominaispiirteensä. Rakennusten elinkaaren aikana vaikuttavien satunnaistekijöiden vaikutus on suuri ja arvaamaton. Tähän haasteeseen on viitattu *kuvan 5.4* neljännellä kuoritasolla.

Kuvan 5.4 kolmella uloimmalla kuoritasolla on mainittu vielä kolme uutta haastetekijää. Näistä ensimmäisenä on yritysten toisistaan poikkeavat käytännöt ja toimintatavat. Näiden lisäksi yrityksissä työskentelee lukuisia eri henkilöitä, joilla on omat tapansa toimia. Todennäköisesti nämä henkilöt toimivat myös hieman eri tavalla riippuen siitä, minkälaista tehtävää he suorittavat, sillä erilaisissa tehtävissä on erilaiset tavoitteet. Nämä muuttuvat tekijät aiheuttavat väistämättä haasteita myös tietomallipohjaiselle tiedonsiirrolle.



Kuva 5.4. Tietomallipohjaisen tiedonsiirron todellisuus (mukaiillen Lehtinen 2012).

Kuvassa 5.4 esitetyt tekijät havainnollistavat tietomallipohjaiseen tiedonsiirtoon liittyviä haasteita ja ongelmia. On syytä huomata, että todellisuus on vielä esitettyjä tekijöitä moninaisempi. Kuitenkin jo mainitut tekijät riittänevät havainnollistamaan, että tietomallipohjaisessa tiedonsiirrossa on kyse hyvin moniulotteisesta asiasta. Näin ollen ei ole realistista olettaa, että siirtotiedosto pystyisi sovittamaan kaikki muuttuvat tekijät aukottomasti yhteen.

5.3. Haasteisiin vastaaminen edellyttää toimintatapojen muutosta

Rakennusten tietomallien ja tietomallipohjaisen tiedonsiirron täysipainoinen hyödyntäminen edellyttää muutosta nykyisiin toimintatapoihin. Tällä hetkellä suurin tietomallintamiseen liittyvä ongelma lienee se, etteivät suunnittelijat tuota tiedonsiirron näkökulmasta riittävän luotettavaa ja ammattimaista tietoa (Lehtinen 2012). Tietomallinnusta osataan kyllä hyödyntää omassa suunnittelutyössä, mutta tiedon eteenpäin siirtämiseen ei panosteta riittävästi.

BIM-tiedonsiirto on ammattimaista viestintää

Vallitseva toimintatapa on, että suunnittelija vie tekemänsä tietomallin IFC-muotoon ja lähettää sen eteenpäin. Näin toimittaessa ei voida olla varmoja siitä, miten hyvin siirtotiedosto vastaa käyttötarkoitustaan. Edellisessä kappaleessa mainitut haasteet huomioiden on todennäköistä, että siirtotiedosto ei ole automaattisesti halutunlainen. Siirtotiedoston lähettämistä eteenpäin tarkistamatta ei voida pitää edes täysin ammattimaisena toimintana; vai kuinka moni ammattisuunnittelija toimittaa piirustukset eteenpäin ilman minkäänlaisia tarkistuksia.

Miksi näin sitten toimitaan tietomallipohjaisessa tiedonsiirrossa? Osaltaan voi olla kyse siitä, ettei tiedetä, mitä tehdään. Teknologia ja tekniikka toimivaan BIM-tiedonsiirtoon ovat olemassa, mutta ammattilaisten on tunnettava tekniikan toimintaperiaatteet ja sovellusmahdollisuudet, toimittava niiden mukaisesti ja viestittävä ammattimaisesti, jotta BIM-tiedonsiirtoa voidaan hyödyntää menestyksekkäästi. (Lehtinen 2012.)

Tietomallintamisen ja tietomallipohjaisen tiedonsiirron perimmäisenä tarkoituksena on parantaa päätöksentekoa ja tehostaa rakennusten elinkaarten aikaisia prosesseja. Pyrkimyksenä on siis, että pienemmällä resurssien käytöllä päästäisiin parempaan lopputulokseen. Erilaisissa pilottiprojekteissa tietomalleja on hyödynnetty menestyksekkäästi, mutta tällöin tietomalliasioihin on myös panostettu resursseja tavanomaista hanketta enemmän. Hankkeiden osapuolien on kyettävä omaksumaan uudenlaisia toimintatapoja ennen kuin tietomalleilla voidaan aidosti saavuttaa hyötyjä laajassa mittakaavassa.

Koska tietomallien hyödyntäminen on vielä verrattain uutta, ongelmia aiheutuu toimintamallien puuttumisesta ja vastuukysymyksistä. Sopimuksissa pitäisi selkeästi pystyä

määrittelemään, mitä tietomallintamiselta ja tiedonsiirrolta edellytetään ja mitkä asiat kuuluvat kenenkin vastuulle. Oma ongelmansa on myös, miten asetettujen vaatimusten mukaisuus pystytään todentamaan. Ongelmaksi voi nousta myös se, ettei tietomallin tekijä välttämättä ole valmis jakamaan tuotostaan avoimesti hankkeen muiden osapuolten käyttöön. Tietomalleilla ei ole varsinaista tekijänoikeussuojaa, vaan niihin pätee tietokantasuoja. Tietomallien käyttöä on kuitenkin helppo suojata sopimusteknisesti siten, että määritellään sopimuksessa esimerkiksi, että siirtotiedostoa saa käyttää ainoastaan kyseisen hankkeen energia-analyysiin. Näin ollen käyttöoikeuksien ei pitäisi nousta kynnyksysymykseksi. (Lehtinen 2012.)

Koska hankkeiden osapuolina toimivat yritykset, tietomallit pitäisi saada sovitettua luontevaksi osaksi niiden liiketoimintaa. Liiketoiminnan perimmäisenä tavoitteena on lähes aina rahallinen tuoton tavoittelu, joten tietomallien hyödyntämiseen motivoituminen edellyttäisi, että tietomallit yhdistettäisiin yrityksissä parempaan tuottoon. Toisin sanoen pitäisi pystyä näyttämään, miten tietomalleista saa rahaa. Esille nousee myös kysymys tietomallien arvon määrittelystä, sillä toimitussisällölle on pystyttävä määrittelemään hinta. (Lehtinen 2012.)

Esikatselu on osa ammattimaisuutta

Tietomalleihin liittyvien toimintamallien syntymisessä on tärkeintä, että ymmärretään, mitä tehdään. Ammattimaisella viestinnällä pystytään Lehtisen (2012) mukaan ratkaisemaan suuri osa tietomalleihin liittyvistä haasteista. Tietomallipohjaisessa tiedonsiirrossa olennaiseksi osaksi ammattimaista viestintää kuuluu, että suunnittelija ei ainoastaan muuta mallintamaansa tietomallia siirtoformaattiin, vaan myös esikatsellee ja editoi. Esikatselun ja editoinnin tarkoituksena on varmistaa, että eteenpäin välitettävä siirtotiedosto oikeasti vastaa suunniteltua. Toisin sanoen varmistetaan tiedon laatu.

Vaikka siirtotiedoston tarkistaminen on hyvin tärkeää tiedon oikeellisuuden varmistamiseksi, markkinoilla on ollut tähän tarkoitukseen tarkoitettuja IFC-editoreja vasta varsin vähän aikaa. Varsin erikoista on, ettei mallinnohjelmissa pystytä tarkistamaan ja editoimaan siirtotiedosta. Tämä vakava puute korjattaneen tulevaisuudessa. Markkinoilta löytyy ainakin *simplebim*-niminen IFC-editori.

Tietosisältö käyttötarkoituksen mukaan

Tietomallipohjaisissa hankkeissa tiedonsiirrolle on oltava selkeästi määritelty tarkoitus, ja kohde. Edellytyksen taustalla on tarve vaatimusten määrittelylle ja niiden mukaisuuden ja luotettavuuden arvioimiselle sekä todentamiselle. Jotta tietomalleista saatavaa tietoa voitaisiin hyödyntää, sen luotettavuudesta on varmistuttava. Toimitusten todentamisen mahdollistamiseksi sopimuksissa on tarkoituksenmukaista määritellä vaatimukset vain tiettyyn käyttötarkoitukseen siirrettäville tiedoille eikä koko mallille. (Lehtinen 2012.)

Tiedonsiirron tarkoituksen määrittely mahdollistaa myös sen, että käsittelyyn voidaan ottaa mukaan ainoastaan määritellyssä tarkoituksessa oleellinen data. Näin päästään parempaan lopputulokseen, sillä on havaittu ylimääräisen tiedon aiheuttavan myös ylimääräisiä ongelmia. (Lehtinen 2012.) Esimerkiksi energia-analyysiin tarvitaan tyyppillisessä tapauksessa vain noin 15 % arkkitehdin tuottaman tietomallin datasta. Näin ollen loput 85 % datasta voitaisiin jättää siirtotiedoston ulkopuolelle, kun toimitettavan IFC-mallin käyttötarkoituksena on energia-analyysi.

Tietomallipohjaisen tiedonsiirron ei pidä olettaa toimivan täysin automaattisesti yhden napin painalluksella eikä ratkaisua sen haasteisiin ja ongelmiin pidä yrittää etsiä tiedonsiirtoformaateista. Ammattimaisella viestinnällä ja asianmukaisella esikatselulla voidaan varmistaa BIM-tiedonsiirron oleellisin asia eli se, että oikea tietosisältö löytyy oikeasta paikasta. Käytännössä tämä edellyttää osaavien ammattilaisten yhteistoimintaa uudennlaisilla toimintamalleilla.

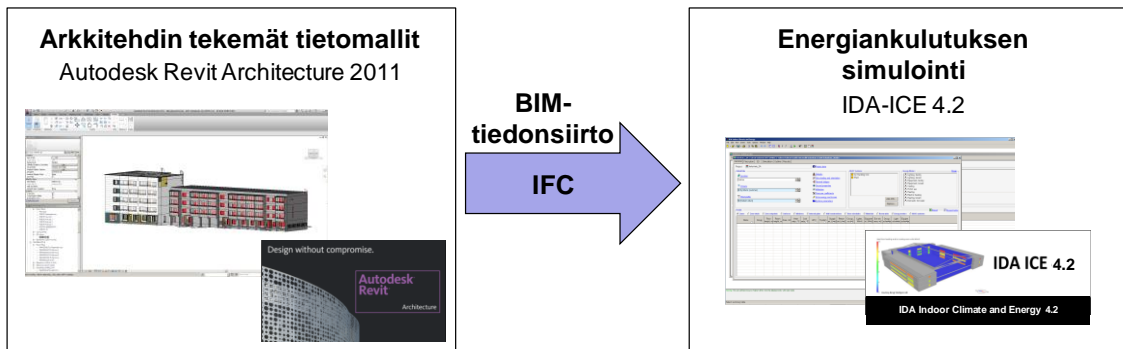
5.4. Case-sovellus: tietomalliavusteinen energia-analyysi

Tietomalleilla on lukuisia sovellutusmahdollisuuksia. Niiden avulla voidaan muun muassa parantaa suunnitelmien yhteensovittamista, visualisoida ja luoda virtuaalimaailmoja, tehostaa määrä- ja kustannuslaskentaa sekä tehdä energia-analyyssejä. EVAKO-hankkeessa tarkasteltiin tarkemmin projektin case-alueen arkkitehdin tekemien tietomallien hyödyntämistä energia-analyysien tekemisessä.

Ohjelmistoversioilla vaikutusta BIM-tiedonsiirtoon

Arkkitehti teki *Uudistuva Annala* –hankkeen 1-vaiheen suunnitelmat Revit Architecture –ohjelmistolla. Ensimmäisen kohteen (Ojavainionkatu 6) suunnitelmat tehtiin ohjelman vuoden 2009 versiolla, toisen kohteen (Takuvainionkatu 2) vuoden 2010 versiolla ja viimeisen kohteen (Kolunkatu 3) vuoden 2011 versiolla. Näin ollen hankkeen aikana voitiin seurata mallinnusohjelman kehityksen vaikutusta BIM-tiedonsiirtoon.

Energiasimulointiin käytettiin IDA-ICE –ohjelmaa. Myös IDA-ICE:stä ehdittiin kokeilla useampia versioita: aluksi käytössä oli ohjelman versio 4.0, mutta lopulliset simuloinnit tehtiin versiolla 4.2. *Kuvassa 5.5* on esitetty periaatekaavio tietomallien hyödyntämisestä hankkeen energia-analyysien tekemisessä.



Kuva 5.5. Periaatekuva arkkitehdin tekemien tietomallien hyödyntämisestä energia-analyseissä.

Tässä tapauksessa ohjelmistoversioilla osoittautui olevan selkeä merkitys tietomallipohjaisen tiedonsiirron sujuvuuteen. Revit Architecture vuoden 2009 versiosta mallinnukseen tarvittavien tietojen siirtäminen IDA-ICE:n versioon 4.0 ei onnistunut kovin hyvin. Sen sijaan Revit Architecture vuoden 2011 versiosta siirtotiedostot siirtyivät tässä tapauksessa IDA-ICE:n versioon 4.2 yllättävänkin helposti. Ainoastaan yhtä siirtotiedostoa jouduttiin muokkaamaan IFC-editorilla, kun suoraan siirretty tiedosto kaatoi IDA-ICE:n. Syyksi paljastuivat mallinnuksessa päällekkäin jääneet seinärakenteet. Päällekkäisten rakenteiden aiheuttama ristiriita oli helppo korjata ja tämän jälkeen alun perin ongelmallinen siirtotiedosto toimi moitteetta.

Toimivaa ja hyödyllistä, muttei täydellistä

Tässä tapauksessa arkkitehdin tekemät tietomallit osoittautuivat energia-analyysin kannalta varsin hyödyllisiksi. Tiedonsiirto toimi pääpiirteissään hyvin ohjelmistojen viimeisimmillä versioilla. Kuitenkin joitakin puutteita ilmeni:

- Kaikki ovet ja aukot eivät siirtyneet arkkitehdin tietomallista simulointiohjelmaan.
- Parvekkeet eivät siirtyneet juuri ollenkaan simulointiohjelmaan, vaan ne piti lisätä käsin.
- Curtain Wall –tyyppiset seinät siirtyivät simulointiohjelmaan umpiseininä ja ne täytyi muuttaa käsin ikkunoiksi/lasiksi.
- Kolunkatu 3:n toisen korjattavan rakennuksen pohjakerroksen käytävätilojen luomisessa ilmeni ongelmia.

Tietomallit nopeuttivat tässä tapauksessa energiasimuloinnin tekemistä merkittävästi. Mikäli ongelmia ei esiintynyt, arkkitehdin luoman tietomallin vieminen siirtotiedostoksi ja siirtotiedoston muokkaaminen simulointivalmiiksi kesti yhtä rakennusta kohden noin kaksi tuntia. Ongelmatilanteissa aikaa kuitenkin kului enemmän. Vastaavan simulointimallin luominen ”tyhjältä pöydältä” pohjakuvan perusteella vie vähintään yhden työpäivän, joten ajallinen säästö osoittautui merkittäväksi etenkin, kun simuloitavia rakennuksia oli useita. Varsinaiseen rakennuksen energiankulutuksen simulointilaskentaan käytössä olleelta tietokoneelta kului noin kolme tuntia yhtä rakennusta kohden. Esimer-

kiksi koko Takuvainionkatu 2:n (kolme rakennusta) tietomalliavusteisen energiasimuloinnin ajallisen säästön voidaan katsoa olleen noin kaksi työpäivää.

Näkökohtia tietomallintamiseen energia-analyysinäkökulmasta

IDA-ICE:ssa energiasimulointimalli luodaan tilaobjektien pohjalta, joten niiden siirtyminen siirtotiedoston mukana on ensisijaisen tärkeää. IDA-ICE etsii tilaobjektien ominaisuuksia vain yhdestä paikasta, joten vaarana on, että siirtotiedostovaiheessa ne joutuvat eri paikkaan, kuin mistä simulointiohjelma etsii niitä. Tämän vuoksi energia-analyysikäyttöön tarkoitetut siirtotiedostot tulisi esikatsella IFC-editorilla ja siirtää tilaobjektien ominaisuustiedot tarvittaessa oikeaan paikkaan.

Mallinnusvaiheessa tilat pitäisi mallintaa siten, että ne rajautuvat automaattisesti niitä rajaaviin pintoihin. Energiasimuloinnin kannalta olisi myös hyvä, mikäli rakennus mallinnettisiin ns. kerroksittain eli kerrosten välillä jatkuvat tilat, kuten hissikuilu tai porras, katkaistaisiin kerroskohtaisesti. Tällöin jokaiseen kerrokseen syntyy kyseiselle tilalle oma tilaobjektinsa, jotka voidaan simulointimallissa yhdistää yhdeksi ilmatilaksi (Järviö 2011, s. 6).

Joidenkin energiasimulointiohjelmien (esim. Riuska) toiminta perustuu tilaobjektien sijaan ns. space boundaryihin. IDA-ICE –simuloinnin kannalta niillä ei kuitenkaan ole merkitystä ja niiden käyttöä tulisi pikemminkin välttää. Hankkeessa käytettävän simulointiohjelman erityisvaatimuksiin kannattanee perehtyä hyvissä ajoin, jotta turhilta ongelmilta vältyttäisiin. Tässä asioita on tarkasteltu IDA-ICE –simuloinnin näkökulmasta.

Arkkitehdin tuottaman suunnittelumallin sisältämästä tiedosta noin 15 % on oleellista energia-analyysin kannalta. Energiasimulointi onnistuu parhaiten, kun siirtotiedostosta on karsittu turhat osat pois. Esimerkiksi Insinööritoimisto Olof Granlund Oy:n julkaisemissa kokemusperäisissä energiasimulointiohjeissa on todettu mallinnuksen siirtyvän simulointiohjelmaan sitä varmemmin, mitä yksinkertaisemmin mallinnus on tehty (Järviö 2011, s. 5). Vaihtoehtoja tietomallin tuomiseksi energiasimulointiohjelmaan on periaatteessa kaksi:

1. Viedään suunnittelumallista siirtotiedostoon ainoastaan energia-analyysin kannalta tarpeelliset objektit.
2. Viedään siirtotiedostoon koko suunnittelumalli ja karsitaan siitä IFC-editorilla (simplebim) energiasimuloinnin kannalta turhat osat pois.

Kumpaa tahansa edellä mainituista tavoista päätetään hyödyntää, siirtotiedoston esikatselminen IFC-editorilla on tarpeellista, jotta voidaan olla varmoja siirrettävän tiedon laadusta ja oikeellisuudesta.

Tilaobjektien lisäksi suunnittelumallista energiasimulointikäyttöön tarkoitettuun siirtotiedostoon tarvitaan tilojen tunnistetiedot, ikkunoiden ja ovien tunnistetiedot sekä rakennetyypit. IDA-ICE:ssa kunkin rakenteen rakennekerrokset niputetaan yhdeksi termi-

seksi rakenteeksi ja U-arvot on syötettävä simulointimalliin käsin. Rakenteiden U-arvojen lisäksi energiankulutussimulointia varten pitää syöttää tiedot huoneiden ilmamäärästä.

Simuloinnilla varovaisempia säästövaikutuksia

Tietomalliavusteisten energiasimulointien lisäksi hankkeessa tehtiin Annalan case-alueen kohteiden energiankulutuslaskelmat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti DOF-Energia 2.0.11 –ohjelmalla. *Taulukossa 5.1* on esitetty esimerkkinä eri energiansäästötoimenpiteiden laskennallisia vaikutuksia, mikäli ne toteutettaisiin Kolunkatu 3:n rakennuksen ABC perusparannuksen yhteydessä. Taulukkoon on koottu sekä IDA-ICE:n simulointien perusteella selvitetty säästövaikutukset että DOF-Energian laskelmien antamat tulokset.

Taulukko 5.1. *Toimenpiteiden energiansäästövaikutukset Kolunkatu 3 ABC:ssä. Toimenpiteiden vaikutukset on selvitetty sekä RakMk:n osan D5 mukaisesti DOF-Energialla laskemalla että IDA-ICE:llä simuloimalla. Tulosten välillä on selkeä ero.*

Kolunkatu 3 ABC: lämmitysenergian säästö [MWh/a]		
Toimenpide	RakMk D5	IDA-ICA
US lisäeristys 50 mm		
U=0,35 → U=0,25	12	9,3
US lisäeristys 100 mm		
U=0,35 → U=0,20	19	13,3
U=0,25 → U=0,20	7	4,1
Uudet ikkunat U=1,2		
U=1,8 → U=1,2	20	14,1
Uudet ikkunat U=1,0		
U=1,8 → U=1,0	26	19,1
U=1,2 → U=1,0	6	5,0
Uudet ikkunat U=0,85		
U=1,8 → U=0,85	31	23
U=1,2 → U=0,85	11	8,7
U=1,0 → U=0,85	5	3,7
Parvekelasitus	-	13,2
Tulo-/poisto-IV + LTO 60%	60	31,5

Taulukon 5.1 luvut näyttävät, että IDA-ICE:llä saadut energiansäästövaikutukset ovat pienempiä kuin DOF-Energialla lasketut säästövaikutukset. Tämä sama havainto tehtiin myös muihin case-rakennuksiin tehtyjen laskelmien kohdalla. Osaltaan erot selittyvät sillä, että ohjelmien laskennassa käytettiin eri säätiedostoja, mutta läheskään koko eroa tuloksissa tämä ei riitä selittämään.

Käytäntö on osoittanut, että RakMk:n osan D5 mukaan korjauskohteisiin lasketut säästöt ovat usein suurempia kuin mitä käytännössä saavutetaan. Osasyynä tähän lienee laskennassa käytettävien ilmanvaihtomäärien poikkeaminen todellisista. Ennen kuin todel-

linen energiankulutus voidaan todeta mittaamalla, voidaan kuitenkin vain arvailla, vastaavatko simulointiohjelmalla saadut säästöt paremmin todellisuutta.

IDA-ICE:ssa syötettävien parametrien määrä on huomattavan paljon suurempi kuin DOF-Energialla tehdyissä laskelmissa. Näin ollen oikeilla parametreilla voitaneen päästä tarkempaan lopputulokseen. Toisaalta samalla myös virhemahdollisuus kasvaa. Menetelmästä riippumatta energialaskentaan liittyy aina epävarmuutta ja täysin tarkkoihin tuloksiin lienee mahdotonta päästä. Hiljattain Ruotsissa julkaistun opinnäytetutkimuksen tuloksissa todettiin energiasimulointeihin liittyvän jopa 29 % epävarmuus (Carlsson 2012, s. ii). Energiankulutuksen todentamiseen liittyvän mittauksen merkitys korostuu pyrittäessä selvittämään ja pienentämään laskentaan liittyviä epävarmuustekijöitä. Nollaenergiatason vaatimusten lähestyessä varaa suuriin poikkeamiin laskennan ja todellisuuden välillä ei ole.

Rohkaisevia kokemuksia

Nykyisen konsensuksen mukaan energiasimulointeihin parhaiten soveltuvaa IFC-dataa tuottaa ArchiCAD. Tässä hankkeessa saadut kokemukset osoittavat kuitenkin, että Autodesk Revit Architecturella tehtyjen suunnittelumallien sisältämää dataa on mahdollista siirtää sujuvasti energia-analyysikäyttöön. Tässä hankkeessa saadut kokemukset BIM-tiedonsiirrosta ja tietomallien hyödyntämisestä osoittautuivat myönteisiksi ja rohkaiseviksi. On kuitenkin hyvä muistaa, että aina kokemukset eivät ole näin myönteisiä.

5.5. Tietomalleilla kohti parempia päätöksiä

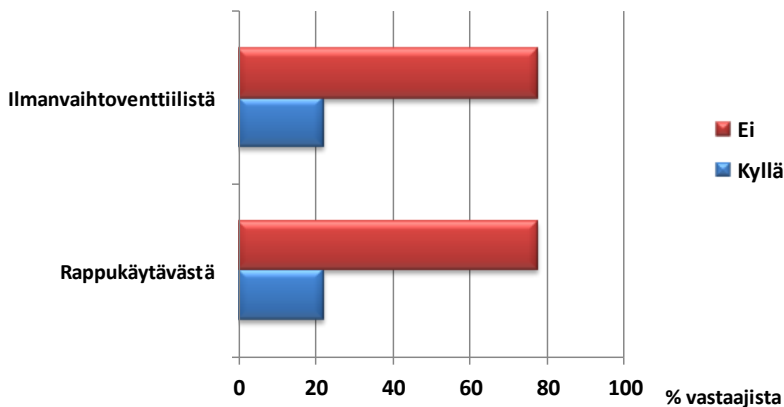
Tietomalleja ja tietomallipohjaista tiedonsiirtoa hyödyntämällä on mahdollista kehittää rakennusten eri elinkaaren vaiheisiin liittyviä päätöksentekoprosesseja. Mikäli hankkeen eri osapuolilla on valmiudet tietomallien hyödyntämiseen, tarkastelujen tekemiseen ja tiedon tuottamiseen suunnitteluprosessin aikana avautuu uudenlaisia mahdollisuuksia. Vaihtoehtojen vertailu helpottuu, jos päätöksentekijöiden käytettävissä on havainnollista tietoa eri suunnitteluratkaisujen vaikutuksista. Tämä on tervetullut kehityssuunta, sillä kustannuksia sitovia päätöksiä joudutaan tekemään jo suunnitteluprosessin varhaisessa vaiheessa. Nykyisin päätöksiä joudutaan tekemään ilman riittävää tietoa eri ratkaisujen vaikutuksista.

Tietomallipohjaista tiedonsiirtoa hyödynnettäessä on muistettava, että tiedonsiirron tarve lähtee päätöksenteon tuesta ja päätöksenteon kautta päästään siihen, mitä ja miten kannattaa mallintaa. Siirrettävän tiedon luotettavuuden ja laadun merkitystä ei voi ylikorostaa, sillä ilman niitä ei ole luotettavia analyysejä, luotettavia päätöksiä, tiedonsiirron etuja tai ennen pitkään edes liiketoimintaa. BIM-tiedonsiirrossa on ennen kaikkea kyse ammattimaisesta viestinnästä, joka voi oikealla tavalla toteutettuna osoittautua merkittäväksi avuksi päätöksenteossa.

6. Ilmatiiviys osana viihtyisyyttä

Osana EVAKO-hanketta oli asuntojen asumismukavuuden parantaminen. Tutkimushankkeen yhteydessä toteutetussa asukasviihtyvyysskyselyissä kävi ilmi, että naapureista kantautuvat hajut ja melu olivat usein mainittuja ongelmia. Reilu viidesosa kyselyyn vastanneista vastasi asuntoon tulleen hajuhaittoja rappukäytävästä ja ilmanvaihtoventtiilistä (kuva 6.1).

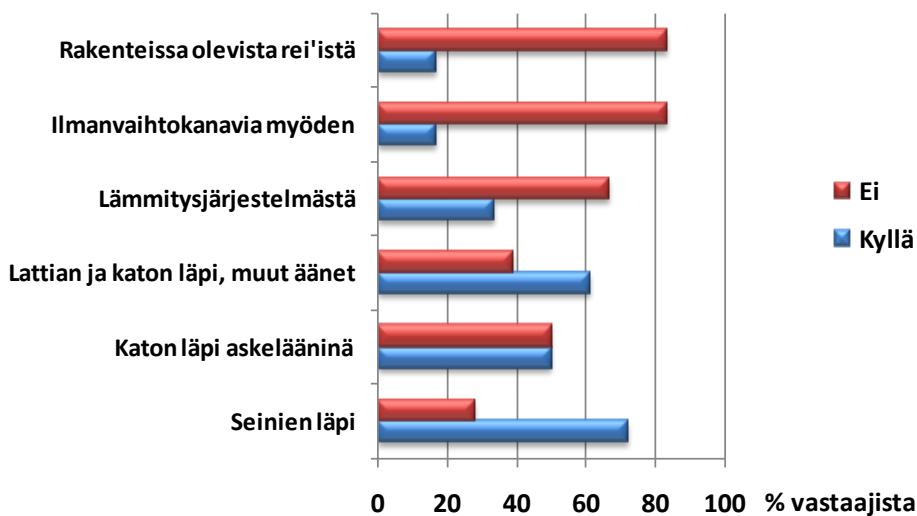
Onko asuntoonne tullut hajuhaittoja?



Kuva 6.1. Hajuhaittojen kokeminen Takuvainionkatu 2:ssa.

Valtaosa kyselyyn vastanneet pitivät ääneneristystä joltakin osin puutteellisena. Häiritseviä ääniä todettiin kuuluvan erityisesti seinien läpi (kuva 6.2).

Kuuluuko muualta rakennuksesta häiritseviä ääniä?



Kuva 6.2. Häiritsevien äänien kokeminen Takuvainionkatu 2:ssa.

Koska ainakin osasyynä haju- ja meluhaittojen kokemiseen oli asuntojen välisten rakenteiden puutteellinen tiiviys, tarve löytää tutkimusmenetelmä rakennuksen ns. sisäisen tiiviyn mittaamiseksi oli ilmeinen. Alun perin RUSTI-hankkeena (*Rakennusten sisäinen ja ulkoinen tiiviys asukkaiden tuntemaan viihtyvyyden kasvattajina*) tunnettu osuus sisällytettiin EVAKO-hankkeeseen osaksi viidettä osatehtävää. Toteutetun tiiviysmittausosuuden tulokset on raportoitu pääpiirteissään tässä luvussa. Tätä lukua täydentävä perusteellisempi esitys tiiviysmittaustulosten analysoinnista löytyy *liitteestä 5*, jossa on

- havainnollistettu tehtyihin tiiviysmittauksiin liittyvää laskentaa,
- esitetty yksityiskohtaisemmat tulokset ennen perusparannusta ja sen jälkeen toteutetuista tiiviysmittauksista,
- tehty mittaustulosten virhearviointi sekä
- analysoitu mittauksiin liittyneitä rajoituksia ja ongelmia.

6.1. Ilmatiiviyn mittaaminen

Rakennuksen ulkovaipan tiiviyttä voidaan mitata suhteellisen yksinkertaisesti ja luotettavasti standardin (SFS-EN 13829 2000) mukaisella painekoemenetelmällä. Siinä tarkoitukselliset ilman kulkureitit kuten ilmanvaihtokanavat suljetaan ja rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välille luodaan paine-ero ulko-oven aukkoon asennettavalla tietokoneohjatulla painekoelaitteistolla. Laitteiston puhaltimen läpäisemä ilmavirtaus mitataan vähintään viidellä eri paine-erolla ja ohjelmiston luomalta regressiokäyrältä tulokseksi saadaan 50 Pa paine-eroa vastaava ilmavirtaus. Ilmavuotoluku n_{50} lasketaan jakamalla tämä ilmavirtaus rakennuksen sisätilavuudella. Ilmavirtaus voidaan myös jakaa rakennuksen ulkovaipan pinta-alalla, jolloin saadaan toinen rakennuksen ilmanpitävyyden vertailuarvo, ns. q_{50} -luku.



Kuva 6.3. Paineekoelaitteisto parvekkeen oveen asennettuna.

Jos painekoe tehdään yksittäisessä asunnossa, ilmavuotoa tapahtuu sekä ulkovaipan ja sen liitosten että muihin asuntoihin rajoittuvien rakennusosien kautta. Varsinkin välipohjien ja -seinien läpi kulkevat LVIS- ym. asennuskuilut ja -roilot ovat usein huomattavia ilmavuodon reittejä eli sisäistä tiivyyttä heikentäviä tekijöitä. Tavanomaisella painekoemenetelmällä eri vuotoreittejä ja niiden osuutta kokonaisilmavuodosta ei kuitenkaan pystytä erottamaan. Tampereen teknillisen yliopiston rakennusfysiikan tutkimusryhmässä ryhdyttiin kehittämään menetelmää, jossa painekoelaitteiston avulla voitaisiin löytää sisäiseen tiivyyteen vaikuttavia tekijöitä sekä arvioida, kuinka suuri merkitys niillä keskenään on.

Ilmavuodon suhteellisten osuuksien määrittämiseen on kehitetty kokeellisia menetelmiä, kuten usean puhaltimen painemenetelmä (multiple fan pressurization technique) (Levin 1988) tai tasapainotettu alipainemenetelmä (balanced fan depressurization method) (Reardon et al. 1987). Nämä ovat kuitenkin valmisteluiltaan vaativia ja aikaa vieviä määrittystapoja, jotka eivät ole yleisessä käytössä. Nyt haluttiin löytää suhteellisen yksinkertainen mittaustapa, joka sopisi kenttäolosuhteisiin ja joka voitaisiin toteuttaa käytössä olevilla kahdella Minneapolis Blower Door –painekoelaitteistolla (kuva 6.3).

6.2. Käytetty mittausmenetelmä

Mittaussuunnitelmaa laadittaessa päädyttiin menetelmään, jossa tiivyyteen mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä eliminoidaan tiivistysteippauksella yksi kerrallaan niin, että niiden osuus kokonaisilmavuodosta pystytään määrittämään laskennallisesti ja näin arvioimaan niiden osuutta sisäiseen tiivyyteen.



Kuvat 6.4 ja 6.5. Tiivistysteippauksia tehdään ikkunoihin ja ulkovaipan liitoksiin.

Mittaustuloksista pyrittiin laskennallisesti selvittämään eri rakenneosien osuudet asunnon ilmavuodon kokonaismäärästä, samoin kuin sisäisten vuotojen osuus ja mahdollisesti myös tyypilliset vuotoreitit. Ensimmäiset mittausarjat suunniteltiin mahdollisimman kattaviksi; tarkoitus oli myös kehittää mittausmenetelmää arvioimalla eri mittaus-

variaatioiden tarpeellisuutta. Lähtöoletuksena oli, että osa alkuperäisistä variaatioista voitaisiin karsia pois ja näin yksinkertaistaa mittausmenettelyä ilman, että menetelmän luotettavuus kärsisi.

Mittausvariaatiot jakautuivat kahteen eri päätyyppiin: huoneistokohtaiset mittaukset (A – G) ja kahdessa (tai useammassa) huoneistossa ja/tai porraskäytävässä tehtävät ns. vastapainemittaukset (H).

Kun mittauslaitteisto asennetaan mitattavan kokonaisuuden, esim. asunnon, ulos johtavaan oviaukkoon, kyseisen aukon läpi ei kulje vuotoilmaa. Oven tiiviyydestä riippuen tällä voi olla merkittävä vaikutus tiiviysmittauksen lopputulokseen. Jotta oven osuus saataisiin näkyviin, mittaukset tehtiin sekä asunnon porraskäytävään johtavan ulko-oven että parvekeoven kautta.

Huoneistokohtaiset mittaussarjat olivat seuraavanlaiset:

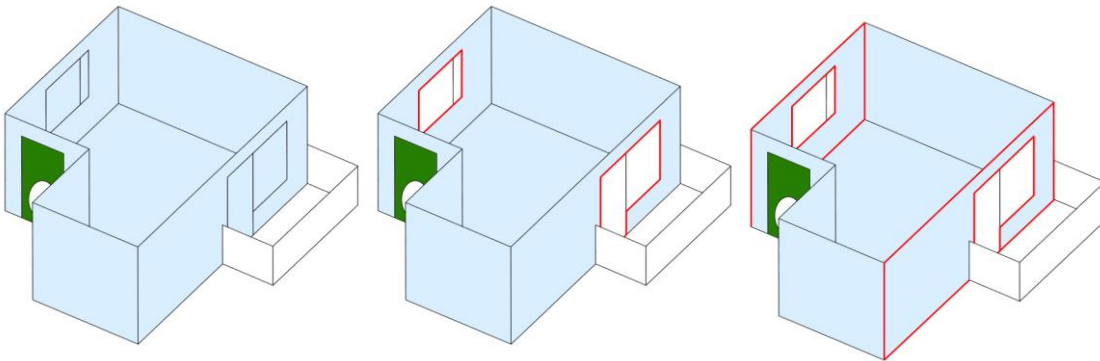
Taulukko 6.1. *Mittausvariaatiot.*

MITTAUS	TIIVISTYKSET	TAVOITE
Mittauspiste porraskäytävän ovesa		
A	Ilmanvaihdon reitit; normaali painekoe	Asunnon kokonaisilmavuodon määrittäminen
B	Edellisen lisäksi ikkunat ja parvekeovi	Ikkunoiden ja parvekeoven osuus kokonaisilmavuodosta
C	Edellisen lisäksi ulkovaipan liitokset	Ulkovaipan liitosten osuus kokonaisilmavuodosta
Mittauspiste parvekevessa		
D	Ilmanvaihdon reitit; normaali painekoe	Vertailumateriaalia A-mittaukseen, parvekeoven osuus kokonaisilmavuodosta
E	Edellisen lisäksi ikkunat ja parvekeovi	Vertailumateriaalia B-mittaukseen
F	Edellisen lisäksi ulkovaipan liitokset	Vertailumateriaalia C-mittaukseen
G	Edellisen lisäksi porraskäytävän ovi	Porraskäytävän oven osuus kokonaisilmavuodosta
H	Ilmanvaihdon reitit, rajoituksissa sisätiloissa vastapaine	Huoneiston ulkovaipan osuus kokonaisilmavuodosta

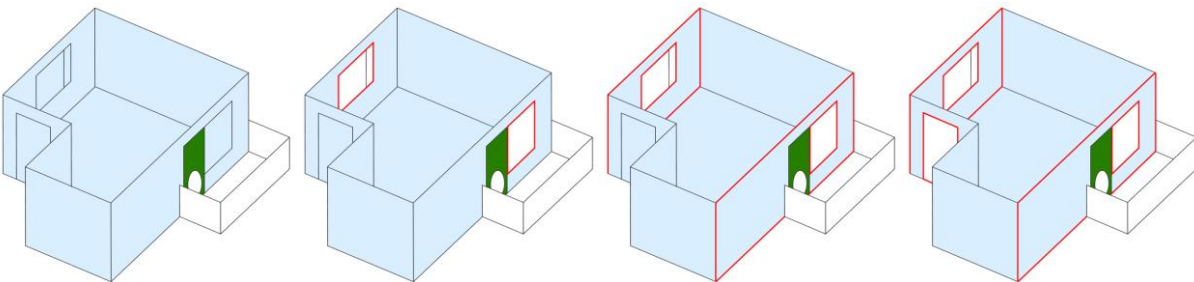
Kaikki huoneistokohtaiset mittaukset tehtiin sekä ali- että ylipainekokeella, joiden keskiarvo oli lopullinen mittaustulos.

Mittaukset A – G ovat tavanomaisia painekokeita, joiden tuloksissa on mukana sekä ulkovaipan läpi tapahtuvaa että rakennuksen sisäistä ilmavuotoa. Alkuperäisen tavoitteen eli sisäisten ilmavuotojen osuuden määrittämiseksi tarvittiin toisenlaista mittausta-

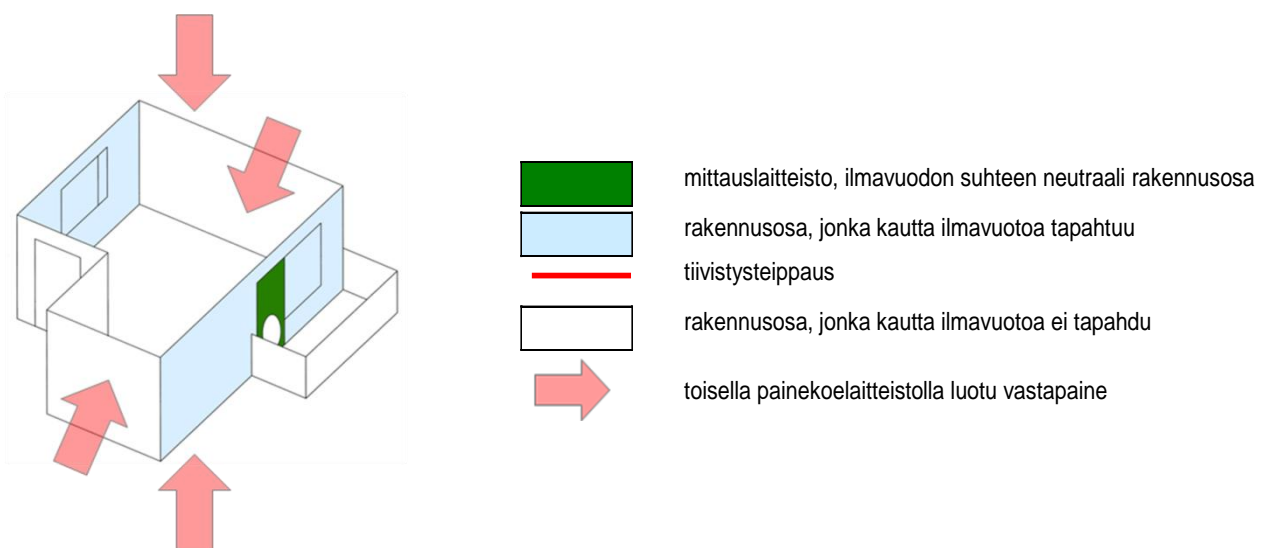
paa, vastapainemittausta. Se on periaatteiltaan samanlainen kuin Levinin (1988), Reardon et al.:n (1987) ja Fürbringer et al.:n (1988) kehittämät ”guarded zone” -menetelmät. Mitattavassa asunnossa tehdään painekoe normaaliin tapaan. Asuntoa rajaaviin tiloihin – naapuriasuntoihin sekä porraskäytävään – luodaan toisella painekoelaitteistolla vastaava paine kuin mikä mitattavassa asunnossa kulloinkin mittauksen aikana vallitsee. Tällöin sisäistä vuotoa rajaavien rakennusosien läpi ei synny, vaan kaikki asunnossa mitattu vuoto on ulkovaipan läpi tapahtuvaa.



Kuva 6.6. Mittaukset A – C, mittauspiste porraskäytävän ovesa.



Kuva 6.7. Mittaukset D – G, mittauspiste parvekkeen ovesa.



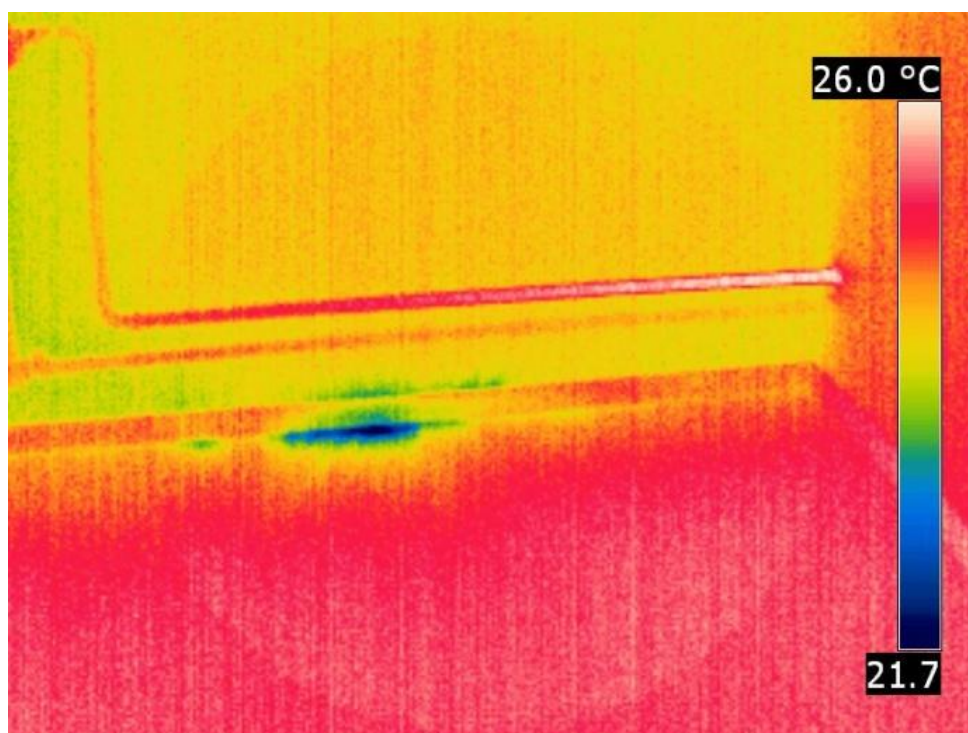
Kuva 6.8. Mittaus H, vastapaine.

6.3. Mittausten suoritus

Sisäisen tiiviyyden kenttämittaukset tehtiin kahdessa Annalan case-alueen talossa (Takuvainionkatu 2 A–C ja Takuvainionkatu 2 E–G). Molemmat rakennukset ovat v. 1978 rakennettuja kolmikerroksisia betonielementtirakenteisia kerrostaloja, joista toisessa oli 21 ja toisessa 27 asuntoa. Rakennuksissa tehtiin kesällä 2010 mittavia korjauksia, minkä vuoksi ne tyhjennettiin asukkaista toukokuussa 2010. Ensimmäisen vaiheen tiiviysmittaukset ajoittuivat ajanjaksolle, jolloin asunnot olivat tyhjiällä ennen korjaustöiden alkamista. Vastaavasti korjausten jälkeiset seurantamittaukset tehtiin korjausten valmistuttua, ennen asukkaiden muuttoa uusittuihin asuntoihin.

Mittaukset pyrittiin suorittamaan tyhjiällä olevissa taloissa, koska varsinkin vastapainemittaukset edellyttävät samanaikaista toimintaa useissa asunnoissa. Kireät ja muuttuvat aikataulut aiheuttivat ongelmia ja mittauksia jouduttiin molemmissa vaiheissa karsimaan alkuperäisistä suunnitelmista. Toukokuussa 2010 12 asunnossa tehtiin mittausvariaatiot A – G, mutta vain neljässä voitiin tehdä koko suunniteltu mittausarja A – H. Kolmessa asunnossa tehtiin standardimittaus D:n ja vastapainemittaus H:n yhdistelmä. Mittausarja A – G vei tiivistysteippauksineen aikaa noin yhden työpäivän asuntoa kohti.

Varsinaisen painekokeen lisäksi kussakin asunnossa pidettiin yllä n. 15 minuutin mittaisia 50 Pa:n alipainejaksoja, joiden aikana etsittiin ja tarkasteltiin mahdollisia ilmavuotokohtia. Etsintää tehtiin aistinvaraisesti eli vedontunteen perusteella sekä merkisavujen ja lämpökameran avulla. Joissakin tapauksissa havaittujen ilmavuotojen suuruutta tarkasteltiin anemometrin avulla.



Kuva 6.9. Lämpökameralla havaittu ilmavuoto ulkoseinän ja välipohjan liitoksessa.



Kuva 6.10. Postiluukun ilmapuodon määrittystä anemometrillä.

Tyypillisiä ilmapuotokohtia ennen korjauksia olivat ikkunat, ovet ja varsinkin asuntojen ulko-ovien postiluukut. Useissa tapauksissa postiluukku vaikutti olevan jopa asunnon pääasiallinen tuloilman lähde. Sisäisen tiiviyden suhteen ongelmallisimpia olivat asunnosta toiseen kulkevien LVIS-putkitusten kulkureitit, joissa havaittiin huomattavia ilmapuotoja. Joissakin tapauksissa vuotoa tapahtui ulkoilmasta asuntojen väliseen seinään ja siitä sähkö- ja antennirasioiden kautta asuntoon.



Kuva 6.11. Anemometrin mittaama ilmapuotoa 0,83 m/s osoittaa ilmapuotoa tapahtuvan mm. tiskipöydän alla kulkevien putkitusten kautta.



Kuva 6.12. Antennirasian ilmavuoto merkisavun avulla todennettuna.

Asuntokohtaiset korjaukset käsittivät mm. ovien ja ikkunoiden vaihdon sekä tuloilmanvaihdon tehostamisen lämpöpatterien taakse sijoitettavilla raitisilmaventtiileillä. Lisäksi uusittiin kalusteita ja pintamateriaaleja, mikä ei kuitenkaan vaikuttanut oleellisesti tiivysolosuhteisiin.

Seurantamittaukset tehtiin korjausten päätyttyä kesäkuussa 2011. Nytkin aikataulua kiristi asukkaiden nopea muuttaminen sisään mahdollisimman pian työmaan valmistuttua. Mittauksia tehtiin 13 huoneistossa, joista 11 oli mitattu myös ennen korjauksia. 8 asunnossa voitiin tehdä sama mittaussarja sekä aloitusvaiheen että seurantamittauksissa. Neljässä asunnossa ehdittiin tehdä mittaussarja A – G molemmissa vaiheissa ja vain yhdessä täysi sarja A – H vastapainemittauksineen.

Tiivysmittaustuloksia on analysoitu tarkemmin *liitteessä 5*.

6.4. Ilmatiiviys voi olla oletettua hankalampi asia

EVAKO-hankkeen tiivysmittausosuuden alkuperäisenä tavoitteena oli arvioida kerrostalon asuntojen välistä sisäistä tiiviyyttä, ilmanvuotoreittejä ja niiden keskinäisiä osuuksia. Siinä suhteessa tulokset jäivät hieman vaatimattomiksi, sillä menetelmällä pystyttiin arvioimaan lähinnä ulkovaipan rakenneosien ja käytävänoven vuoto-osuuksia määrittelemättömän vuodon osuuden jäädessä edelleen varsin suureksi. Osa tästä määrittelemättömästä ilmavuodosta on sisäistä vuotoa.

Ulkovaipan rakenneosien suhteen projekti osoittautui valaisevaksi. Erityisesti ennen korjauksia ja niiden jälkeen tehtyjen mittausten vertailuun menetelmä tuntuu sopivan hyvin. Jos mittauksia voitaisiin tehdä enemmän niin, että tulosten tilastollinen tarkkuus paranisi, aineiston perusteella voitaisiin tehdä myös syvemmälle meneviä analyyseja.

Mittaustulokset osoittivat, että käytävien ovet toimivat osittain koneellisen poistoilmajärjestelmän korvausilmareitteinä eli toisin sanoen niiden ilmatiiviys on huono. Tämä huonontaa sisäilman laatua (hajut, melut, painesuhteet), mikä oli nähtävissä myös toteutetun asukasviihtyvyysskyselyn tuloksista. Siirryttäessä koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään sisäisen tiiviyden pitää olla hyvä, jotta ylimpien kerrosten asuntoihin ei tule ylipaineongelmia. Tällöin myös rappukäytävän ovien pitäisi olla ilmatiiviiä. Rappukäytävän oven tiivydellä on myös oleellinen vaikutus savukaasujen kulkeutumiseen tulipalotilanteessa.

Rakennuksen puutteellinen sisäinen ilmatiiviys on ainakin yksi osasy s hajuja ja äänien kulkeutumiseen ja näyttäisi siltä, ettei sen merkitystä korosteta nykyisin riittävästi. Ilmatiiviys saattaa olla oletettua hankalampi asia eikä sitä ehkä vielä käytännössä ymmärretä riittävän hyvin. Viihtyisyysvaikutustensa lisäksi ilmatiiviys on energiatalouden kannalta merkittävä tekijä.

7. Yhteenveto ja johtopäätökset

Lähiökorttelikorjaamisen taloudellinen päätöksenteon hallitseminen on haastava kokonaisuus, jossa on pystyttävä huomioimaan lukuisia tekijöitä. Tässä hankkeessa keskityttiin tarkastelemaan päätöksentekoa vuokrataloyhtiöiden näkökulmasta, mutta saavutettujen tulosten soveltaminen myös muihin päätöksentekoympäristöihin on mahdollista.

Raportissa on nostettu esille lähiöasumisen edullisuuden, viihtyisyyden ja energiatehokkuuden kannalta oleellisia tekijöitä. Oleellisten tekijöiden tunnistaminen on tärkeää, jotta ne osataan huomioida päätöksenteossa ja voidaan minimoida ikävien yllätyksien mahdollisuus tulevaisuudessa. EVAKO-hankkeessa kehitettyjen työkalujen lähtökohdanna on, että niiden hyödyntäjä voi asettaa haluamansa tavoitteet ja käyttää esitettyjä menetelmiä apuna tavoitteidensa mukaisen optimaalisen lopputuloksen hakemiseen. Päätöksenteon apuvälineiksi tarjotuilla työkaluilla ja menetelmillä ei pystytä ratkaisemaan koko päätöksenteon ongelmakenttää, mutta ne tarjoavat konkreettista apua käytännön päätöksentekotilanteisiin ja mahdollistavat päätöksentekoprosessin kehittämisen systemaattisemmaksi.

Hankkeessa analysoitiin lähiökorttelikorjaamiseen liittyvää päätöksentekoa Tampereen Annalassa sijaitsevalla case-alueella. Tehtyjen case-havaintojen perusteella päätöksenteossa esille nousseet tekijät ryhmiteltiin kuuden suuremman kokonaisuuden alle, jotka olivat:

- kannattavuus,
- energiatehokkuus,
- toimivuus ja käytettävyys,
- viihtyisyys ja turvallisuus,
- viranomaismääräykset yms. ja
- muut toteutuksen reunaehdot.

Ryhmitellyt kokonaisuudet eivät ole täysin erillisiä, vaan ne limittyvät toistensa suhteen: esimerkiksi energiatehokkuus vaikuttaa väistämättä myös kannattavuuteen ja toisaalta kannattavuus siihen, kuinka energiatehokkaita ratkaisuja ollaan valmiita toteuttamaan. Näin ollen esimerkiksi energiatehokkuuden käsittely päätöksenteossa omana erillisenä kokonaisuutena ei ole mahdollista, vaan se on huomioitava osana laajempaa kokonaisuutta.

Tämän projektin resurssien puitteissa todellisen päätöksenteon analysoinnissa ei voitu mennä vielä kovin syvälle ja jatkohankkeissa voisikin olla hyödyllistä ja mielekästä tarkastella päätöksenteon dynamiikkaa esimerkiksi systeemianalyysin avulla.

Päätöksentekoprosessi

Konkreettiseksi päätöksenteon työkaluksi esitetään raportin *kappaleessa 2.3* kuvattua systemaattista päätöksentekoprosessia. Esitetyn mukaista menettelyä noudattamalla voidaan päästä kokonaistaloudellisesti mahdollisimman edullisiin ratkaisuihin. Prosessi jakautuu viiteen vaiheeseen, jotka ovat:

- hankkeen perustiedot ja valintoihin vaikuttavat tekijät,
- perusratkaisun suunnittelu,
- järjestelmävaihtoehtojen valinta järjestelmätasolla,
- energiansäästötoimenpiteiden valinta rakenne- ja laitetasolla (energiansäästötoimenpiteiden kannattavuusmalli) ja
- kokonaisuuksien edullisuusvertailu ja päätöksenteko.

Energiansäästötoimenpiteiden valintaan rakenne- ja laitetasolla (vaihe 4) suositellaan käytettävän *luvussa 3* esitettyä energiansäästötoimenpiteiden kannattavuusmallia, joka mahdollistaa toimenpiteiden kannattavuuden havainnollisen tarkastelun. Mallin avulla voidaan tarkastella toimenpiteiden taloudellisia vaikutuksia, energiankulutusvaikutuksia sekä vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin. Tarkastelu voidaan laajentaa rakennustasolta esimerkiksi korttelitasolle, jolloin voidaan tutkia kerralla laajempaa kokonaisuutta, mikä mahdollistaa käytettävissä olevien resurssien kohdistamisen mahdollisimman tehokkaasti.

Kannattavuus ja energiatehokkuus

Tehdyt tarkastelut osoittivat, että taloudellisesti kannattaviakin energiansäästötoimenpiteitä on olemassa. Kuitenkin sekä rakennus- että korttelitasolla merkittävien säästövaikutusten saavuttamisen edellytyksenä on, että hyväksytään, ettei energiansäästötoimenpiteille voida asettaa kovin korkeaa taloudellista tuottovaatimusta. Energiansäästötoimenpiteiden toteuttamista mietittäessä on myös tärkeää muistaa, että taloudellisen kannattavuuden vuoksi ne on tärkeää toteuttaa mittavan perusparannuksen yhteydessä, sillä toteuttaminen erikseen tulee huomattavasti kalliimmaksi. Sen vuoksi päätöksiä tehtäessä on tärkeää katsoa riittävän pitkälle tulevaisuuteen. Jos energiatehokkuuden parantamismahdollisuus jätetään käyttämättä perusparannuksen yhteydessä, saatetaan sulkea energiatehokkuuden taloudellisesti järkevän parantamisen mahdollisuus 30–40 vuodeksi. On syytä huomata myös, että nyt tehdyllä valinnalla voi olla merkittävä vaikutus rakennuksen arvoon tulevaisuudessa.

Nykyisillä energian hinnoilla energiakustannusten osuus vuokrasta on suuruusluokkaa 10–20 %. Energian hintojen noustessa energiakustannusten osuus vuokrasta kasvaa ja vuokrankorotuspaineet lisääntyvät. Vaikka energiakustannukset muodostavat elinkaari-

taloudellisesti merkittävän menoerän ja tulevia vuokrankorotuspaineita voidaan hillitä energiatehokkuutta parantamalla, energiatehokkuus näyttäisi kuitenkin helposti jäävän suunnittelussa muiden asioiden varjoon. Näin ollen kansallisiin ja kansainvälisiin energiatehokkuustavoitteisiin pääseminen tulee vaatimaan korjaamisessa uudenlaista suunnittelun ohjausta.

Energialaskenta

Koska energiansäästöjen ja energiansäästötoimenpiteiden aiheuttamien lisäkustannusten määrittämiseen liittyy aina merkittävää epävarmuutta, on syytä muistaa, että tulokset ovat suuntaa-antavia eivätkä absoluuttisia totuuksia. Hankkeen yhteydessä vertailtiin kahden vaihtoehdoisen energiankulutuslaskennan antamia tuloksia ja näyttäisi siltä, että Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaisesti DOF-Energialla lasketut energiansäästöt saattavat olla todellista suurempia. IDA-ICE –simuloinnilla saadut säästövaikutukset osoittautuivat maltillisemmiksi ja aiemman kokemuksen perusteella näyttäisivät vastaavan paremmin todellisia säästöjä. Yleispäteviä johtopäätöksiä tässä yhteydessä tehtyjen vertailujen pohjalta ei kuitenkaan voida tehdä. Yleispätevien tulosten saamiseksi täytyisi tehdä huomattavasti laajempi, tarkempi ja perusteellisempi vertailu, johon liittyy myös saavutettujen energiansäästöjen todentaminen riittävän tarkan kuluksmittauksen avulla. Sellaisen toteuttamiseen ei ollut tämän hankkeen puitteissa resursseja. Erilaisista laskentaohjelmista johtuva yleinen hajonta energialaskennan tuloksissa on kuitenkin ongelma.

Koska tapaukset vaihtelevat, yleispäteviä laskelmia ei voida tehdä, koska ne eivät kuvaa todellisuutta riittävän luotettavasti. Sen sijaan on tärkeää kehittää tapauskohtaisia tarkasteluja varten hyviä laskentamenetelmiä ja havainnollisia esitystapoja tulosten esittämiseen.

Vuokratalojen erityispiirteitä

Vuokrataloyhtiöille elinkaariedullisuus on luonteva päätöksentekokriteeri, sillä niiden liiketoiminnalle on ominaista kiinteistöjen hyvin pitkäaikainen ylläpito ja hallinta. Tällöin pyrkimys elinkaarikustannusten minimoimiseen ja sijoitetuilla varoilla saavutettavan hyödyn maksimoimiseen on hyvin järkevä.

Näyttäisi siltä, että vuokrataloyhtiöissä ollaan kiinnostuneita perustamaan päätöksiä nykyistä enemmän elinkaarikustannustarkasteluihin. Luotettava elinkaarikustannustarkastelu vaikuttaa kuitenkin vielä olevan vaikeaa ja siihen liittyy huomattavia kehittämistarpeita. Suunnitelmallisen korjaamisen ymmärrystä on edelleen pyrittävä lisäämään ja päätösten taustaksi tarvitaan työkaluja, kuten rakennusten elinkaarikustannustarkasteluihin soveltuvia laskentamalleja, jotka soveltuvat alueellisiin kehityshankkeisiin, joissa sekä korjataan että rakennetaan uutta ja mahdollisesti myös puretaan vanhoja rakennuksia. Markkinoilla olevat investointilaskentaan tarkoitettut mallit eivät näyttäisi aivan soveltuvan tällaisiin haasteellisiin tarkasteluihin. Nykyisin valinnoissa painottuvat rakennuskustannukset, jolloin elinkaarialoudellisesti kannattavia toimenpiteitä voi jää-

dä toteuttamatta. Koska vuokra on vuokratyöyhtiöiden liiketoiminnassa tärkein tulonlähde, toimenpiteiden vaikutus vuokratason näyttäisi nykyisin usein saavan elinkaarikustannuksia suuremman painoarvon päätöksiä tehtäessä.

Täydennysrakentaminen ja purkaminen

Lähiöiden kehittämiseen liittyy hyvin usein täydennysrakentamista. Kehitettävien alueiden asemakaavat eivät välttämättä aina ole kuitenkaan ajan tasalla ja voivat toisinaan estää optimaalisten lisärakentamisvaihtoehtojen toteuttamisen. Nykyinen kaavoitusprosessi on auttamattoman hidaskäyttöinen ja kaavamuutokseen tarvittava aika on liian pitkä kehityshankkeiden näkökulmasta – etenkin kun tarve kaavamuutokselle selviää usein vasta suunnittelun aikana. Kaavaprosessin kehittämiseksi olisikin ilmeinen tarve, sillä nykyisellään se ei sovellu aluekehittämisen tarpeisiin. Pahimmassa tapauksessa vanhoilla kaavoilla saatetaan estää alueiden suotuisa kehittäminen.

Aluekehityshankkeissa on yhtenä vaihtoehtona huomioitava myös vanhojen rakennusten purkaminen. Hankkeessa tehdyt tarkastelut osoittivat, että taloudellisesti tarkasteltuna vanhan rakennuksen purkaminen ja uuden rakentaminen sen tilalle voi tulla kyseeseen joissain tapauksissa. Rakennusten purkamisen kannattavuudesta ei kuitenkaan voida sanoa yleispäteviä totuuksia, vaan tarkastelu on tehtävä aina tapauskohtaisesti. Lisäksi on huomioitava, että puhtaasti europohjaisten tarkastelujen tulokset voivat poiketa sellaisista tarkasteluista, joissa on mukana myös ”luonnontaloudellinen” näkökulma. Ennen purkupäätöstä pitääkin tehdä sekä elinkaarikustannustarkastelu että selvitys ympäristövaikutuksista.

Tietomallit

Rakentamisen ja lähiökorttelikorjaamisen päätöksenteossa on ongelmana, että tietoa on saatavilla vielä varsin rajoitetusti siinä vaiheessa, kun kustannuksia sitovia päätöksiä joudutaan tekemään. Tietomallit voivat tarjota ammattitaitoisesti hyödynnettynä apua tähän ongelmaan. Rakennuslupa- ja suunnitteluvaiheiden perinteisesti hidasta ja vaikkakin tietomallien hyödyntämisestä on puhuttu jo pitkään, niiden hyödyntäminen käytännössä ei ole vielä sillä tasolla kuin se voisi olla. Osaltaan tämä johtuu siitä, että rakennushankkeissa toimii useita eri osapuolia, joilla kaikilla tulisi olla valmiudet tietomallien hyödyntämiseen, jotta niistä saataisiin täysi hyöty irti. Laajassa mittakaavassa tietomalliosaaminen on kuitenkin vielä harvinaista, mutta yleistyy koko ajan.

Hankkeissa, joissa valmiudet tietomallien hyödyntämiseen ovat esimerkiksi ainoastaan arkkitehdillä, saavutettavat hyödyt jäävät lähinnä arkkitehdin omassa suunnittelussaan saavuttamiin hyötyihin. Jos sen sijaan hyödyntämisvalmiuksia on muillakin projektin osapuolilla, avautuu uudenlaisia mahdollisuuksia tiedon tuottamiseen suunnitteluprosessin aikana. Päätöksentekoon liittyvien vaihtoehtojen vertailu helpottuu, jos päätöksentekijöillä on käytettävissään havainnollista tietoa eri suunnitteluratkaisujen vaikutuksista (esim. tietomallipohjainen kustannuslaskenta ja energia-analyysit). Tietomalleja hyödyntämällä voidaan tehostaa suunnittelun lisäksi myös toteutusvaihetta, sillä eri suunnit-

telijoiden tietomallisuunnitelmat on helpompi sovittaa yhteen jo suunnitteluvaiheessa, jolloin työmaalla ratkottavien ongelmien määrä vähenee. Jos jo edellä mainitut asiat saadaan toimimaan sujuvasti, vanhoja toimintatapoja ja prosesseja voidaan kehittää huomattavasti. Tietomalliosaamisen kasvaminen ja laajeneminen rakennusalan toimijoiden keskuudessa olisikin toivottavaa, sillä rakentamisalalla tarvitaan uusia toimintamalleja.

Ilmatiiviyys

Näyttäisi siltä, että ilmatiiviyys on oletettua hankalampi asia eikä sitä ehkä vielä ymmärretä riittävästi. Vanha kerrostalo voi osoittautua melko tiiviiksi eikä korjatun rakennuksen tiiviyys ole välttämättä lähtötilannetta parempi. Tehtävien ilmatiiviyysmittausten tuloksissa on mukana myös sisäisiä ilmapuotoja, jotka eivät vaikuta lämmönkulutukseen, mutta ovat muuten haitallisia (äänet, hajut, painesuhteet).

Hankkeen yhteydessä tehty asukkaiden viihtyvyyskysely osoitti, että naapurista kantautuvat hajut ja äänet ovat usein mainittuja ongelmia. Rakennuksen sisäinen ilmatiiviyys on ainakin yksi osasy syy hajujen ja äänien kulkeutumiseen ja näyttäisi siltä, ettei sen merkitystä korosteta nykyisin riittävästi. Hankkeen tiiviyysmittausosion alkuperäisenä tavoitteena oli arvioida juuri kerrostalon asuntojen välistä sisäistä tiiviyttä, ilmanvuotoreittejä ja niiden keskinäisiä osuuksia. Sisäisen tiiviyden mittaaminen osoittautui kuitenkin käytännössä hankalaksi ja mittauksilla pystyttiin arvioimaan lähinnä ulkovaipan rakennosien ja käytävänoven vuoto-osuuksia määrittelemättömän vuodon osuuden jäädessä edelleen varsin suureksi. Osa tästä määrittelemättömästä ilmapuodosta on sisäistä vuotoa.

Tiiviyysmittaukset osoittivat, että rappukäytävän ovien ilmatiiviyys oli huono. Rappukäytävien ovien tiiviyteen olisi syytä kiinnittää nykyistä enemmän huomiota, sillä se liittyy useisiin mm. asumisviihtyisyyteen vaikuttaviin tekijöihin, kuten haitallisten äänien ja hajujen kulkeutumiseen, painesuhteisiin sekä savun kulkeutumiseen tulipalotilanteessa.

Yhteenveto

Kokonaisuudessaan lähiöiden kehittämiseen ja energiatehokkuuden parantamiseen tarvitaan uudennlaisia toimintatapoja ja osittain myös asennemuutoksia. Energiatehokkuus ei juuri parane eikä säästötavoitteita saavuteta, jos energiansäästötoimenpiteiltä edellytetään suurta tuottoa.

Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus on määrätyn edellytyksin korjaustoiminnassa parempi kuin uudistuotannossa. Tämä johtuu lähinnä korjaushankkeiden huomattavasta lämmöneristävyyden lähtötasosta. Määrättyillä edellytyksillä puolestaan viitataan tässä siihen, minkälainen korjaus on päätetty tehdä joka tapauksessa. Näin ollen niin sanotun perusratkaisun määrittämisellä on merkittävä vaikutus kannattavuusarvioihin.

Oleellista on, ettei energiatehokkuutta voida käsitellä omana kokonaisuutenaan, vaan se kytkeytyy kiinteänä osana muuhun rakennushankkeiden päätöksentekoon. Eri ratkaisujen vaikutuksia on pystyttävä esittämään päätöksentekotilanteessa nykyistä systemaattisemmin ja havainnollisemmin. Elinkaarikustannusten ja -tuottojen pitäisi olla pohjana päätöksenteolle. Tämän lisäksi pitää pystyä esittämään eri vaihtoehtoihin liittyvät arvo-tekijät ymmärrettävästi.

EVAKO-hankkeessa on tuotettu joukko työkaluja ja ehdotuksia päätöksen teon tukemiseksi ja asioiden eteenpäin viemiseksi. Tekijöiden toivomuksena on, että tehdyn tutkimus- ja kehitystyön tuloksia voidaan soveltaa laajalti myös käytäntöön.

Lähteet

Aalto, R & Heljo, J. 1984. Helsinki, Rakentajain Kustannus Oy. 289 s. + liitt. 10 s.

Aaltonen, A. 2011. Air tightness of structural elements and internal air leakages in a multi-apartment building. NSB2011, 9th Nordic Symposium on Building Physics, Tampere, Finland, 30.5.2011.

Abel, Enno. 2010. Ekonomisk bedömning. BELOK Totalprojekt – Energieffektivisering av befintliga lokalbyggnader. [PDF]. Viitattu: 1.6.2012. Saatavissa: <http://www.belok.se/docs/Kortrapporter/Lonsamhetsmodell.pdf>. 17 s.

Alatalo, E (toim.). 2012. Hurmaava lähiö. Energiätehokas lähiökorjaaminen –hankkeen loppujulkaisu. Tampereen teknillinen yliopisto, Arkkitehtuurin laitos. 153 s.

Building Smart Finland. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012 (YTV2012). [WWW]. Viitattu: 20.4.2012. Saatavissa: <http://www.buildingsmart.fi/8>.

Carlsson, J. 2012. Osäkerhet i energisimuleringar av flerbostadshus. Analys av fem nybyggnationer. [PDF]. Uppsala Universitet. Examensarbete. Viitattu: 24.4.2012. Saatavissa: <http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:489163/FULLTEXT01>. 76 s. + 4 s.

Fürbringer, J.M., Roecker, C., and Roulet, C.-A. 1988. The Use of a Guarded Zone Pressurization Technique to Measure Airflow Permeabilities of a Multizone Building. Proceedings of the 9th AIVC Conference, Gent, Belgium.

Järviö, T. 2011. Kokemusperäiset ohjeet tilamallin tekemiselle energia- ja olosuhdesimulointien näkökulmasta. Insinööritoimisto Olof Granlund. Selvitys 12.1.2011. 10 s.

Kankainen, J. & Junnonen, J-M. 2001. Rakennuttaminen. Tampere, Rakennustieto Oy.

Kurvinen, A. 2012. Vuokrataloyhtiön päätöksenteko. [PDF]. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. 43 s.

Kurvinen, A., Heljo, J. & Vihola, J. 2011. Energiataloudellisten valintojen taloudellisuustarkastelut. In: Koskenvesa, A. & al. Rakentajain kalenteri 2012. Helsinki, Rakennustieto Oy, s. 158–164.

Kurvinen, A. & Heljo, J. 2011. Hyvät käytännöt ja toimintamallit – Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuusmalli. [PDF]. Viitattu: 26.6.2012. Saatavissa: http://webhotel2.tut.fi/ee/Materiaali/Evako/Ideapankki_kannattavuusmalli_2011_05_03.pdf. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. 16 s.

Kurvinen, A., Heljo, J. & Palmroth, A-S. 2010. Aukkaiden viihtyvyyden tarkastelu. Takuvainionkatu 2:n asukaskyselyt. [PDF]. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. 13 s.

Laitinen, J. 1998. Model Based Construction Process Management. Stockholm, Kungliga tekniska högskolan, Royal Institute of Technology, Construction Management and Economics. 136 s.

Lehtinen, S. 2012. Ammattimainen BIM-tiedonsiirto. Tampere 16.3.2012, Datacubist Oy. Julkaisematon esitelmä. 33 s.

Levin, P. 1988. Air leakage between apartments. Proceedings of the 9th AIVC Conference, Gent, Belgium.

Nippala, E. & Heljo, J. 2009. Asuinkerrostalon elinkaaritarkastelu – korjaus vai purku ja uuden rakentaminen – karkea energia- ja kustannustarkastelu. Tampereen ammattikorkeakoulu ja Tampereen teknillinen yliopisto.

Reardon, J. T., Kim A. K., and Shaw, C. Y. 1987. Balanced fan depressurization method for measuring component and overall air leakage in single-and multifamily dwellings. ASHRAE Transactions 1987, vol. 93 pt. 2.

SFS-EN 13829 2000. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified). Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2000.

Tampereen kaupunki. 2011. Tampereella uusia linjauksia täydennysrakentamiseen ja energiatehokkuuteen. [WWW]. Viitattu: 4.5.2012. Saatavissa: <http://www.tampere.fi/kaavatjakiinteistot/ajankohtaista/6318FXYS9.html>.

The Energy Conservatory. 2012. Minneapolis Blower Door – Building Airtightness Testing Systems. [PDF]. Viitattu: 19.3.2012. Saatavissa: <http://www.energyconservatory.com/download/bdbrochure.pdf>.

Vakkilainen, J. 2009. Rakennuksen tietomalli rakennushankkeen suunnitteluvälineenä. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Arkkitehtuurin laitos. Diplomityö. 144 s.

VTS Kodit. 2012. Yritysesittely. [WWW]. Viitattu: 18.6.2012. Saatavissa: <https://www.vts.fi/yritysesittely/>.

Liitteet

LIITE 1. Case alueen 1-vaiheen kohteet

LIITE 2. Case-alueen 1-vaiheen energiansäästötoimenpiteiden rakennuskohtaiset vaikutukset

LIITE 3. Elinkaarikustannusten laskeminen

LIITE 4. Arvotarkastelun periaatteet

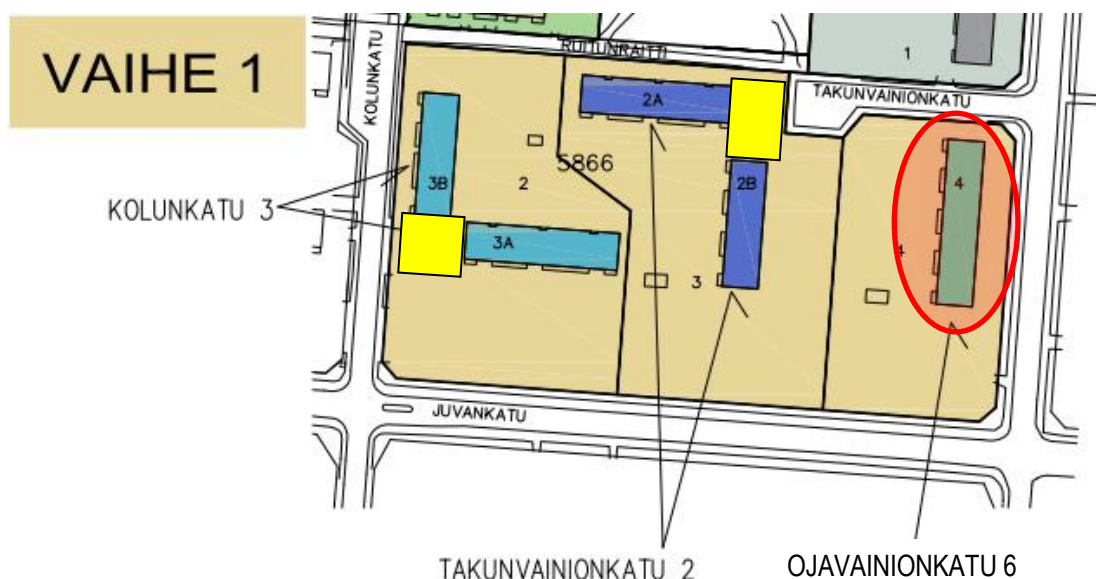
LIITE 5. Tiiviysmittaustulosten analysointi

Liite 1. Case-alue: Uudistuva Annala

Tässä liitteessä esitetään raporttia täydentäviä tietoja case-alueen 1-vaiheen kohteista. Ensin perustiedot esitetään kohdekohtaisesti yksitellen, minkä jälkeen lähtötilanteen energiankulutusta on käsitelty yhteisesti.

Ojavainionkatu 6 (entinen Takuvainionkatu 4)

Takuvainionkatu 4 on 1978 valmistunut 4-kerroksinen kerrostalo, jossa on kolme asuin-kerrosta ja yksi maanpäällinen kellarikerros. Kohteen sijainti case-alueella on esitetty kuvassa 1-1. Uudistuva Annala –hankkeen toteutus aloitettiin tästä kohteesta.



Kuva 1-1. Ojavainionkatu 6:n (ennen Takuvainionkatu 4) sijainti case-alueella.

Perusparannuksen yhteydessä rakennusta päätettiin korottaa yhdellä kerroksella ja maanpäälliseen kellarikerrokseen rakennettiin tarpeettomaksi osoittautuneiden yhteistilojen tilalle asuntoja. Uudistusten yhteydessä kohteen nimi vaihtui Takuvainionkatu 4:stä Ojavainionkatu 6:ksi.



Kuva 1-2. Takuvainionkatu 4 ennen ja jälkeen perusparannuksen.

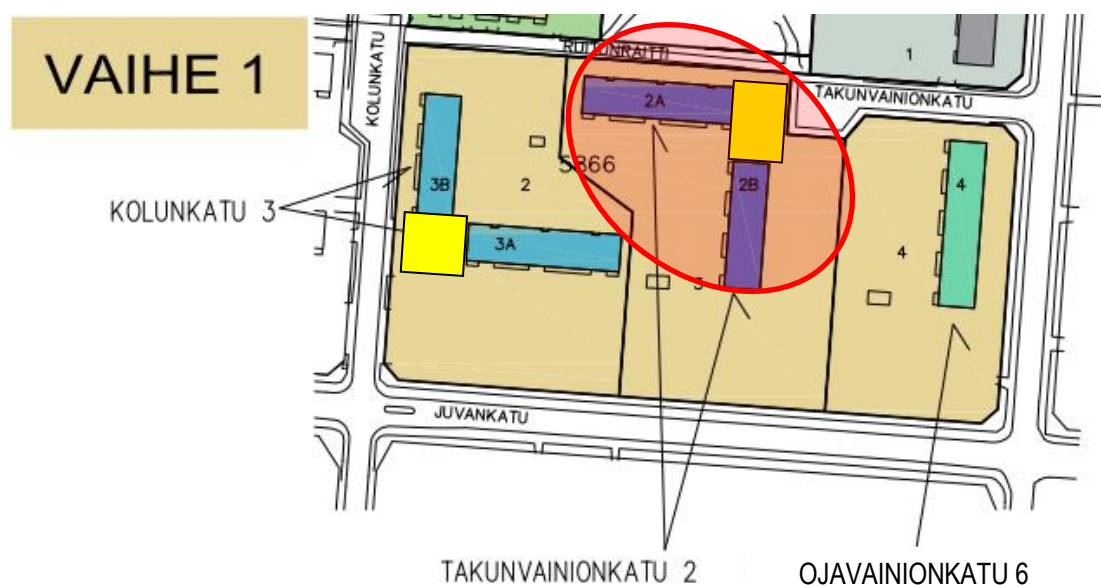
Kuvassa 1-2 on havaittavissa, että tehdyillä uudistuksilla on ollut merkittävä ympäristön viihtyvyyttä parantava vaikutus. Taulukossa 1-1 on esitetty hankkeen tilavuus- ja pinta-alatiedot. Uudistusten yhteydessä samalle tontille sijoitettiin myös kolme uudisrivitaloa, mutta niiden tietoja ei ole esitetty tässä yhteydessä.

Taulukko 1-1. Ojavainionkatu 6:n pinta-ala- ja tilavuustiedot lähtötilanteessa ja uudistusten jälkeen.

Ojavainionkatu 6 (ennen Takuvainionkatu 4)				
Rappu	Kerrosala	Huoneistoala	Rakennustilavuus	Ilmatilavuus
Vanha osa	2 564	1 629	7 392	5 850
Korotus	646	506	1 848	1 438
Yhteensä	3 210	2 135	9 240	7 288

Takuvainionkatu 2

Takuvainionkatu 2 on 1978 valmistunut kohde, joka käsittää kaksi 4-kerroksista lamellitaloa. Kummassakin rakennuksessa on kolme asuinkerrosta ja yksi maanpäällinen kellarikerros. Kohteen sijainti case-alueella on esitetty *kuvassa 1-3*. Takuvainionkatu 2 oli Uudistuva Annala –hankkeen toinen kohde.



Kuva 1-3. Takuvainionkatu 2:n sijainti case-alueella

Vanhojen lamellitalojen peruseronuksen yhteydessä rakennusten väliin päätettiin sijoittaa rakennukset toisiinsa yhdistävä uudiskulmarakennus, josta rakennettiin kerrosta korkeampi kuin vanhoista lamelleista. *Kuvan 1-3* keltainen laatikko kuvaa rakennettua uudisosaa. Vanhoihin rakennuksiin ei tehty kerroskorotuksia, mutta kellarikerrokseen rakennettiin asuntoja. Toiseen vanhaan taloon rakennetut hissit sijoitettiin rungon ulkopuolelle ja toiseen taloon rakennetut hissit sisäpuolelle.



Kuva 1-4. Takuvainionkatu 2 ennen ja jälkeen perusparannuksen.

Kuvassa 1-4 on havaittavissa, että tehdyillä uudistuksilla on ollut selkeä ympäristön viihtyvyyttä parantava vaikutus. Taulukossa 1-2 on esitetty hankkeen tilavuus- ja pinta- alatiedot. Raput A–C ja E–G ovat vanhoja lamelleja ja rappu D puolestaan tarkoittaa rakennusten väliin toteutettua uudisosaa.

Taulukko 1-2. Takuvainionkatu 2:n pinta-ala- ja tilavuustiedot lähtötilanteessa ja uudistusten jälkeen.

Takuvainionkatu 2				
Rappu	Kerrosala	Huoneistoala	Rakennustilavuus	Ilmatilavuus
A–C	2 530	1 647	7 530	5 668
D	1 635	1 016	5 280	3 845
E–G	1 932	1 305	5 750	4 380
Yhteensä	6 097	3 967	18 560	13 892

Kolunkatu 3

Kolunkatu 3 on 1979 valmistunut kohde, joka käsittää kaksi 4-kerroksista lamellitaloa. Kummassakin rakennuksessa on kolme asuinkerrosta ja yksi maanpäällinen kellarikerros. Kohteen sijainti case-alueella on esitetty kuvassa 1-5. Kolunkatu 3 oli Uudistuva Annala –hankkeen kolmas ja samalla 1-vaiheen viimeinen kohde.

Vanhojen lamellitalojen perusparannuksen yhteydessä rakennusten väliin päätettiin sijoittaa rakennukset toisiinsa yhdistävä uudiskulmarakennus, josta rakennettiin kerrosta korkeampi kuin vanhoista lamelleista. Kuvan 1-5 keltainen laatikko kuvaa rakennettua uudisosaa. Vanhoihin rakennuksiin ei tehty kerroskorotuksia, mutta kellarikerrokseen rakennettiin asuntoja. Hissit sijoitettiin vanhojen rakennusten rungon sisäpuolelle.



Kuva 1-5. Kolunkatu 3:n sijainti case-alueella.

Taulukossa 1-3 on esitetty hankkeen tilavuus- ja pinta-ali tiedot. Raput A–C ja E–G ovat vanhoja lamelleja ja rappu D puolestaan tarkoittaa rakennusten väliin toteutettua uudisosa.

Taulukko 1-3. Kolunkatu 3:n pinta-ala- ja tilavuustiedot lähtötilanteessa ja uudistusten jälkeen.

Kolunkatu 3				
Rappu	Kerrosala	Huoneistoala	Rakennustilavuus	Ilmatilavuus
A–C	1 934	1 310	5 700	4 524
D	1 813	1 274	5 800	4 024
E–G	2 400	1 575	7 070	5 611
Yhteensä	6 147	4 158	18 570	14 159

Lähtötilanteen energiankulutus

1-vaiheen kolmella kohteella oli lähtötilanteessa yhdistetty kulutusseuranta. Näin ollen tarkkoja kohdekohtaisia energiankulutustietoja ei ollut saatavilla. Tässä kolmen kohteen vuosittaiset yhteiskulutukset on jaettu kohteiden kesken käyttäen kohdistusperusteena bruttoneliöitä (brm^2).

Taulukossa 1-4 on esitetty lämmönkulutus, taulukossa 1-5 lämpimän käyttöveden kulutus ja taulukossa 1-6 kiinteistösähkön kulutus. Koska kulutusseuranta ei ole ollut rakennuskohtaista, kohteiden väliset todelliset energiankulutuserot jäävät arvioiden varaan.

Taulukko 1-4. 1-vaiheen kohteiden kulutusseurannan avulla selvitetty vuotuinen lämmönkulutus lähtötilanteessa. Lämmönkulutuksen kohdistamisessa eri rakennuksille on käytetty kohdistusperusteena bruttoneliöitä (brm^2).

LÄMMÖNKULUTUS [MWh/a]				
Rappu	2006	2007	2008	Keskiarvo
Takuvainionkatu 4	344	338	354	345
Takuvainionkatu 2	581	572	598	584
Kolunkatu 3	581	572	598	584
Yhteensä	1 506	1 482	1 550	1 513

Taulukko 1-5. 1-vaiheen kohteiden kulutusseurannan avulla selvitetty vuotuinen lämpimän käyttöveden kulutus lähtötilanteessa. LKV:n kohdistamisessa eri rakennuksille on käytetty kohdistusperusteena bruttoneliöitä (brm^2).

LKV:n KULUTUS [m^3/a]				
Rappu	2006	2007	2008	Keskiarvo
Takuvainionkatu 4	1 286	1 280	1 186	1 251
Takuvainionkatu 2	2 172	2 162	2 003	2 112
Kolunkatu 3	2 172	2 162	2 003	2 112
Yhteensä	5 630	5 604	5 192	5 475

Taulukko 1-6. 1-vaiheen kohteiden kulutusseurannan avulla selvitetty vuotuinen kiinteistösähkön kulutus lähtötilanteessa. Kiinteistösähkön kulutuksen kohdistamisessa eri rakennuksille on käytetty kohdistusperusteena bruttoneliöitä (brm^2).

KIINTEISTÖSÄHKÖN KULUTUS [MWh/a]				
Rappu	2006	2007	2008	Keskiarvo
Takuvainionkatu 4	25	26	26	26
Takuvainionkatu 2	43	43	44	43
Kolunkatu 3	43	43	44	43
Yhteensä	111	112	114	112

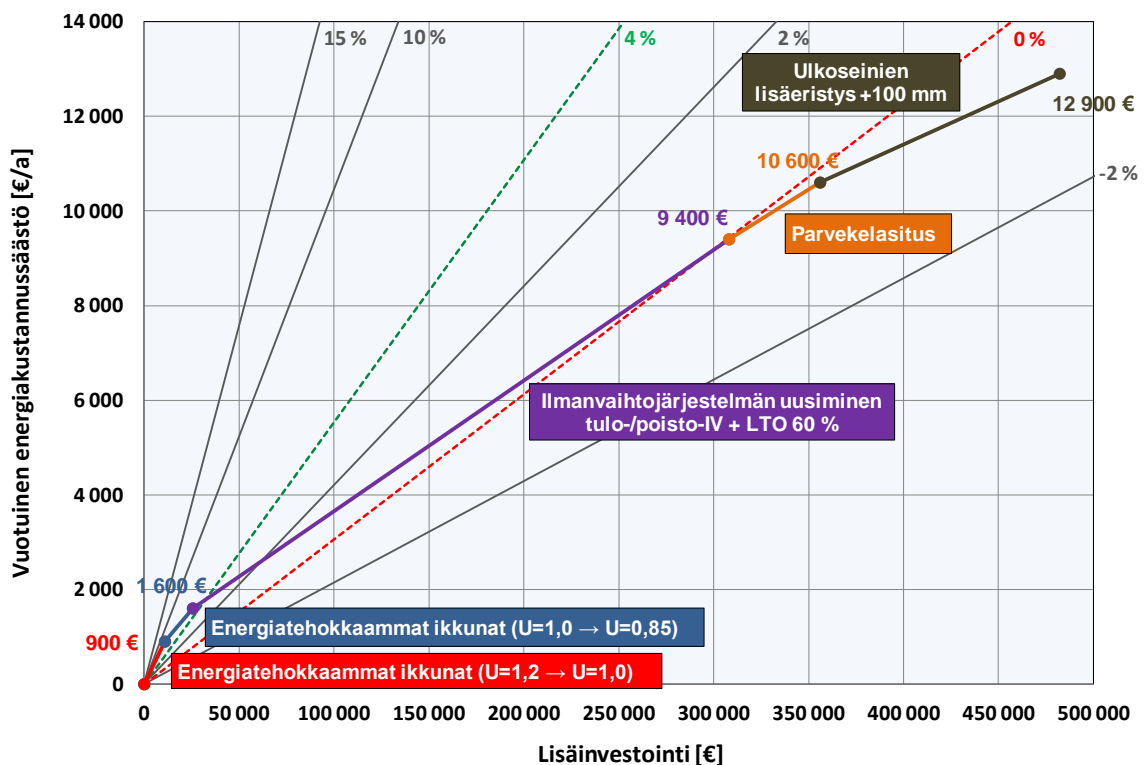
Liite 2. Energiansäästötoimenpiteiden vaikutustarkastelu case-alueella

Tässä liitteessä on esitetty case-alueen 1-vaiheen kohteissa tarkasteltujen energiansäästötoimenpiteiden vaikutukset rakennuskohtaisesti. Näin ollen tässä esitetyt kuvat tarkentavat *luvussa 3* esitettyjä tarkasteluja. Kuvat on esitetty siten, että ensin kustakin rakennuksesta esitetään ensin taloudellisia vaikutuksia painottava kuva, toisena energiansäästövaikutuksia painottava kuva ja kolmantena kasvihuonekaasupäästöjen säästöihin painottava kuva. Tarkasteluissa on huomioitu ainoastaan lämmönkulutus ja päästökertomana on käytetty lukua 217 g CO₂-ekv/kWh.

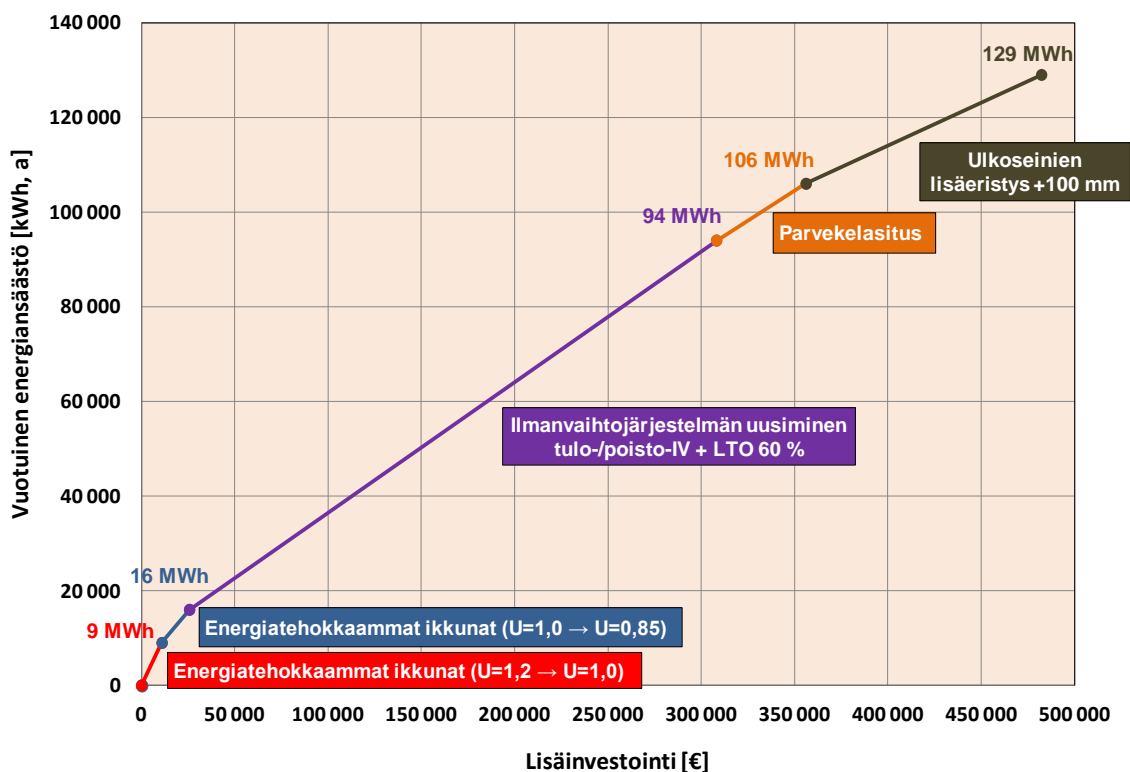
Kuvia tulkitaan samalla tavalla kuin *luvussa 3* on esitetty. Tarkempi kuvaus tulkinnasta löytyy raportista *Hyvät käytännöt ja toimintamallit – Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuusmalli* (Kurvinen & Heljo 2011).

VIRI Ojavainionkatu 6

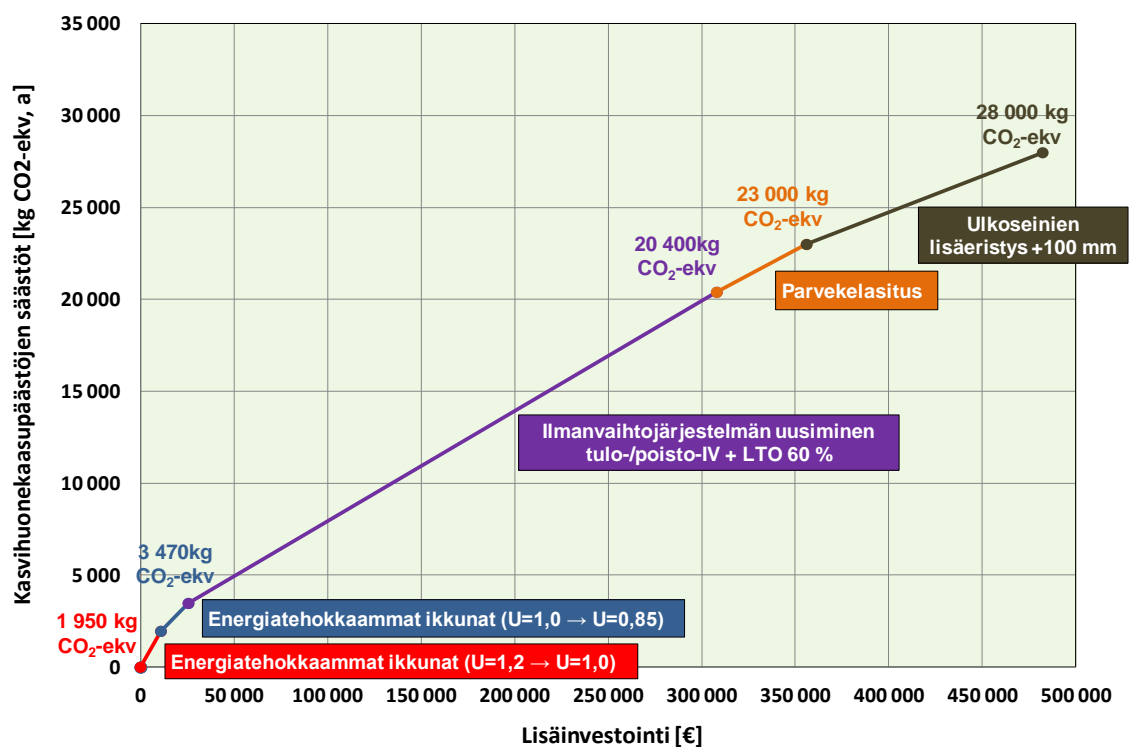
Ojavainionkatu 6, vanha rakennus



Kuva 2-1. Ojavainionkatu 6, vanha rakennus. Energiansäästötoimenpiteiden kokonaiskannattavuus, kun keskimääräinen pitoaika on 33 vuotta ja energian hinta 10 c/kWh.

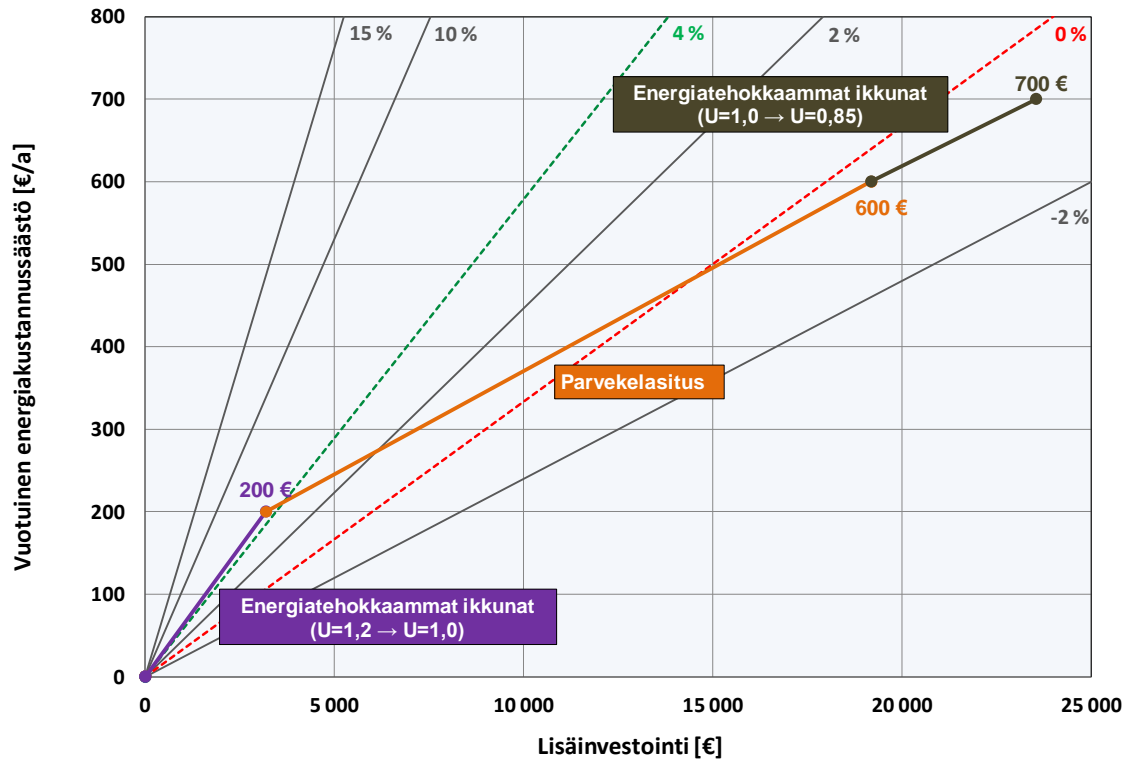


Kuva 2-2. Ojavainionkatu 6, vanha rakennus. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat vuotuiset energiansäästöt.

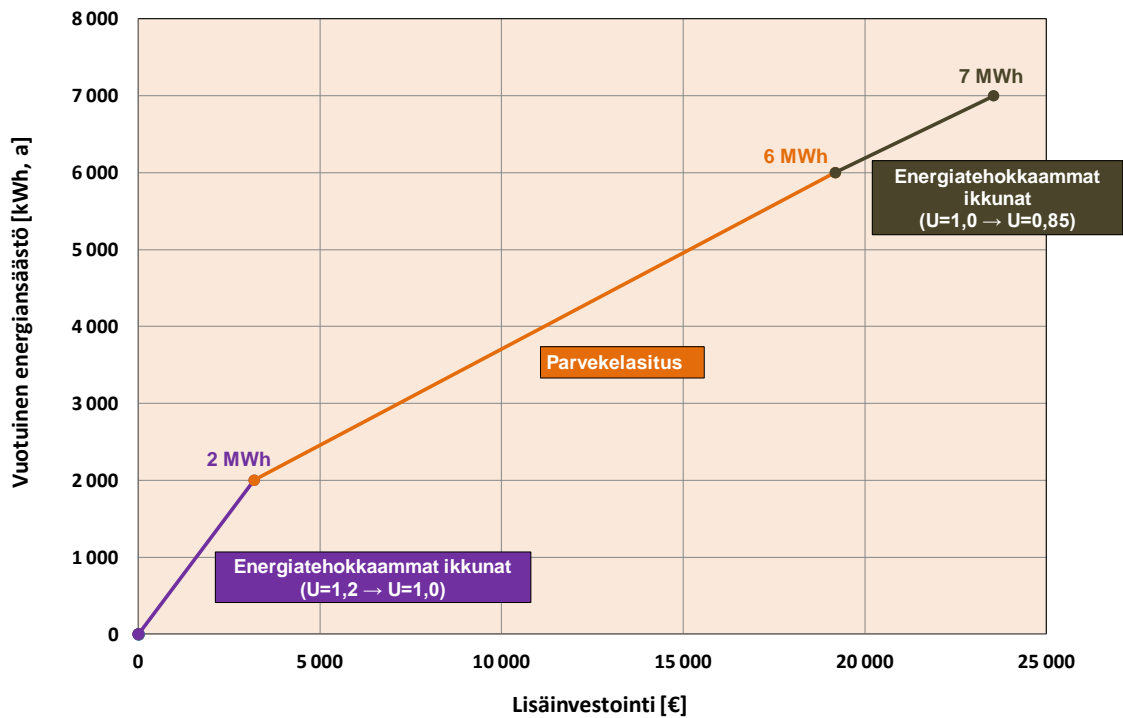


Kuva 2-3. Ojavainionkatu 6, vanha rakennus. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat kasvihuonekaasupäästöjen säästövaikutukset hiilidioksidiekvivalentteina (kg CO₂-ekv.).

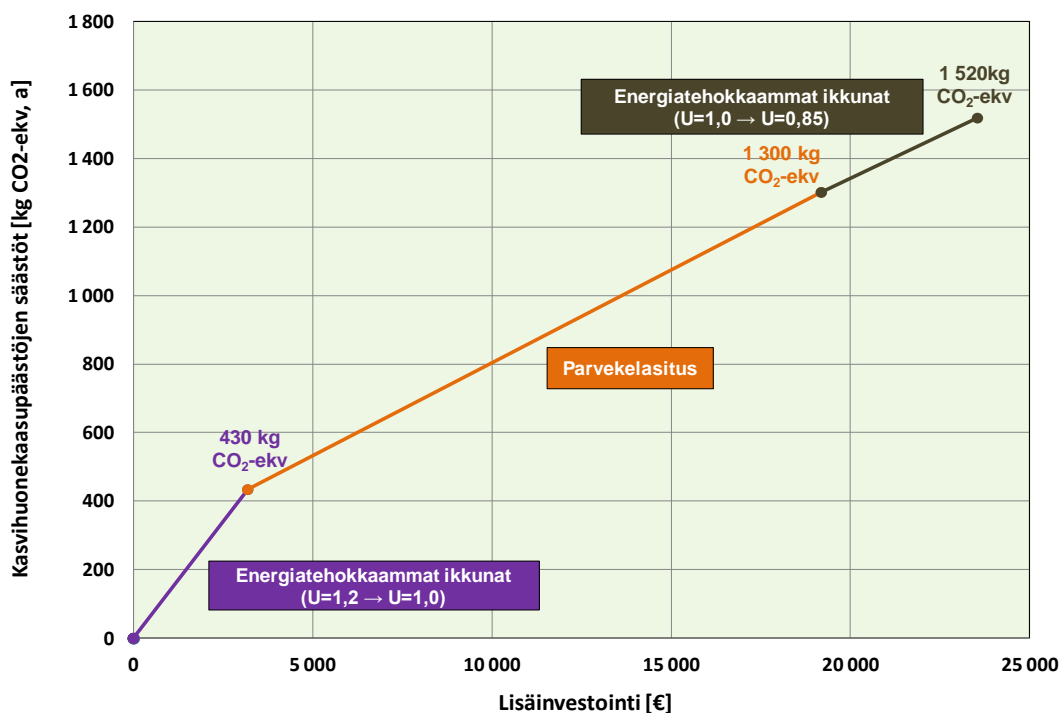
Ojavainionkatu 6, korotusosa



Kuva 2-4. Ojavainionkatu 6, korotusosa. Energiansäästötoimenpiteiden kokonaiskannattavuus, kun keskimääräinen pitoaika on 30 vuotta ja energian hinta 10 c/kWh.



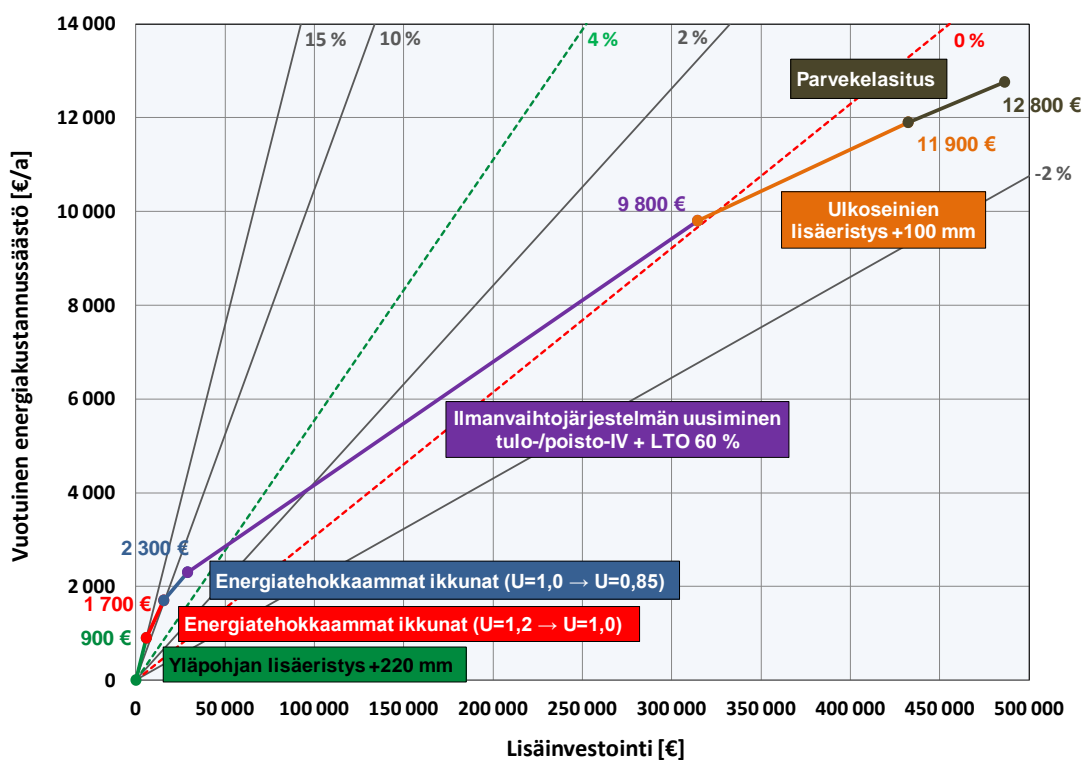
Kuva 2-5. Ojavainionkatu 6, korotusosa. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat vuotuiset energiansäästöt.



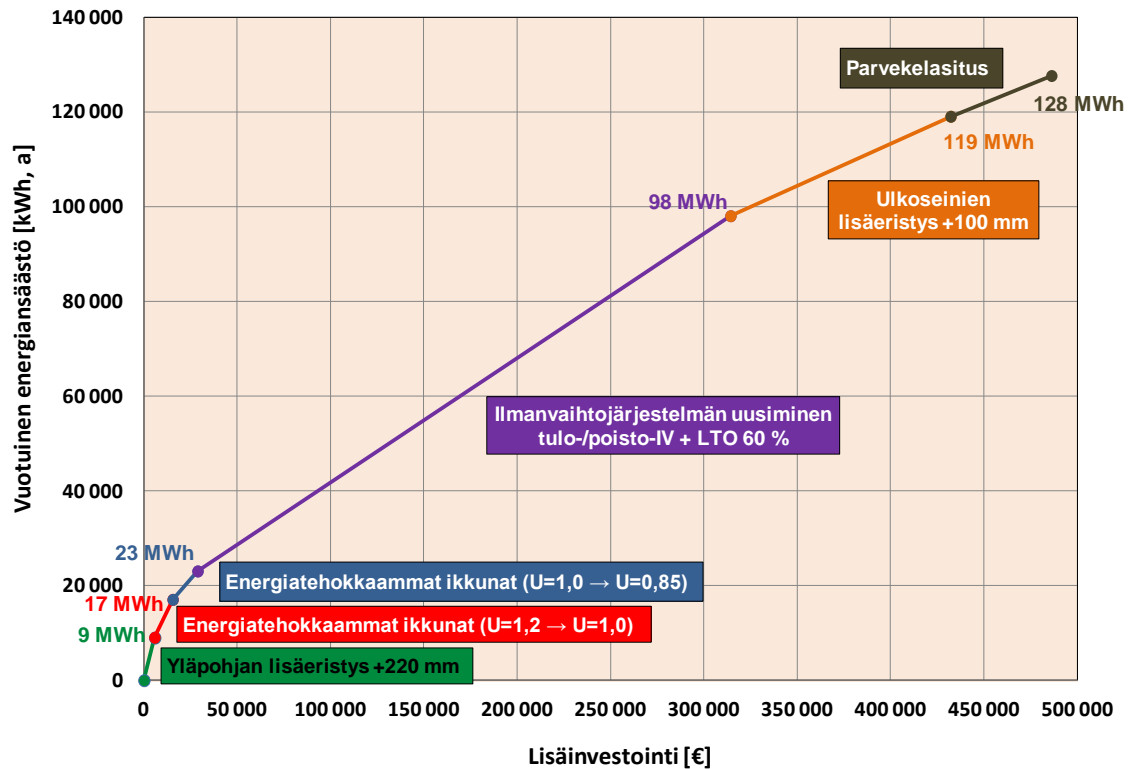
Kuva 2-6. Ojavinionkatu 6, korotusosa. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat kasvihuonekaasupäästöjen säästövaikutukset hiilidioksidiekvivalenteina (kg CO₂-ekv.).

VIRI Takuvainionkatu 2

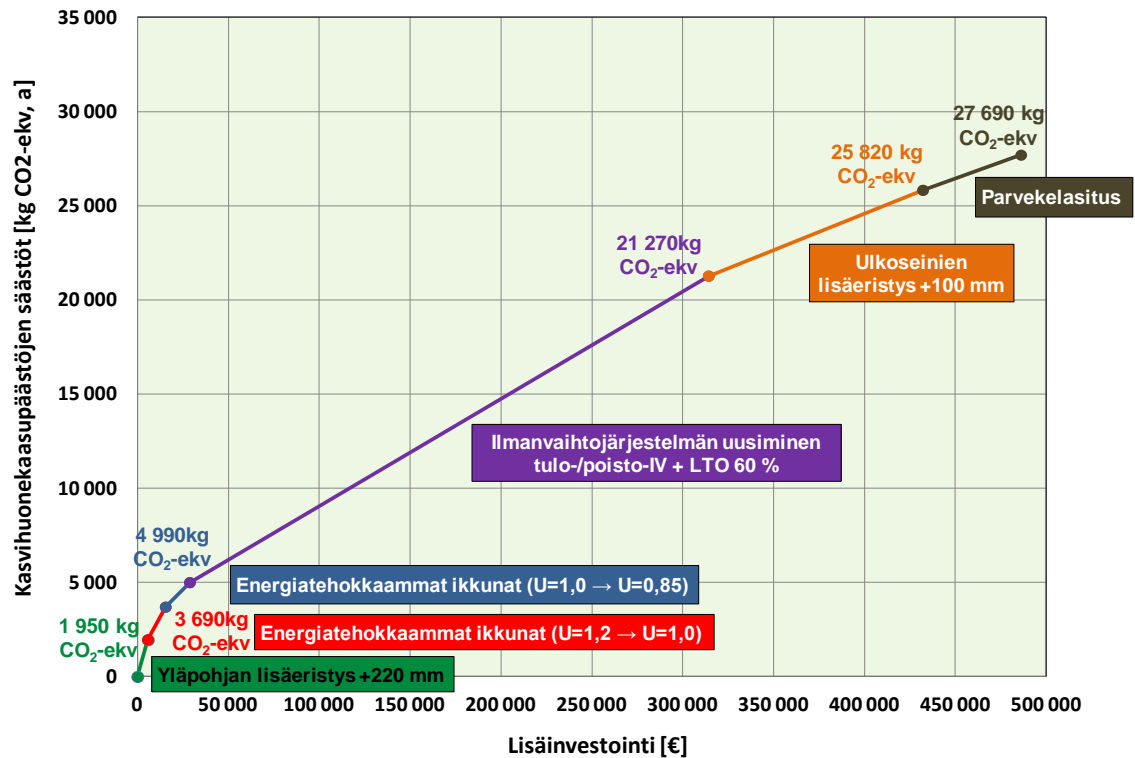
Takuvainionkatu 2 A–C



Kuva 2-7. Takuvainionkatu 2 A–C. Energiansäästötoimenpiteiden kokonaiskannattavuus, kun keskimääräinen pitoaika on 33 vuotta ja energian hinta 10 c/kWh.

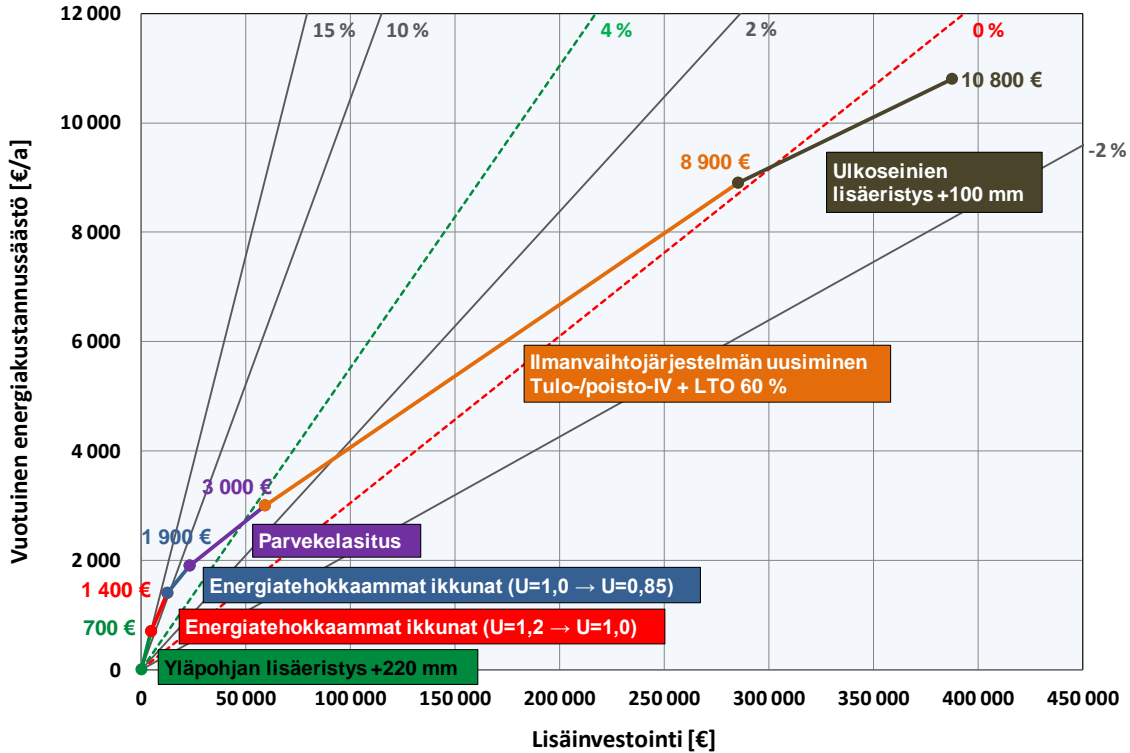


Kuva 2-8. Takuvainionkatu 2 A–C. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat vuotuiset energiansäästöt.

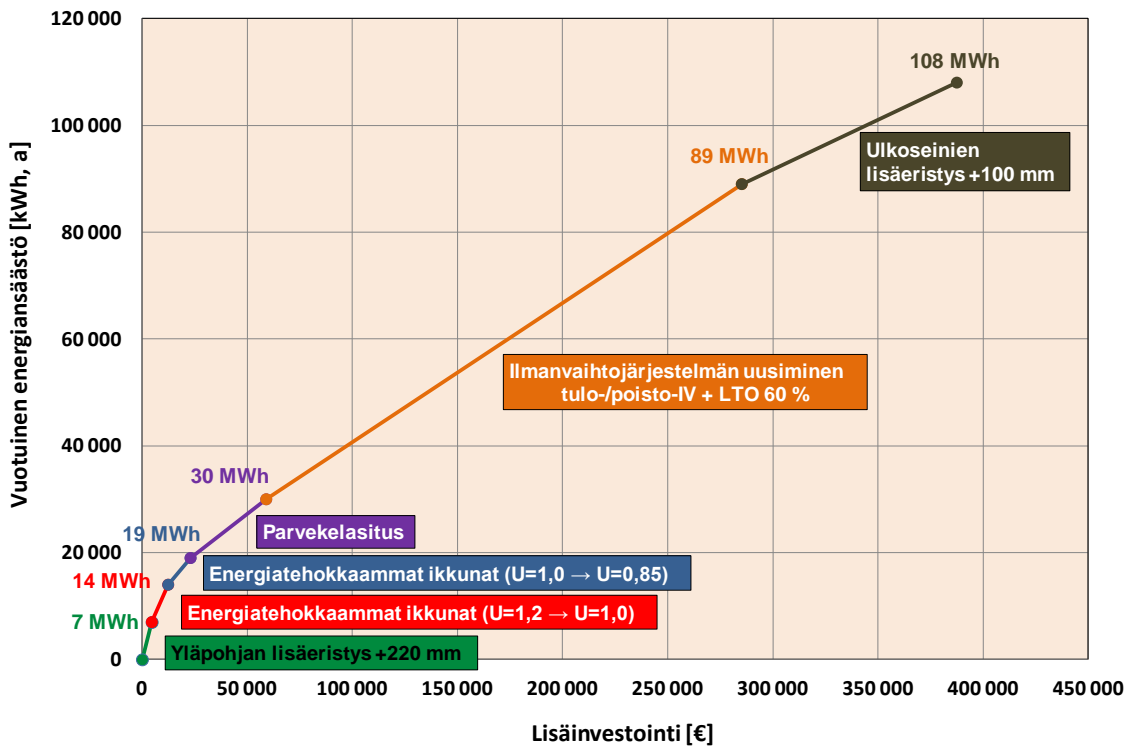


Kuva 2-9. Takuvainionkatu 2 A–C. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat kasvihuonekaasupäästöjen säästövaikutukset hiilidioksidiekvivalentteina (kg CO₂-ekv).

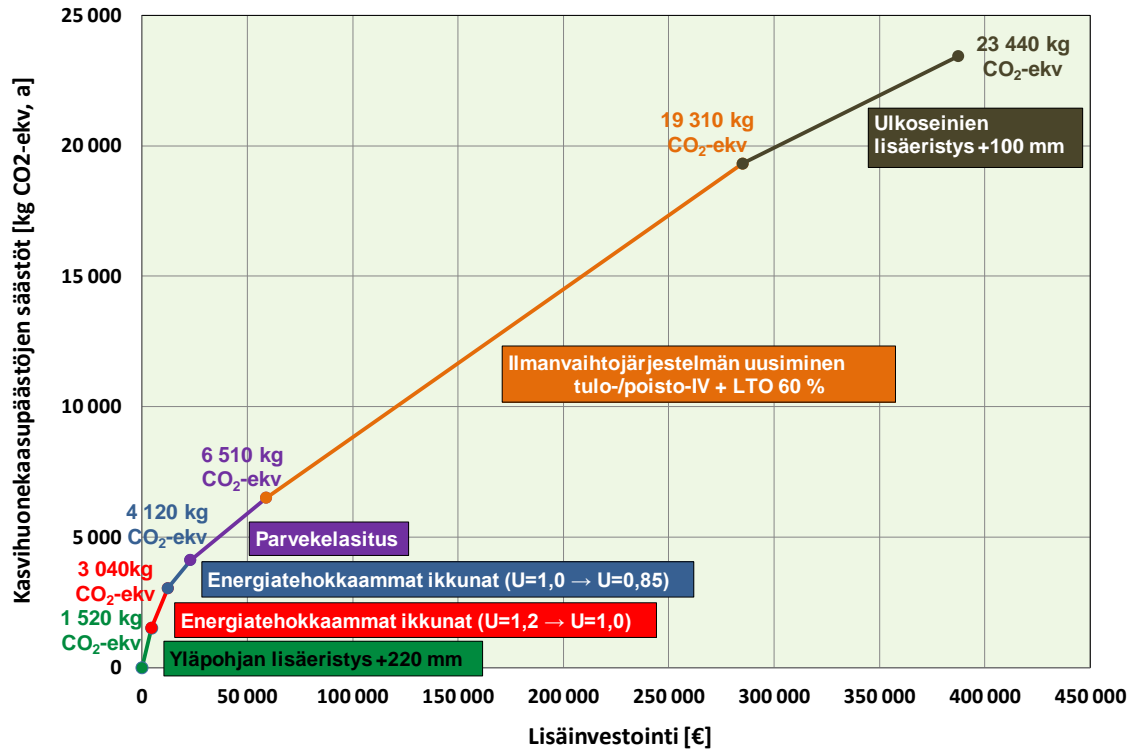
Takuvainionkatu 2 E–G



Kuva 2-10. Takuvainionkatu 2 E–G. Energiansäästötoimenpiteiden kokonaiskannattavuus, kun keskimääräinen pitoaika on 33 vuotta ja energian hinta 10 c/kWh.

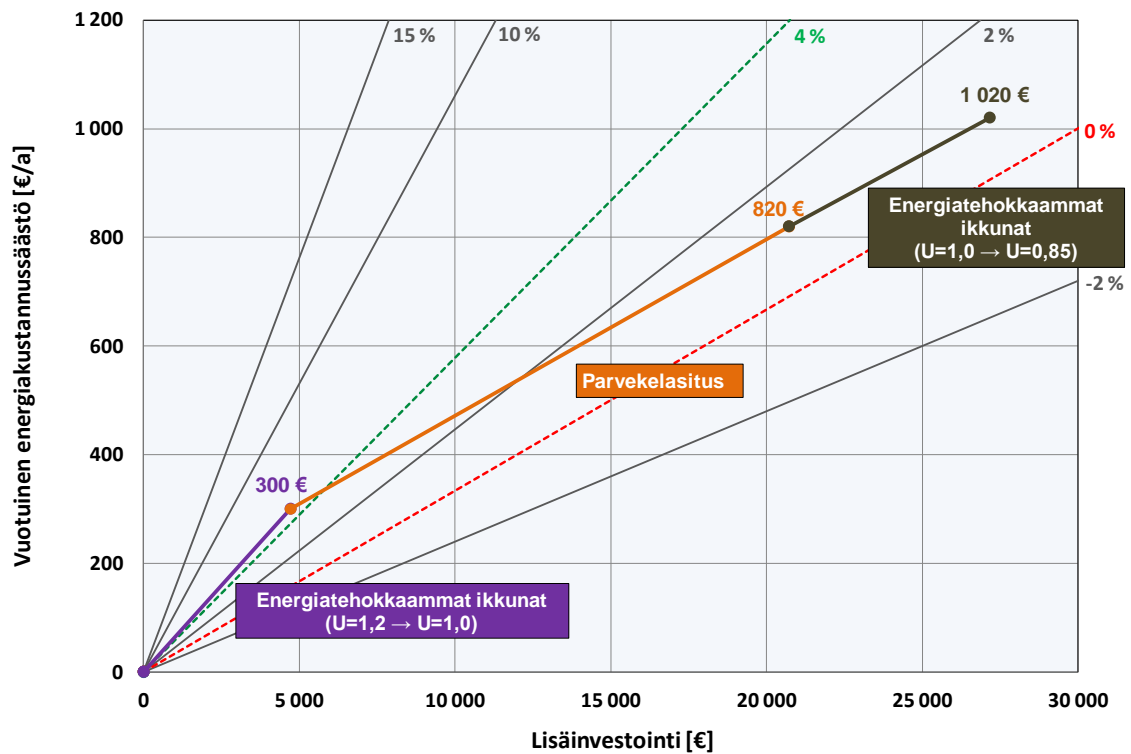


Kuva 2-11. Takuvainionkatu 2 E–G. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat vuotuiset energiansäästöt.

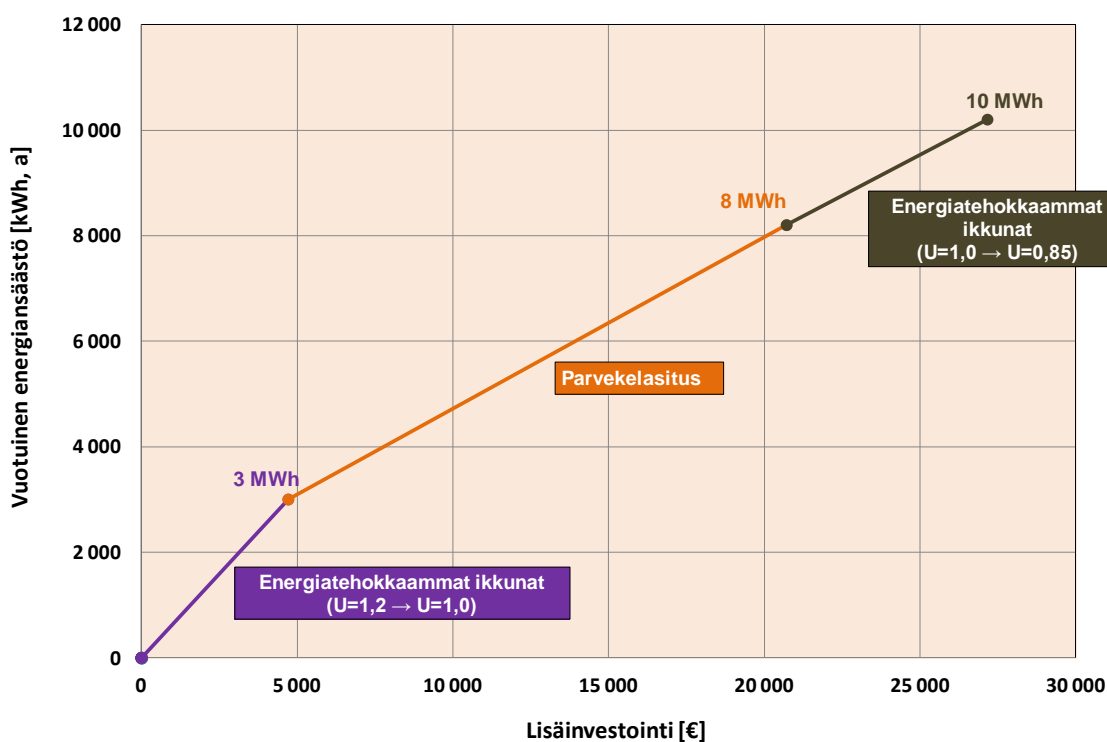


Kuva 2-12. Takuvainionkatu 2 E–G. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat kasvi-
huonekaasupäästöjen säästövaikutukset hiilidioksidiekvivalentteina (kg CO₂-ekv.).

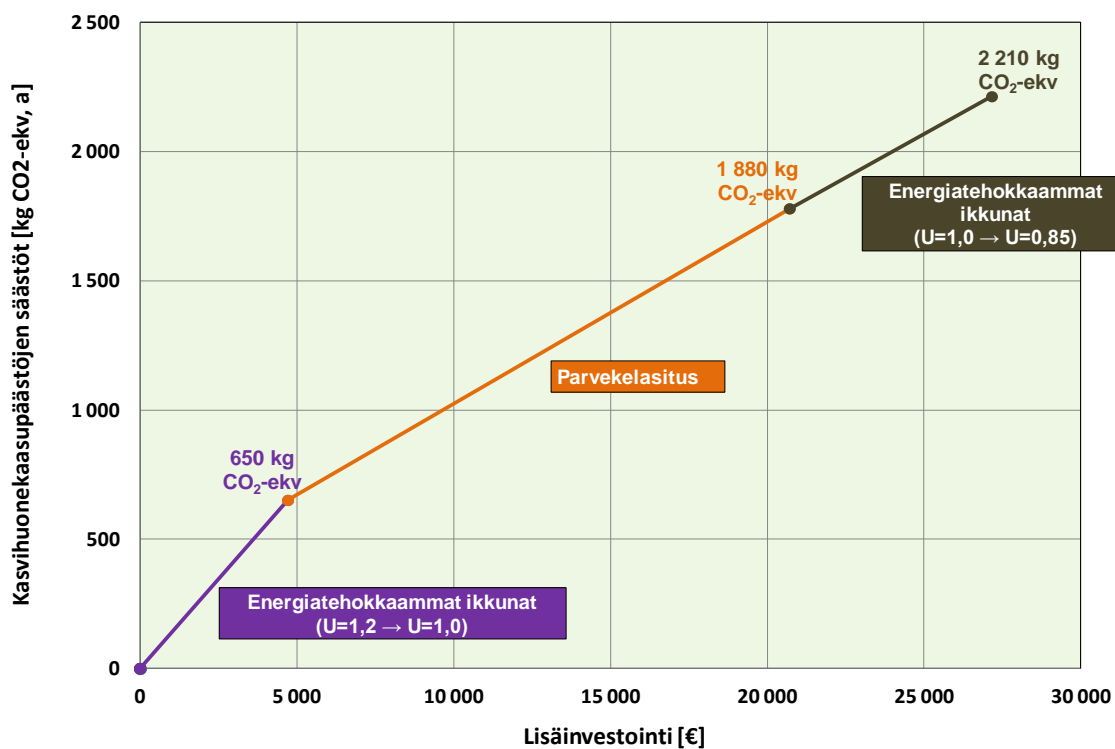
Takuvainionkatu 2 D



Kuva 2-13. Takuvainionkatu 2 D. Energiansäästötoimenpiteiden kokonaiskannattavuus,
kun keskimääräinen pitoaika on 30 vuotta ja energian hinta 10 c/kWh.



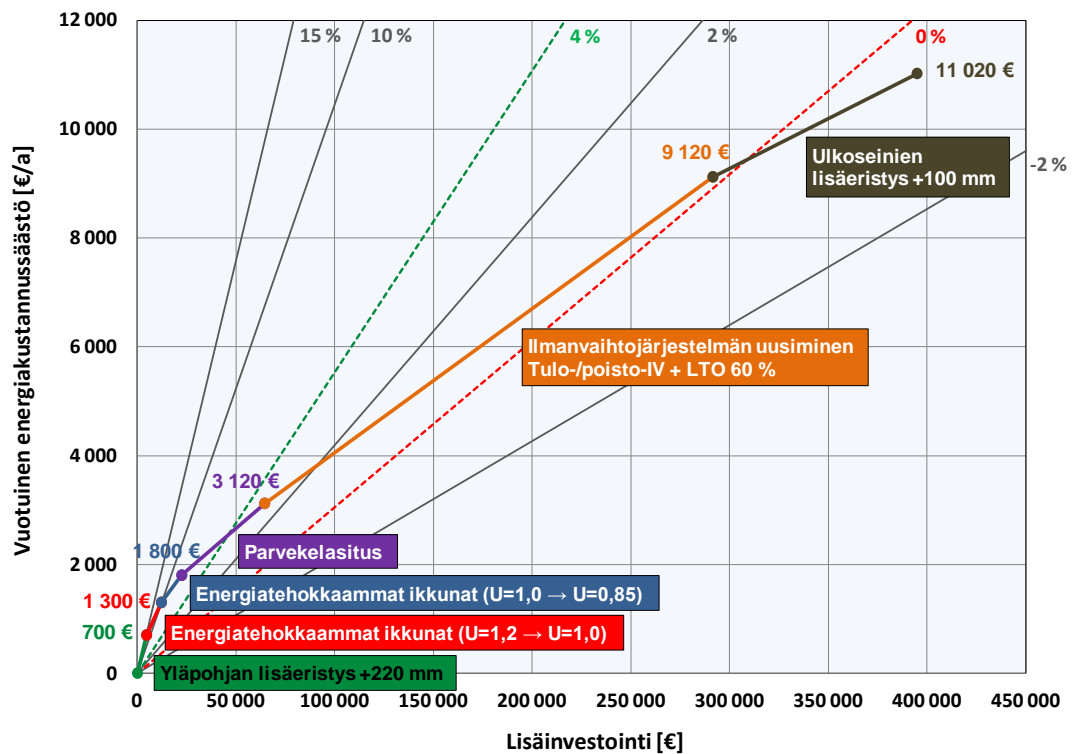
Kuva 2-14. Takuvainionkatu 2 D. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat vuotuiset energiansäästöt.



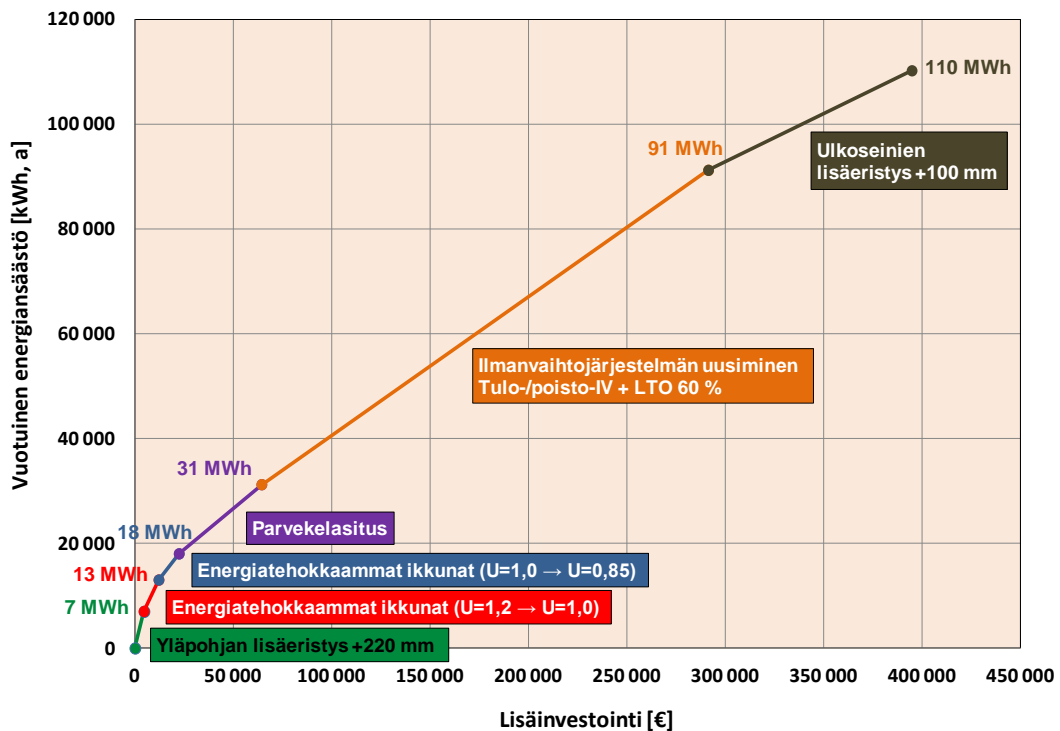
Kuva 2-15. Takuvainionkatu 2 D. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat kasvihuonekaasupäästöjen säästövaikutukset hiilidioksidiekvivalentteina (kg CO₂-ekv.).

VIRI Kolunkatu 3

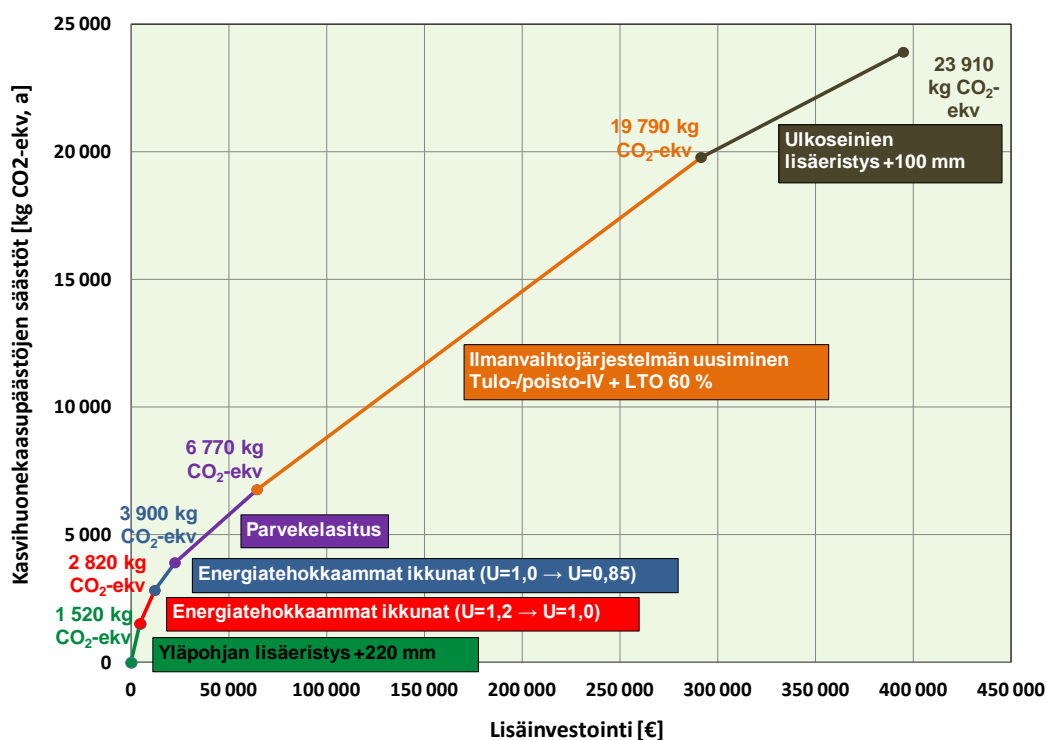
Kolunkatu 3 A–C



Kuva 2-16. Kolunkatu 3 A–C. Energiansäästötoimenpiteiden kokonaiskannattavuus, kun keskimääräinen pitoaika on 33 vuotta ja energian hinta 10 c/kWh.

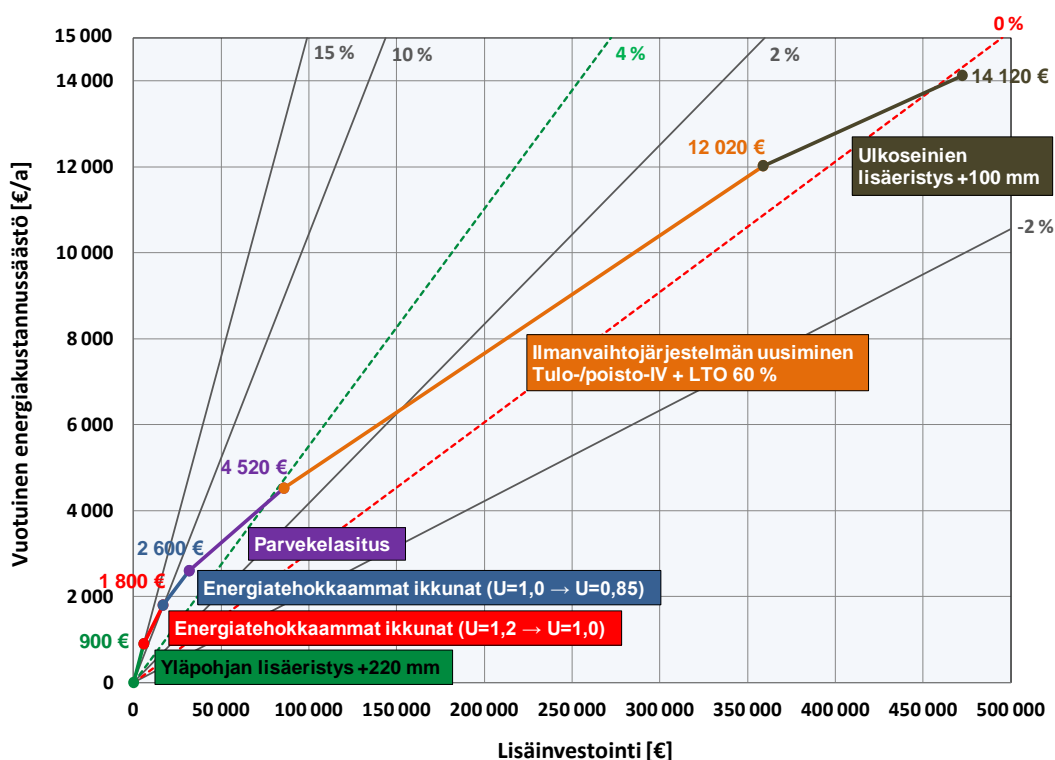


Kuva 2-17. Kolunkatu 3 A–C. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat vuotuiset energiansäästöt.

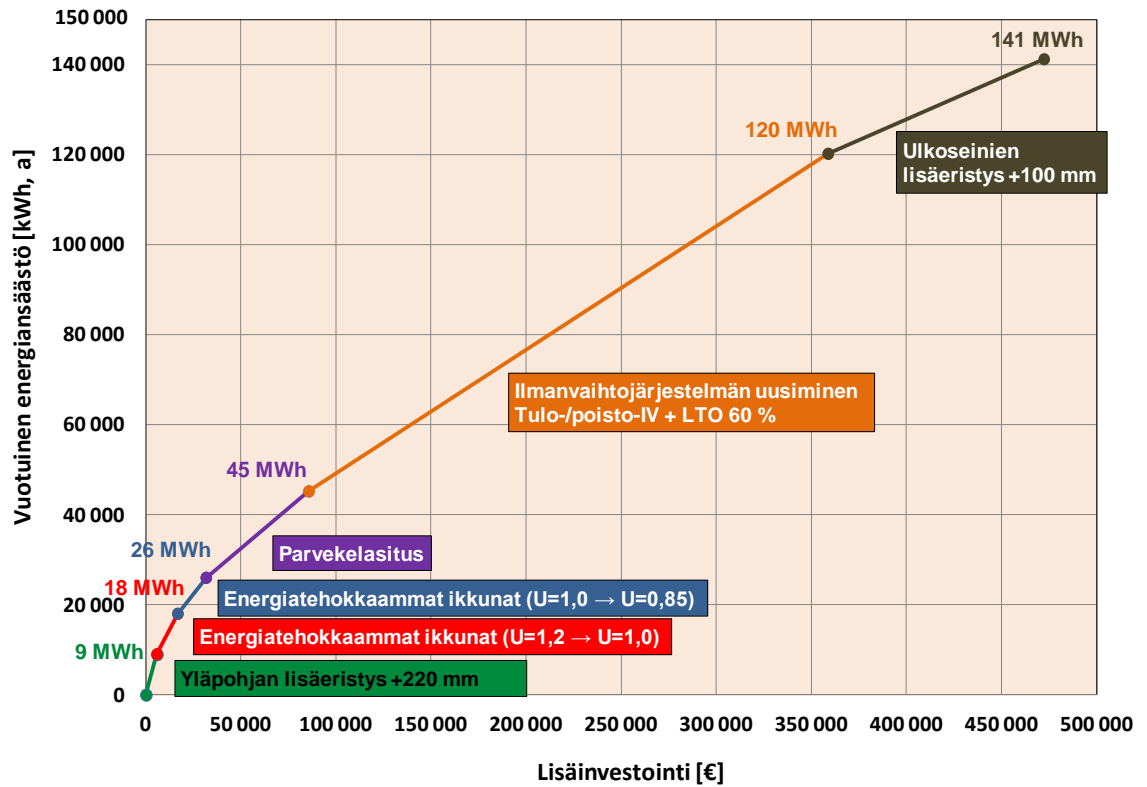


Kuva 2-18. Kolunkatu 3 A–C. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat kasvihuonekaasupäästöjen säästövaikutukset hiilidioksidiekvivalentteina (kg CO₂-ekv.).

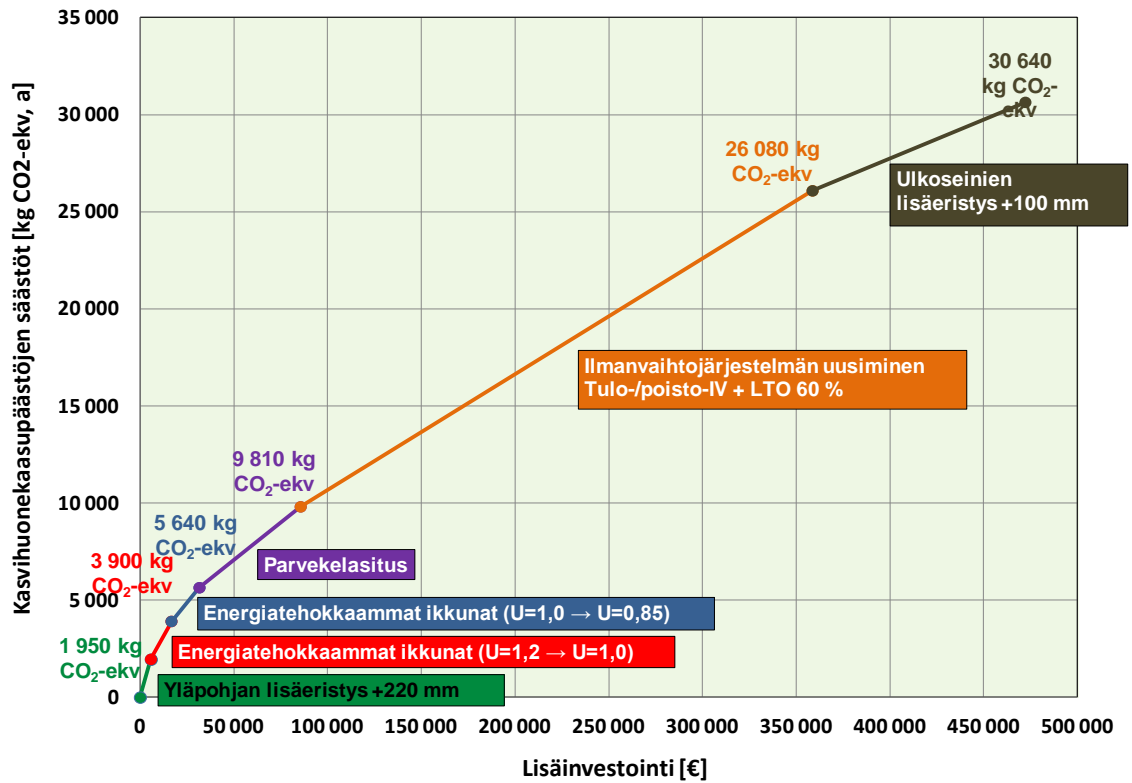
Kolunkatu 3 E–G



Kuva 2-19. Kolunkatu 3 E–G. Energiansäästötoimenpiteiden kokonaiskannattavuus, kun keskimääräinen pitoaika on 33 vuotta ja energian hinta 10 c/kWh.

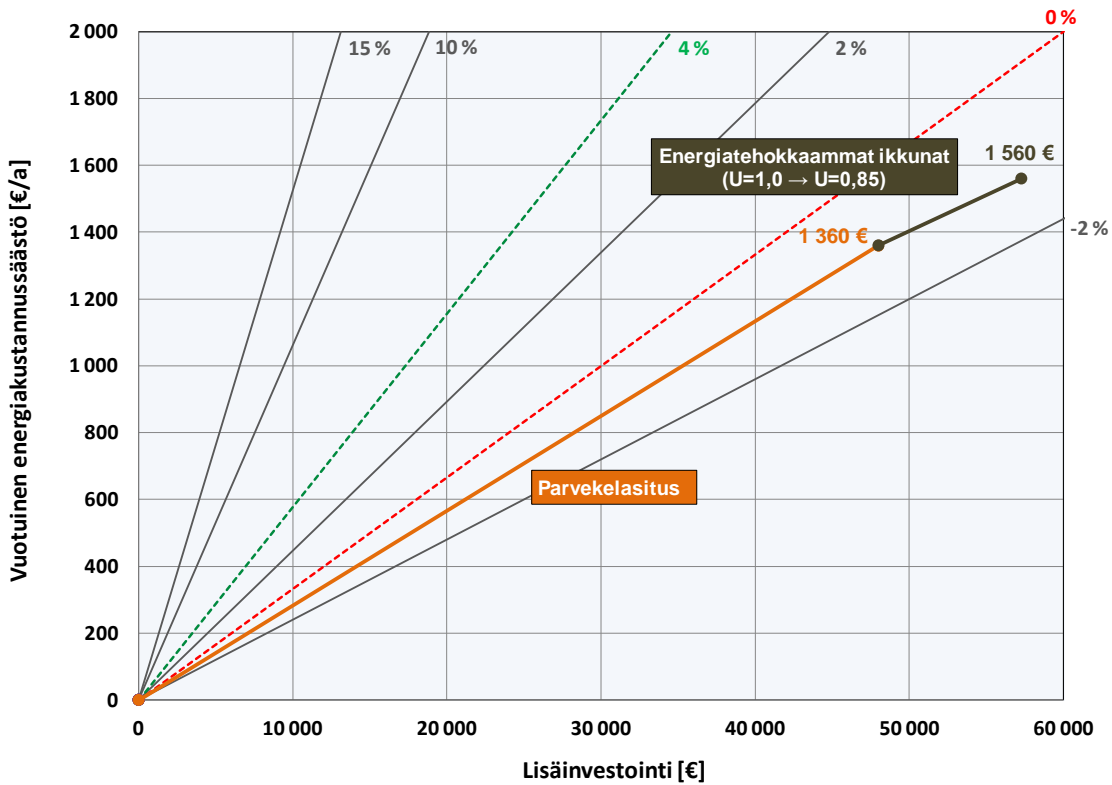


Kuva 2-20. Kolunkatu 3 E–G. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat vuotuiset energiansäästöt.

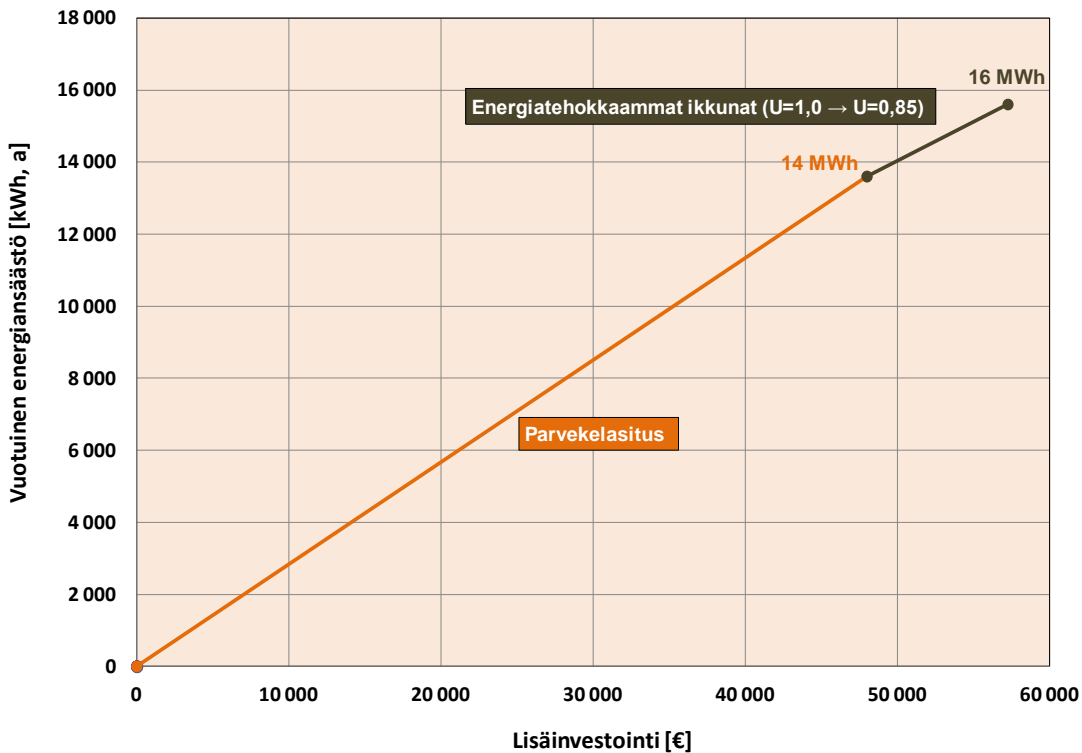


Kuva 2-21. Kolunkatu 3 E–G. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat kasvihuonekaasupäästöjen säästövaikutukset hiilidioksidiekvivalentteina (kg CO₂-ekv.).

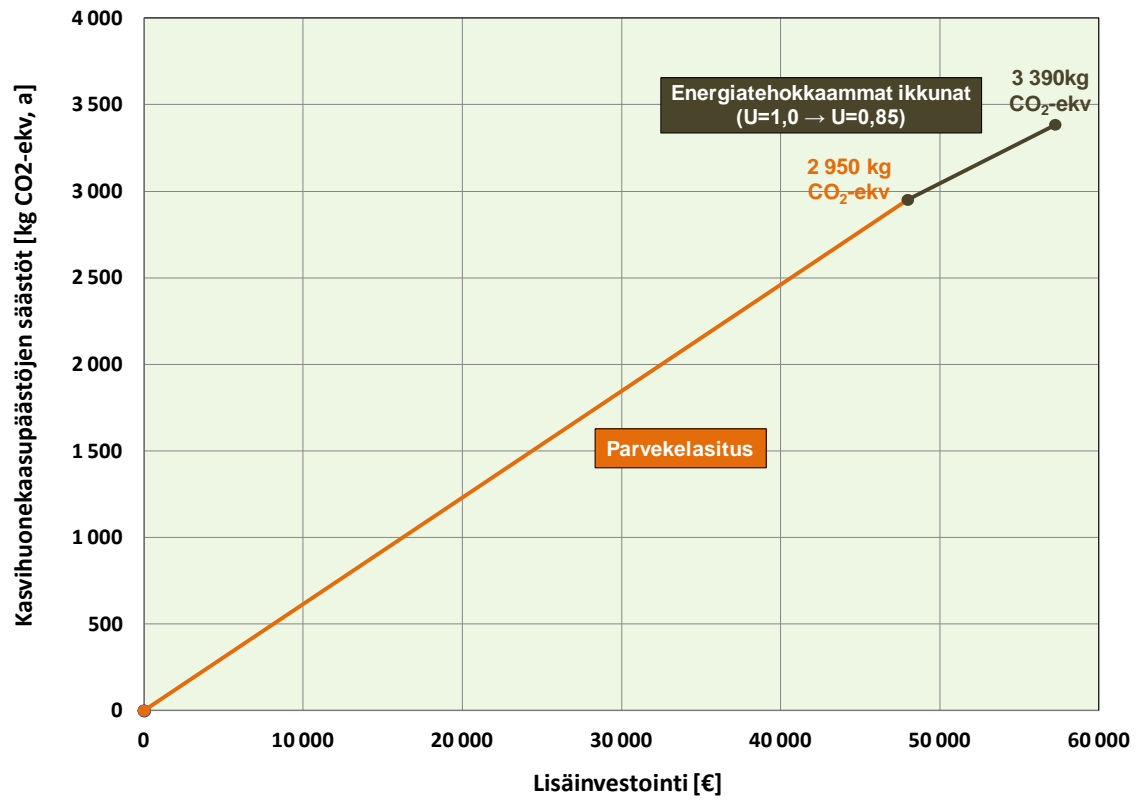
Kolunkatu 3 D



Kuva 2-22. Kolunkatu 3 D. Energiansäästötoimenpiteiden kokonaiskannattavuus, kun keskimääräinen pitoaika on 30 vuotta ja energian hinta 10 c/kWh.



Kuva 2-23. Kolunkatu 3 D. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat vuotuiset energiansäästöt.



Kuva 2-24. Kolunkatu 3 D. Energiansäästötoimenpiteillä saavutettavat kasvihuonekaasupäästöjen säästövaikutukset hiilidioksidiekvivalentteina (kg CO₂-ekv.).

Liite 3. Elinkaarikustannusten laskeminen

Taulukko 3-1. Esimerkki julkisivun lisäeristämisen elinkaarikustannusten laskemisesta (elinkaari 50 vuotta).

Laskentakorko: 3,00 %		Nettonykyarvo						
Kassa- virtojen nykyarvot	-450000	0	124995	0	-42985	0	-367989	
vuosi	hankinta- kustannus	jäännös- arvo	energia- kustannus- muutos	käyttö-, hoito ja huolto- kustannus- muutos	kunnossa- pito- kustannus- muutos	uusimis- kustannus- muutos	Kassa-virta yhteensä	Kumula- tiivinen kassa- virta
0	-450000						-450000	-450000
1		0	4858	0	0	0	4858	-445142
2		0	4858	0	0	0	4858	-440284
3		0	4858	0	0	0	4858	-435426
4		0	4858	0	0	0	4858	-430568
5		0	4858	0	0	0	4858	-425710
6		0	4858	0	0	0	4858	-420852
7		0	4858	0	0	0	4858	-415994
8		0	4858	0	0	0	4858	-411136
9		0	4858	0	0	0	4858	-406278
10		0	4858	0	0	0	4858	-401420
11		0	4858	0	0	0	4858	-396562
12		0	4858	0	0	0	4858	-391704
13		0	4858	0	0	0	4858	-386846
14		0	4858	0	0	0	4858	-381988
15		0	4858	0	0	0	4858	-377130
16		0	4858	0	0	0	4858	-372272
17		0	4858	0	0	0	4858	-367414
18		0	4858	0	0	0	4858	-362556
19		0	4858	0	0	0	4858	-357698
20		0	4858	0	0	0	4858	-352840
21		0	4858	0	0	0	4858	-347982
22		0	4858	0	0	0	4858	-343124
23		0	4858	0	0	0	4858	-338266
24		0	4858	0	0	0	4858	-333408
25		0	4858	0	-90000	0	-85142	-418550
26		0	4858	0	0	0	4858	-413692
27		0	4858	0	0	0	4858	-408834
28		0	4858	0	0	0	4858	-403976
29		0	4858	0	0	0	4858	-399118
30		0	4858	0	0	0	4858	-394260
31		0	4858	0	0	0	4858	-389402
32		0	4858	0	0	0	4858	-384544
33		0	4858	0	0	0	4858	-379686
34		0	4858	0	0	0	4858	-374828
35		0	4858	0	0	0	4858	-369970
36		0	4858	0	0	0	4858	-365112
37		0	4858	0	0	0	4858	-360254
38		0	4858	0	0	0	4858	-355396
39		0	4858	0	0	0	4858	-350538
40		0	4858	0	0	0	4858	-345680
41		0	4858	0	0	0	4858	-340822
42		0	4858	0	0	0	4858	-335964
43		0	4858	0	0	0	4858	-331106
44		0	4858	0	0	0	4858	-326248
45		0	4858	0	0	0	4858	-321390
46		0	4858	0	0	0	4858	-316532
47		0	4858	0	0	0	4858	-311674
48		0	4858	0	0	0	4858	-306816
49		0	4858	0	0	0	4858	-301958
50		0	4858	0	0	0	4858	-297100

Taulukko 3-3. Esimerkki yksinkertaistetusta elinkaarilaskelmasta, jossa vaihtoehtoja vertaillaan kassavirran erojen avulla (elinkaari 50 vuotta).

Laskentakorko:		3,00 %		Nettonykyarvo				
Kassa- virtojen nykyarvot	-210000	0	124995	0	71641	0	-13364	
vuosi	hankinta- kustannus	jäännös- arvo	energia- kustannus- muutos	käyttö-, hoito ja huolto- kustannus- muutos	kunnossa- pito- kustannus- muutos	uusimis- kustannus- muutos	Kassa-virta yhteensä	Kumula- tiivinen kassa- virta
0	-210000						-210000	-210000
1		0	4858	0	0	0	4858	-205142
2		0	4858	0	0	0	4858	-200284
3		0	4858	0	0	0	4858	-195426
4		0	4858	0	0	0	4858	-190568
5		0	4858	0	0	0	4858	-185710
6		0	4858	0	0	0	4858	-180852
7		0	4858	0	0	0	4858	-175994
8		0	4858	0	0	0	4858	-171136
9		0	4858	0	0	0	4858	-166278
10		0	4858	0	0	0	4858	-161420
11		0	4858	0	0	0	4858	-156562
12		0	4858	0	0	0	4858	-151704
13		0	4858	0	0	0	4858	-146846
14		0	4858	0	0	0	4858	-141988
15		0	4858	0	0	0	4858	-137130
16		0	4858	0	0	0	4858	-132272
17		0	4858	0	0	0	4858	-127414
18		0	4858	0	0	0	4858	-122556
19		0	4858	0	0	0	4858	-117698
20		0	4858	0	0	0	4858	-112840
21		0	4858	0	0	0	4858	-107982
22		0	4858	0	0	0	4858	-103124
23		0	4858	0	0	0	4858	-98266
24		0	4858	0	0	0	4858	-93408
25		0	4858	0	150000	0	154858	61450
26		0	4858	0	0	0	4858	66308
27		0	4858	0	0	0	4858	71166
28		0	4858	0	0	0	4858	76024
29		0	4858	0	0	0	4858	80882
30		0	4858	0	0	0	4858	85740
31		0	4858	0	0	0	4858	90598
32		0	4858	0	0	0	4858	95456
33		0	4858	0	0	0	4858	100314
34		0	4858	0	0	0	4858	105172
35		0	4858	0	0	0	4858	110030
36		0	4858	0	0	0	4858	114888
37		0	4858	0	0	0	4858	119746
38		0	4858	0	0	0	4858	124604
39		0	4858	0	0	0	4858	129462
40		0	4858	0	0	0	4858	134320
41		0	4858	0	0	0	4858	139178
42		0	4858	0	0	0	4858	144036
43		0	4858	0	0	0	4858	148894
44		0	4858	0	0	0	4858	153752
45		0	4858	0	0	0	4858	158610
46		0	4858	0	0	0	4858	163468
47		0	4858	0	0	0	4858	168326
48		0	4858	0	0	0	4858	173184
49		0	4858	0	0	0	4858	178042
50		0	4858	0	0	0	4858	182900

Liite 4. Arvotarkastelun periaatteet

Tässä liitteessä on esitetty taustaperiaatteita *kappaleessa 4.2* esimerkin avulla esitetyille arvotarkasteluille. Esitetty arvotarkastelutapa perustuu Aalto & Heljon (1984) teokseen *Rakennusten energiataloudelliset valinnat* esittämään menetelmään.

Arvokäsitteet ja arvonmäärittämenetelmät

Oleellisia arvotekijöihin liittyviä ominaisuuksia ovat, että arvostus riippuu aina arvostajasta, ajanhetkestä, paikasta ja olosuhteista. Yksi mahdollisuus arvojen jaottelulle on jakaa ne kolmeen luokkaan, jotka ovat *käyttöarvo*, *tunnearvo* ja *vaihtoarvo*.

Käyttöarvolla tarkoitetaan arvostettavan hyödykkeen tarkoituksenmukaisuutta ja suorituskykyä tiettyyn tarkoitukseen. Käyttöarvo ilmaistaan yleensä tietyn käyttäjän kannalta. Käyttöarvon mittaaminen ja määrittäminen on mahdollista erilaisten kvantitatiivisten suoritusarvojen avulla. Rakennuksen käyttöarvoon vaikuttavia arvotekijöitä, jotka ovat mitattavissa, ovat muun muassa:

- sisäilman laatu,
- terminen viihtyisyys,
- valaistusolosuhteet,
- laitteiden melu ja rakennusosien ääneneristävyys,
- käyttömukavuus,
- toimintavarmuus,
- toiminnallinen turvallisuus,
- lämmön saannin varmuus ja riittävyys sekä
- saaste- ja hajuhaitat.

Edellä mainitut tekijät voidaan edelleen jakaa useisiin osatekijöihin. Tämä voi olla tarkoituksenmukaista esimerkiksi mittausten suorittamista tai tarkempia analyysejä varten.

Käyttöarvojen arvostustarkasteluissa voidaan käyttää apuna hyötyfunktioita. Ratkaisun hyvyys pyritään tällöin ilmaisemaan yhdestä tai useammasta tarkasteltavaa arvoa mittaavasta suureesta riippuvana. Hyötyfunktion käyttö mahdollistaa valintavaihtoehtojen keskinäisen hyvyyden rationaalisen vertaamisen tarkasteltavan ominaisuuden suhteen. Vertailua varten tarvitaan asteikko, joka muodostetaan esimerkiksi tutkimus- ja mittaus tulosten perusteella. Hyötyfunktioita määritettäessä on oleellista tunnistaa myös funktion muotoon vaikuttavat ulkoiset tekijät. Tarkasteltavasta ominaisuudesta ja valitusta asteikosta riippuen funktio voi olla lineaarinen, käyräviivainen tai epäjatkuva porraskäyrä.

Usein käytettävissä ei ole riittäviä tutkimustuloksia tai tarvittavien mittausten toteuttaminen voi olla hyvin hankalaa. Tällöin on turvaututtava asiantuntijan tai asianomaisen

päätöksentekijän tekemään päättäjearvioon tai asiantuntijaryhmän tekemään ryhmäarvioon. Tällöin arvio perustuu asiantuntijan, asiantuntijaryhmän tai päätöksentekijän kokemukseen ja asiantuntemukseen.

Tunnearvoilla tarkoitetaan arvotekijöitä, joita ei voida mitata erilaisina kvantitatiivisina suoritusarvoina. Ne riippuvat yksinomaan arvostajasta ja sitä kautta esimerkiksi hänen kokemuksestaan, koulutuksestaan ja kulttuuritaustastaan. Hyvä esimerkki tunnearvosta on esimerkiksi ulkonäkö. Tunnearvojen määrittäminen voidaan tehdä päättäjearvion tai ryhmäarvion avulla. *Päättäjearviossa* päätöksentekijä tekee omien arvoperusteidensa mukaisen arvoarvion, joka ilmaisee hänen tarkasteltavalle arvotekijälle antamansa arvon kyseisellä ajanhetkellä, kyseisessä paikassa ja kyseisissä olosuhteissa. *Ryhmäarviossa* ryhmä suorittaa arvoarviot ja äänestysmenettelyn jälkeen määrittää arvot. Eri käyttäjäryhmien arvostuksia voidaan mitata esimerkiksi haastattelututkimuksilla.

Vaihtoarvot ovat arvoja, joita hyödykkeellä ei todellisuudessa ole, mutta joita voidaan saavuttaa kyseisen hyödykkeen avulla. Vaihtoarvojen arvo määritetään usein rahassa markkina-arvojen tai hyödykkeen tuottojen perusteella. Esimerkiksi lämmön talteenotolaitteen arvoksi voidaan ajatella sen avulla säästettävät energiakustannukset.

Tässä raportissa arvoilla tarkoitetaan lähinnä käyttöarvoja ja esteettisten tekijöiden tunnearvoja. Vaihtoarvoista puhutaan pääosin tuottoina.

Arvojen huomioiminen kokonaisuuksien vertailussa

Kun *kappaleessa 2.3* esitetyn valintaprosessin mukaiset kokonaisratkaisuvaihtoehdot ovat selvillä, niiden välinen arvovertailu voidaan suorittaa seuraavien vaiheiden mukaisesti.

1. Määritetään kyseisessä rakennuksessa energiatalouteen vaikuttavien valintojen perusarvo. Yleensä tämä voidaan valita yhtä suureksi kuin halvimman kokonaisratkaisun kokonaiskustannukset koko rakennuksen pitoajalta (investointi-, energia- ja hoito-, kunnossapito- ja uusimiskustannukset).
2. Määritetään ominaisuudet, joissa vertailtavissa järjestelmissä voi syntyä arvoeroja ja muodostetaan näistä ominaisuuksista vertailun ominaisuusjärjestelmä.
3. Valitaan arvosteluasteikko ja määritetään siinä ominaisuuden tyydyttävää tasoa ilmaiseva arvosana (esim. 1 = käyttäjän kannalta *termisen viihtyisyyden* tyydyttävä taso). Tämän jälkeen arvosteluasteikkoon kiinnitetään ylintä käyttökelpoista ominaisuuden tasoa ilmaiseva arvosana sen perusteella, kuinka monta kertaa paremmaksi ominaisuus voi käyttäjän kannalta kasvaa (esim. 5 = käyttäjän kannalta *termisen viihtyisyyden* ylin käyttökelpoinen taso). Seuraavaksi valitaan tapa, miten ominaisuutta mitataan ja miten mittauksien tulokset muunnetaan arvoasteikolle. Jos arvostelu perustuu suunnittelijan tai päätöksentekijän subjektiiviseen ti-

lannearvioon, sovitaan arvosteluperusteista, jotta arvostelu suoritetaan aina samoja periaatteita noudattaen.

4. Määritetään tarkasteltavien ominaisuuksien keskinäisen merkityksen perusteella eri ominaisuuksille painokertoimet siten, että niiden summa on 1.
5. Arvostetaan eri vaihtoehtojen ominaisuudet vertaamalla yhtä ominaisuutta kerrallaan valitussa arvosteluasteikossa *kohdassa 3* sovitun mittaustavan tai arvostusperiaatteiden mukaisesti.
6. Määritetään arvoero (rahassa mitattuna), jonka päätöksentekijä on valmis maksamaan tarkasteltavien ominaisuuksien suhteen tyydyttävän ja ylimmän käyttökelpoisen ratkaisun välisestä erosta.
7. Lasketaan edellisten kohtien perusteella kunkin tarkasteltavan vaihtoehdon arvo seuraavasti:

$$A_j = A_p + k_j \times \Delta A \quad (\text{kaava 1})$$

$$k_j = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \times (a_{ji} - a_{pi})}{a_k} \quad (\text{kaava 2})$$

A_j = vaihtoehdon j arvo

A_p = perusarvo

k_j = vaihtoehdon j suhteellinen hyvyyskerroin tarkasteltavien ominaisuuksien suhteen

ΔA = suurin mahdollinen arvoero, joka voi olla tarkasteltavien ominaisuuksien suhteen parhaalla ja alimmalla hyväksyttävällä ratkaisulla

p_i = ominaisuuden i suhteellista tärkeyttä osoittava painoarvo

a_{ji} = vaihtoehdon j hyvyttä ominaisuuden i suhteen osoittava pistearvo

a_{pi} = perusarvon määrittämiseen käytetyn vaihtoehdon hyvyttä ominaisuuden i suhteen osoittava pistearvo

a_k = valitun arvosteluasteikon tyydyttävän ja ylimmän käyttökelpoisen välinen erotus

n = tarkasteltavien ominaisuuksien lukumäärä

Perusarvo

Jotta kaikkia valinnoissa kyseeseen tulevia arvoja ei tarvitsisi pohtia, perusarvoksi voidaan yleensä valita halvimman kelvollisen vaihtoehdon kokonaiskustannukset rakenuksen elinkaaren aikana. Tällöin voidaan keskittyä arvotekijöihin, joissa eri valintavaihtoehtoisissa syntyy arvoeroja. Valinta sisältää oletuksen, että halvin vaihtoehto on kustannustensa arvoinen. Tällöin on periaatteessa käytetty perusarvon määrittämiseen

vaihtoarvon käsitettä ja perusarvo on määritetty markkinahintojen mukaisesti. Perusarvon määrittämisen avulla saadaan arvot vertailukelpoisiksi kustannusten kanssa.

Vaihtoarvo ei sovi vertailun lähtökohdaksi silloin, kun kysytään, onko investointi energiataloudellisiin tekijöihin ylipäättään edullista. Ongelma vaatii erilaisen lähestymistavan tämän tyyppisessä vertailussa. Kokonaisratkaisuvaihtoehtoja vertailtaessa on kuitenkin lähtökohdana se, että vaihtoehtoista on jokin valittava. Korjaustoiminnassa voi vertailussa olla mukana ns. nollavaihtoehto, jolloin mitään investointeja ei suoriteta, mutta tämäkin on valinta, josta seuraavat energia-, hoito-, kunnossapito- ja uusimiskustannukset.

Ominaisuusjärjestelmä

Tarkasteltaville kokonaisratkaisuvaihtoehtoilta voidaan määrittää ominaisuusjärjestelmä tarkastelemalla, mitä tarkasteltava kokonaisuus tekee ja mitä tehtävää varten se on olemassa. Tämän toiminta-analyysivaiheen jälkeen valitaan ne ominaisuudet, joissa tarkasteltavat valintavaihtoehdot poikkeavat toisistaan. Tarkastelutavasta riippuen ominaisuusjärjestelmä voidaan valita hyvin yksityiskohtaiseksi useita eri ominaisuuksia sisältäväksi järjestelmäksi tai suppeammaksi harvoja useiden ominaisuuksien yhdistelmiä sisältäväksi järjestelmäksi.

Mittaussuureiden käyttö ominaisuuksien arvostamiseen vaatii yleensä varsin laajan ominaisuusjärjestelmän, kun taas päätöksentekijän tai suunnittelijan tekemässä päättäjäarviossa on kokonaisuuden helpomman hahmottamisen vuoksi viisaampaa tyytyä suppeampaan ominaisuusjärjestelmään. Ominaisuudet on mahdollisuuksien mukaan määritettävä siten, että ne ovat toisistaan riippumattomia.

Arvosteluasteikko ja ominaisuuksien arvostelu

Ominaisuuksien arvosteluasteikon on oltava suhdelukuasteikko, jotta jäljempänä suoritettavat laskutoimitukset olisivat voimassa. Tämä tarkoittaa sitä, että valitsijan kannalta esimerkiksi arvosanan 2 saanut vaihtoehto on todella 2 kertaa parempi arvostettavan ominaisuuden suhteen kuin arvonsanan 1 saanut vaihtoehto. Jos arvostelu suoritetaan mittaustulosten perusteella, määritetään hyötyfunktio, jolla mittaustulokset muutetaan systemaattisesti valitsijan arvoasteikkoon.

Hyötyfunktion muoto voidaan määrittää kunkin ominaisuuden osalta erikseen esimerkiksi ns. puolittamismenetelmää käyttäen. Puolittamismenetelmässä arvioidaan ensin, mikä mittasuureen arvo olisi käyttäjän kannalta puoliksi niin hyvä kuin paras mittasuureen arvo. Näin saadaan selville parhaimman ja tyydyttävän arvosanan keskiarvoa vastaava mittasuureen arvo. Menettelyä jatketaan keskiarvosta ylöspäin ja alaspäin samalla tavalla, kunnes riittävään monta pistettä hyötyfunktion määrittämistä varten tunnetaan. Kun ominaisuuksien arvostus suoritetaan päättäjäraviona, on tärkeä sopia niistä periaatteista, joilla arvoasteikkoa käytetään. Arvosteluasteikon mielivaltaisen käyttö saattaa johtaa väärin johtopäätöksiin.

Painokertoimet

Painokertoimien avulla ominaisuuksien arviointi voidaan jakaa kahteen vaiheeseen. Ensin päätetään ominaisuuksien keskinäisestä tärkeydestä, jonka jälkeen voidaan tarkastella ainoastaan eri vaihtoehtojen keskinäisiä eroavuuksia. Painokertoimet määritetään suhdelukuasteikolla 0–1 siten, että niiden summa on 1. Painoarvot voidaan määrittää esimerkiksi siten, että aluksi järjestetään tärkeysjärjestyksessä peräkkäisten ominaisuuksien väliset tärkeyserot eron suuruuden mukaiseen järjestykseen. Tärkeimmälle ominaisuudelle annetaan painoarvo – esimerkiksi 10 tai 100 – johon muita ominaisuuksia verrataan pitäen mielessä niiden tärkeysjärjestys sekä tärkeyserojen suuruusjärjestys. Muille ominaisuuksille annetaan tärkeimpään ominaisuuteen suhteutetut painoarvot ja tarkistetaan, että nämä eivät ole ristiriidassa tärkeysjärjestyksen tai tärkeyserojen suuruusjärjestyksen kanssa. Kun painoarvot on annettu, ne muutetaan painokertoimiksi välille 0–1 jakamalla kunkin ominaisuuden painoarvo kaikkien ominaisuuksien painoarvojen summalla.

Arvoero

Arvostelu on syytä aloittaa siitä vaihtoehdosta, jonka avulla määritettiin perusarvo. Kun kaikki vaihtoehdot on arvosteltu sovittujen mittaus- tai menettelytapojen mukaisesti, voidaan laskea kunkin vaihtoehdon suhteellinen hyvyys perusarvoon verrattuna (*kaava 2*). Jotta arvoero voitaisiin ilmaista rahamääräisenä suurena, pitää määrittää, miten suuri kaikkien tarkasteltavien ominaisuuksien suhteen tyydyttävän ja parhaan vaihtoehdon välinen rahamääräinen arvoero voi olla. Tämä voidaan määrittää testaamalla päättäjän maksuhalukkuutta kyseisten arvotekijöiden suhteen. Vaihtoehtoisesti voidaan myös tarkastella, mitä tuottojen menetyksiä tai välillisiä kustannuksia arvostettavat ominaisuudet voivat aiheuttaa. Tämän jälkeen eri valintavaihtoehtojen arvo saadaan lisäämällä perusarvoon kyseisen vaihtoehdon arvoero perusvaihtoehtoon nähden (*kaava 1*).

Menettelyn edut ja rajoitukset

Edellä esitetyn menettelyn etuina on:

- systemaattisuus,
- pyrkimys käyttöarvojen objektiiviseen mittaamiseen,
- pyrkimys päätöksentekijän preferenssien huolelliseen tarkasteluun niin piste- kuin painoarvojen osalta sekä
- arvojen vertailukelpoisuus kustannusten kanssa.

Toisaalta menetelmän rajoituksina ovat vaatimukset ominaisuuksien mittaamisesta suhdelukuasteikolla ja ominaisuuksien keskinäisestä riippumattomuudesta. Monesti pistearvot voidaan rationaalisesti määrittää vain järjestysluku- tai välimatka-asteikolla, eikä eri ominaisuuksien välinen riippumattomuus ole kuin osittain voimassa. Tällöin menetelmän luotettavuus kärsii. Yleisen arvonmäärittämisen tekeminen ei ole mahdollista, mutta esitetyllä menettelyllä valitsijat voivat systemaattisesti arvioida, mikä ratkaisuvaihtoehto on edullisin.

Liite 5. Tiiviysmittaustulosten analysointi

Tämä liite täydentää *luvun 6* esitystä EVAKO-hankkeen yhteydessä toteutetusta tiiviysmittausosuudesta. Tässä liitteessä on:

- havainnollistettu tehtyihin tiiviysmittauksiin liittyvää laskentaa,
- esitetty yksityiskohtaisemmat tulokset ennen perusparannusta ja sen jälkeen toteutetuista tiiviysmittauksista,
- tehty mittaustulosten virhearviointi sekä
- analysoitu mittauksiin liittyneitä rajoituksia ja ongelmia.

Laskenta

Laskennan valmistelu

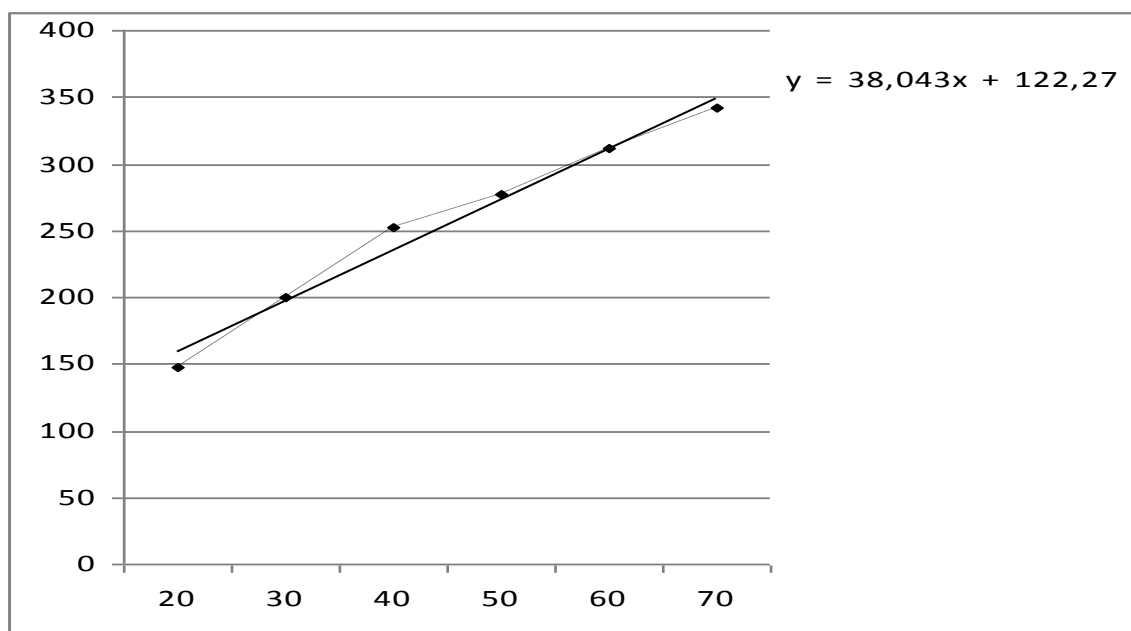
Mittaukset A – G

Laitteistosta suoraan saadut n_{50} -luvut ali- ja ylipaineessa vietiin kustakin asunnosta Excel-taulukkoon ja laskettiin niiden keskiarvo, joka on laskennassa käytetty n_{50} -luku.

Vastapainemittaus H

Vastapainemittauksissa automaattista mittausmenetelmää ei voida käyttää. Sen sijaan muissakin mittauksissa käytetyt 20...70 Pa ali- ja ylipaineet haettiin kullekin paineelle manuaalisesti yhtä aikaa sekä mittaavalla että vastapaineen luovalla painekoelaitteistolla. Jokaisella paineen arvolla merkittiin muistiin 5 eri vuotoilman määrän lukemaa sekä ali- että ylipaineessa; näiden 10 lukeman keskiarvo muodosti vuotoilmaluvun kullekin paineen arvolle.

Tämä 20...70 Pa -sarja vietiin asunnoittain Excel-taulukkoon, jossa arvot merkittiin pisteinä graafiseen Pa/V-kaavioon. Pisteiden kautta piirretyn regressiosuoran yhtälöstä voitiin laskea asunnoille vaipan läpi kulkevaa ilmavirtausta kuvaava V50-luku ja siitä asunnon tilavuuden avulla n_{50} -luku.



Kuva 5-1. V_{50} -luvun määrittäminen regressiosuoralta.

Tämän manuaalisen menetelmän luotettavuuden määrittämiseksi vastapainemittauksessa H tehtiin kaksi erillistä mittausta. Ensimmäinen (H_{ref}) tehtiin mitattavassa asunnossa ilman vastapainetta niin, että tiivistys- ym. olosuhteet olivat standardinmukaista paine-koetta (mittausvariaatio D) vastaavat. Toinen mittaus (H_{vp}) oli varsinainen vastapainemittaus.

Mittausten D ja H_{ref} tuloksia verrattaessa nähtiin erojen olevan erittäin pieniä. Manuaalinen menetelmä voitiin siis todeta riittävän luotettavaksi mittaustavaksi, jolloin myös vastapainemittauksen H_{vp} tulokset ovat yhteismitallisia muiden mittaustulosten kanssa.

Taulukko 5-1. Mittausten D ja H_{ref} vertailu.

ASUNTO	MITTAUS D , n_{50} [1/h]	MITTAUS H_{ref} , n_{50} [1/h]	ERO
A1	1,76	1,72	0,04
A3	2,65	2,43	0,22
C17	1,42	1,40	0,02
C19	2,25	2,37	0,13
C21	1,94	1,92	0,01
D28	0,72	0,74	0,02

Mittaussarjojen A – G yhdistäminen

Mittaussarjoista tehtiin seuraavat laskutoimitukset, jotka määrittävät eri rakenneosien läpi kulkevan ilmavuodon:

Taulukko 5-2. Ilmavuodot rakennusosittain mittauksissa A – C ja D – G.

Mittauspiste porraskäytävän ovessa	
A	Mitattu ilmavuoto koko vaipan läpi (ei sisällä käytäväovea)
A – B	Ikkunoiden + parvekeoven osuus
B – C	Ulkovaipan liitosten osuus
C	Jäännösvuoto, sisältää ulkovaipan rakenteen läpi tulevan vuodon ja sisäiset vuodot
Mittauspiste parvekeovessa	
D	Mitattu ilmavuoto koko vaipan läpi (ei sisällä parvekeovea)
D – E	Ikkunoiden osuus
E – F	Ulkovaipan liitosten osuus
F – G	Käytäväoven osuus
G	Jäännösvuoto, sisältää ulkovaipan rakenteen läpi tulevan vuodon ja sisäiset vuodot

Kuten aikaisemmin todettiin, mittauslaitteiston sisältävä oviaukko on ilmavuodon suhteen neutraali eli sen läpi ei vuoda ilmaa mittauksen aikana. Siksi on otettava käyttöön ns. teoreettisen kokonaisvuodon käsite. Se voidaan ajatella n_{50} -luvuksi, joka ottaa huomioon myös mittauspisteen ilmavuotopotentialin. Teoreettinen kokonaisvuoto voidaan laskea yhdistämällä $A + (F - G)$. Rakenneosien suhteelliset vuodot määritetään osuuk-sina tästä vuodosta.

Parvekeoven osuus voidaan määrittää kahta kautta: $(A - B) - (D - E)$ (ikkunat + parvekeovi – ikkunat) tai $A + (F - G) - D$ (teoreettinen kokonaisvuoto – mitattu vuoto ilman parvekeoven osuutta). Näitä kahta tulosta verratessa todetaan, että tulokset ovat varsin lähellä toisiaan: erot n_{50} -luvussa ovat vain 0,22 ... 0,34 l/h. Täten kumpaa tahansa laskentatapaa voidaan käyttää.

Ulkovaipan liitosten osuus $(B - C)$ ja $(E - F)$ on mitattu samalla tavoin molemmissa mittausarjoissa, joten tulokset ovat keskenään suoraan vertailukelpoisia. Tulosten erot ovat paria poikkeusta lukuun ottamatta edelleen todella pieniä ja molemmat laskentatavat ovat hyväksyttäviä.

Jäännösvuotojen käsittely on vaikeampaa, sillä ne eivät ole suoraan vertailukelpoisia: molemmista puuttuu mittauspisteen osuus, jotka ovat erilaiset parveke- ja käytäväoven kautta mitattaessa. Useimmissa tapauksissa käytäväoven vuoto-osuus on suurempi kuin parvekeoven, joissakin tapauksissa huomattavastikin. Tämä merkitsee sitä, että C-mittauksesta puuttuva käytäväovi antaa ehkä liian optimistisen tuloksen parvekeoven eliminoivaan G-mittaukseen verrattuna.

Mittausvariaatioiden A – G valinta

Mittausarjoja yhdistettäessä tulee, kuten mittausmenetelmää suunniteltaessa todettiin, arvioida myös sitä, voitaisiinko osa alkuperäisistä mittausvariaatioista karsia pois menetelmän luotettavuuden kärsimättä. Mittausarjojen yhdistämisen yhteydessä huomattiin, että laskettaessa vuoto-osuuksia eri laskentatavoilla useat vaihtoehdot olivat mahdollisia. Siksi laskentavaihtoehdon valinnassa voidaan ottaa huomioon laskentatarkkuuden ja luotettavuuden lisäksi myös mittausprosessin sujuvuus. Tämän perusteella lopullinen laskentamenetelmä muotoutui seuraavasti:

Taulukko 5-3. Eri rakenneosien ilmavuoto-osuuksien laskeminen.

LASKELMA	TULOS
$A + (F - G)$	Teoreettinen vuoto-osuus koko asunnon vaipan läpi (sis. myös mittauspisteen)
$D - E$	Ikkunoiden osuus
$A + (F - G) - D$	Parvekeoven osuus
$E - F$	Ulkovaipan liitosten osuus
$F - G$	Porraskäytävän oven osuus
G	Jäännösvuoto: sisältää mahdollisen ulkovaipan rakenteiden läpi tapahtuvan vuodon sekä sisäiset vuodot

Taulukosta nähdään, että mittauksia B ja C ei enää tarvita. Nyt vain mittaus A tehdään porraskäytävän ovesta ja kaikki muut mittaukset tapahtuvat parvekeoven ollessa mittauspisteenä. Alkuperäinen mittausuunnitelma yksinkertaistuu ja asuntoa kohden käytetty mittausaika vähenee.

Vastapaineen vaikutuksen laskeminen

Varsinaisen ulkovaipparakenteen osuus (kun liitosten osuus on otettu jo erikseen huomioon) koko mitattavan asunnon ilmavuodosta voidaan laskea standardin mukaisen painekokeen D ja vastapainemittauksen H_{vp} erotuksen avulla: $H = D - H_{vp}$. Kun toisaalta H käsittää kaikki aiemmin lasketut ulkovaipan rakenneosat, jää ulkovaipparakenteen osuudeksi kokonaisvuodosta erotus $H - (D - E) - (A + F + G - D) - (E - F)$. Lopulta sisäisten vuotojen osuus voidaan määritellä jäännösvuodon G ja ulkovaipan kokonaisvuodon H avulla ja sen osuudeksi jää $G - H$.

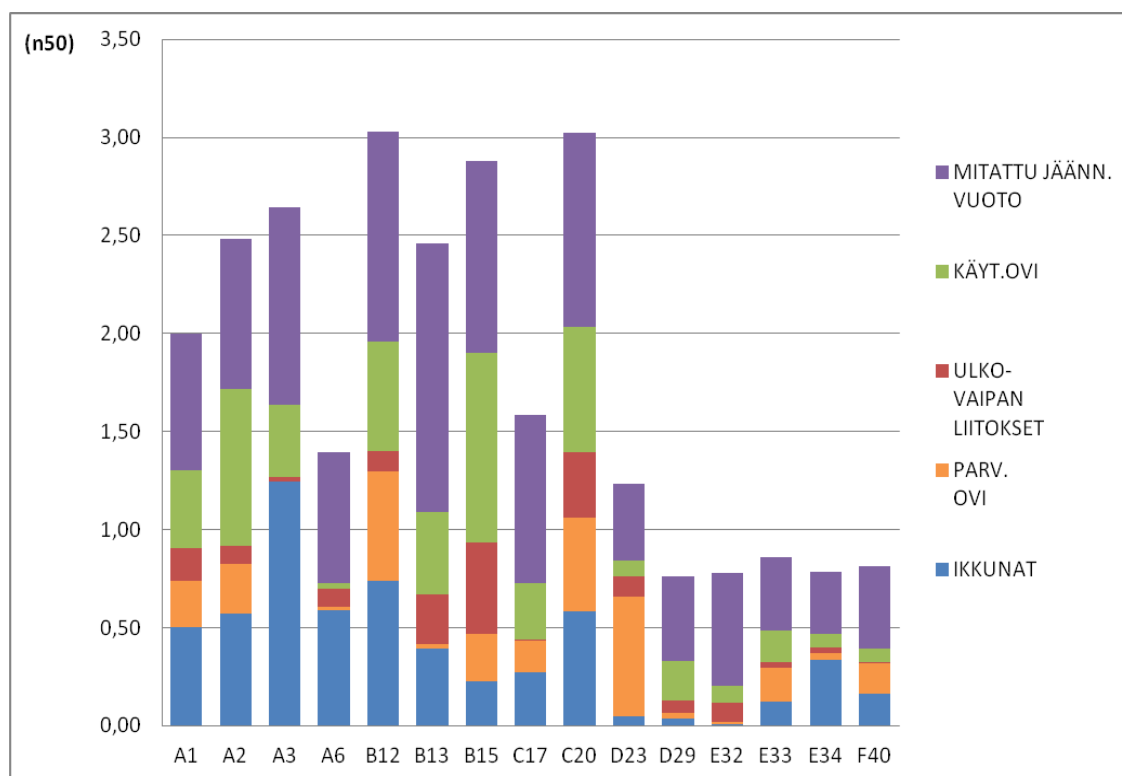
Tulokset

Tulosten esittäminen

Kun *Laskenta*-kappaleessa esitetty laskentaprosessi on viety päätökseen, voidaan tuloksia rajata ja esittää eri tavoin tarpeesta riippuen. Yleensä graafinen esitystapa on kaikkein havainnollisin.

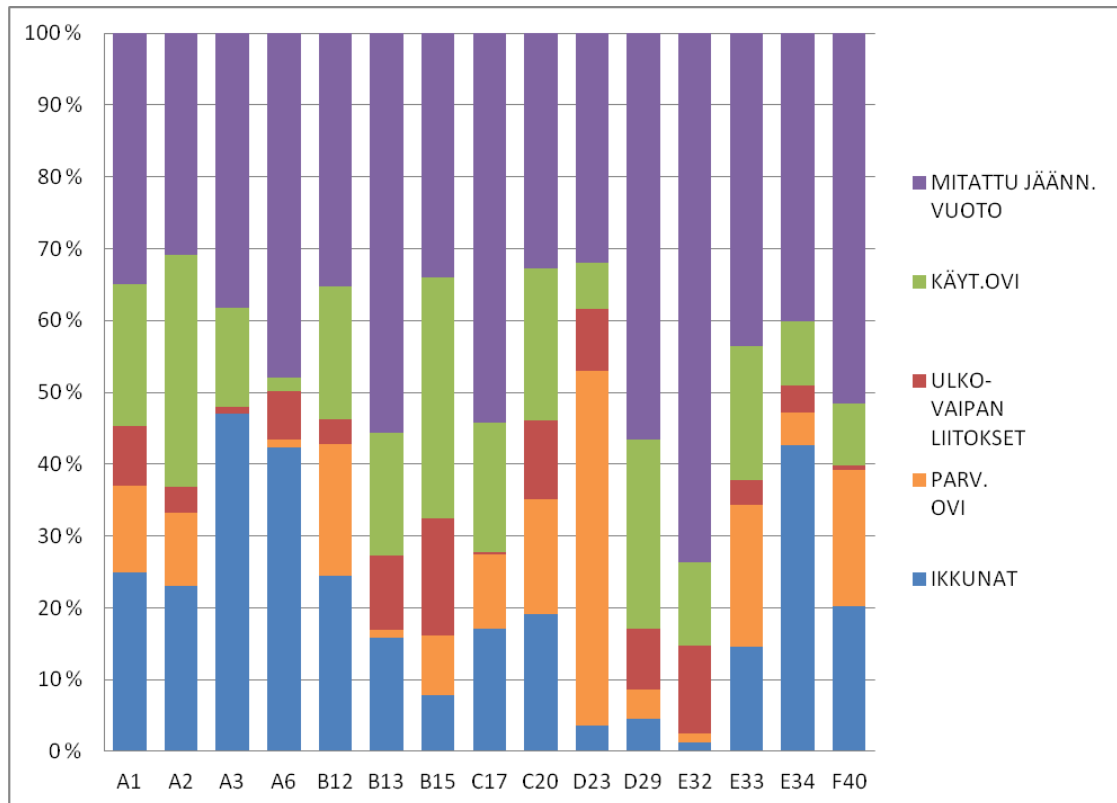
Mittausten lukumäärä oli tässä tutkimuksessa varsin pieni. Varsinkin vastapainemittauksia voitiin tehdä vain muutama, joten niiden osalta tulosten esittäminen esim. keskiarvoina ei ole tarkoituksenmukaista eikä niitä ole syytä yhdistää muihin mittaustuloksiin. Tämä on otettava huomioon myös esitettyjen tulosten arvioinnissa: niitä tulisi tässä vaiheessa tarkastella lähinnä esimerkkeinä mittausmenetelmän mahdollisuuksista.

Ennen korjauksia tehdyt mittaukset



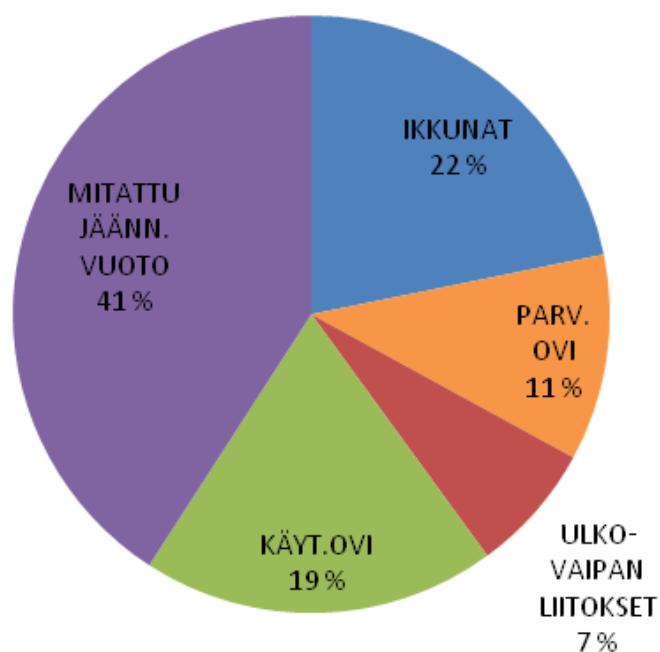
Kuva 5-2. Osuudet kokonaisvuodosta asunnoittain n_{50} -luvun funktiona.

Kun mittaustulokset esitetään osuuksina mitatuista n_{50} -luvuista, voidaan helposti huomata kahden mitatun rakennuksen olevan näennäisestä samanlaisuudestaan huolimatta varsin eri tasoisia tiiviydeltään: A-talossa (portaat D, E ja F) saavutettiin erittäin hyviä tuloksia, kun taas B-talossa (portaat A, B ja C) tulokset olivat selvästi huonompia. Tämä voidaan nähdä myös asukaskyselyn tuloksista, joissa B-talossa valitettiin huomattavasti enemmän mm. hajuista ja vetoisuudesta.



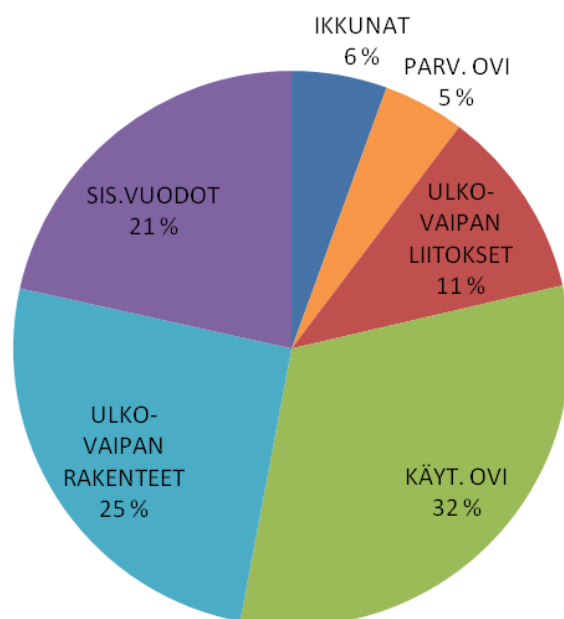
Kuva 5-3. Prosenttiosuudet kokonaisvuodosta asunnoittain.

Kun kussakin asunnossa rakennusosien vuoto-osuudet esitetään suhteellisenä osuutena 100 %:sta, voidaan todeta, että yhtenäistä linjaa on vaikeaa löytää. Vanhat ikkunat ja ovet näyttävät olevan melko suuri vuototekijä, mutta joissakin asunnoissa niiden kautta vuotoa tapahtuu hyvin vähän. Yhteinen tekijä näyttää olevan kuitenkin se, että jäännös-
vuodon eli erittelemättömien, mm. sisäisten vuotojen osuus on melko suuri vielä senkin jälkeen, kun rakennesiirtainen vuoto on saatu eriteltyä.



Kuva 5-4. Osuudet kokonaisvuodosta, mitattujen asuntojen keskiarvo.

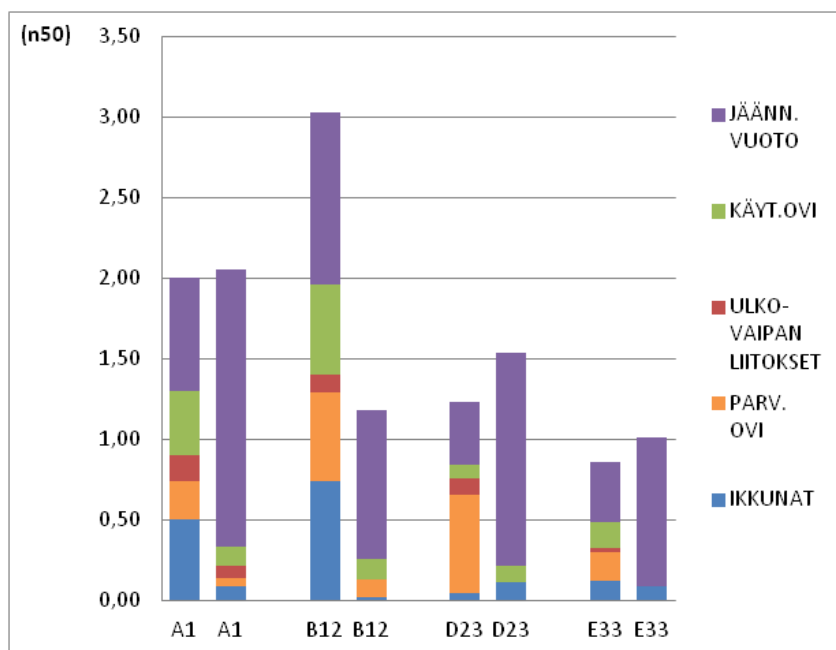
Myös esitys mitattujen asuntojen vuoto-osuuksien keskiarvosta osoittaa, että mitatun jäännösvuodon osuus on huomattavan suuri.



Kuva 5-5. Vastapaineen vaikutus asunnossa D29.

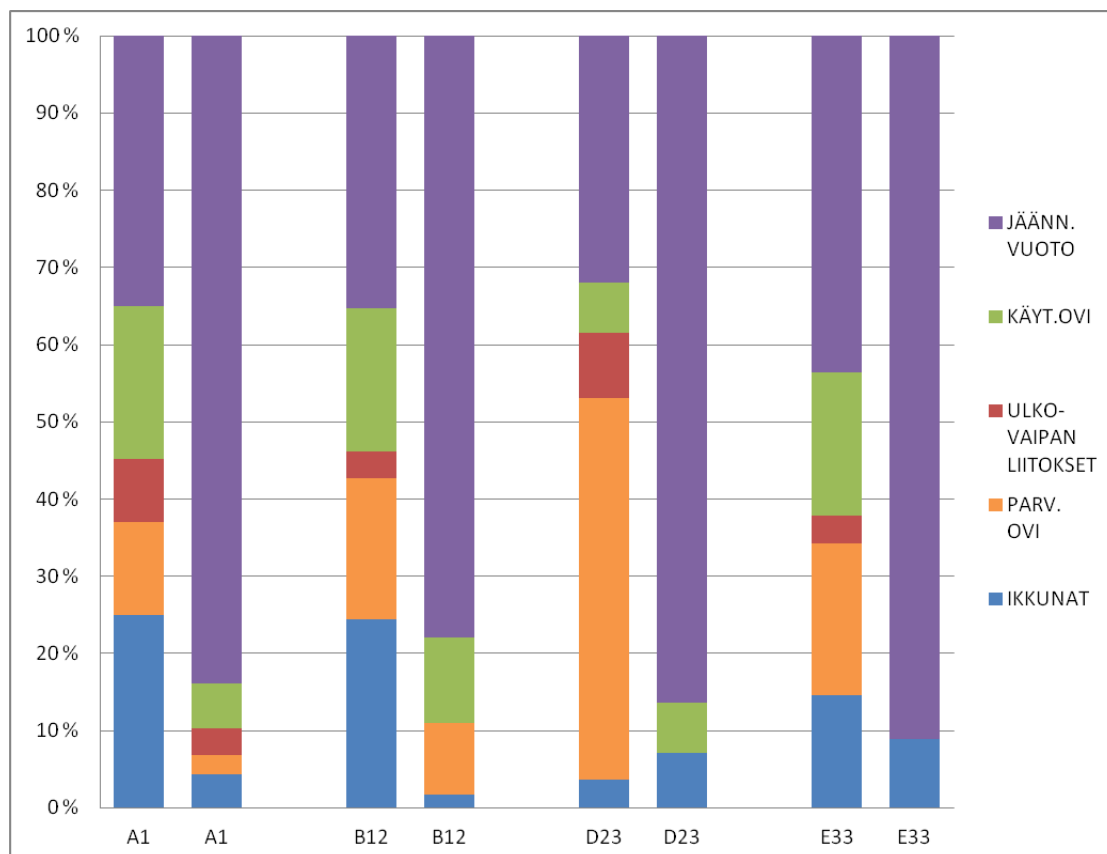
Kun mitatusta jäännösvuodosta erotetaan vastapainemittauksen avulla ulkovaipan rakenteiden osuus, paljastuu, että n. puolet äsken todetusta jäännösvuodosta tapahtuu ulkovaipan rakenteiden kautta ja puolet on sisäisten vuotojen osuutta. Koska täysi mittausarja vastapainemittauksineen voitiin tehdä vain muutamassa asunnossa, edustaa tämä jakauma tosin vain yhden asunnon tilannetta.

Korjausten jälkeen tehdyt mittaukset



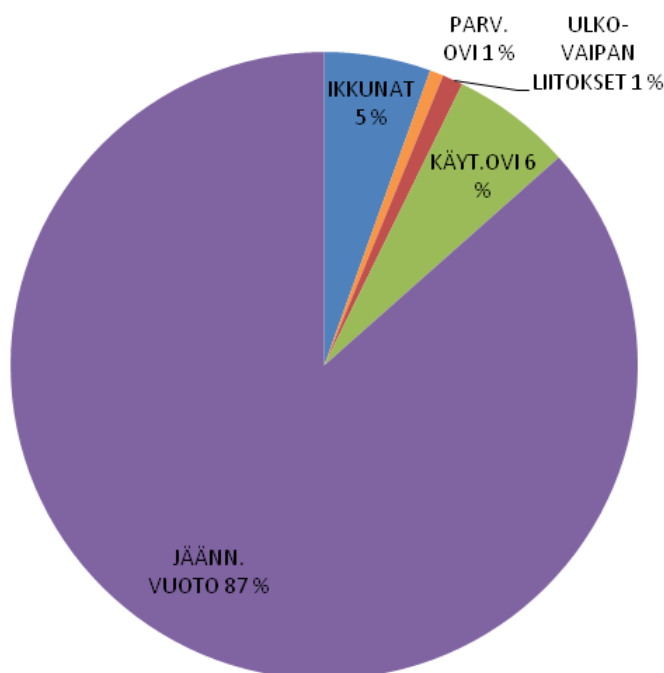
Kuva 5-6. Vertailu asunnoittain n50-luvun funktiona.

Niistä neljästä asunnosta, joista tehtiin mittaussarja A – G, voidaan koota vertailukaavio tilanteesta korjauksia ennen ja niiden jälkeen. Yllättävä tulos on se, että asuntojen tiivys näyttää jopa huonontuneen hieman. Yksi syy lienee se, että uusittuja raitisilmaventtiileitä ei voitu hankalan sijainnin vuoksi tiivistää täysin tyydyttävästi mittauksia varten. On toki myös huomattava, että tiivyyden parantaminen ei ollut korjaustoimenpiteiden ensisijaisena tavoitteena, ja näin siihen ei myöskään kiinnitetty erityistä huomiota suunnittelussa tai töiden suorituksessa.



Kuva 5-7. Vertailu asunnoittain prosentiosuuksina kokonaisvuodosta.

Yllättävää sen sijaan ei liene se, että uusittujen ikkunoiden ja ovien myötä näiden rakenneseosien suhteelliset osuudet laskevat huomattavasti, jopa (mittaus- ja laskentatarkkuuden puitteissa) jäävät lähelle nollaa. Vastaavasti määrittelemättömän jäännösvuodon osuus kasvaa merkittävästi.



Kuva 5-8. Osuudet kokonaisvuodosta korjausten jälkeen, mitattujen asuntojen keskiarvo.

Kuvien 5-4 ja 5-8 mitattujen asuntojen keskiarvoa vertaamalla voidaan todeta samoin, että mitattujen rakenneseosien yhteinen vuoto-osuus kutistuu 51 %:sta 13 %:iin, kun taas jäännösvuoto kasvaa yli kaksinkertaiseksi 41 %:sta 87 %:iin.

Ainoasta asunnosta, jossa tehtiin täysi mittaussarja vastapainemittauksineen, ei saatu riittävän luotettavia tuloksia vertailua varten.

Virhearviointi

Kun laskentaa ryhdyttiin soveltamaan mittaustuloksiin ensimmäisen mittausjakson jälkeen, joitakin ongelmallisia tilanteita alkoi ilmaantua. Voitiin toki olettaa, että betonirakenteisten sandwich-seinäelementtien läpi ei tapahdu juurikaan ilmavuotoa, mutta joissakin niistä neljästä asunnosta, joissa täysi mittaussarja voitiin tehdä, ulkovaipan vuoto-osuus jäi jopa negatiiviseksi.

Taulukko 5-4. Vastapainemittaukset: ulkovaipan rakenteiden ja sisäisen vuodon osuudet.

ASUNTO	JÄÄNNÖS-VUOTO	ULKOVAIPAN KOKONAISVUOTO	ULKOVAIPAN RAKENTEET	SISÄISET VUODOT
	G	H	$H-(D-E)-(A+F+G-D)-(E-F)$	$G-H$
A1	0,70	0,70	-0,21	0,00
A3	1,01	0,93	-0,33	0,08
C17	0,86	0,66	0,23	0,20
D29	0,43	0,30	0,16	0,14

Standardi SFS-EN 13829 (2000) antaa painekoemenetelmän lähtöarvojen tarkkuudeksi yleensä $n. \pm 5 \dots 10 \%$. Tyynissä olosuhteissa kokonaisepävarmuus jää yleensä alle

$\pm 15\%$:n, mutta tuulen voimakkuudesta riippuen voi kasvaa jopa $\pm 40\%$:iin. Laitteiston mittaustarkkuus on valmistajan mukaan $\pm 3 \dots 4\%$ (The Energy Conservatory). Epätarkkuutta voi lisätä vaihtuvien sää- ja paineolosuhteiden lisäksi jopa mittausta tekevien henkilöiden vaihtuminen.

Koska mitatut tilavuudet olivat pieniä ja niiden tiiviys oli suhteellisen hyvä, on selvää, että pienilläkin virheillä on suuri merkitys tulosten tarkkuuteen. Epätarkkuudet kumuloiduvat myös laskentaprosessin myötä. Lisäksi mitattujen asuntojen otos oli aivan liian pieni siihen, että epätarkkuuksia olisi voitu arvioida millään tilastollisella menetelmällä. Kaiken kaikkiaan tässä vaiheessa mittausmenetelmän kehitystyötä voidaan vain todeta tulosten epätarkkuuden olevan suuri ja tulosten sen vuoksi vain suuntaa-antavia.

Rajoitukset ja ongelmat

Mittausten toteuttamisessa kaikkein hankalimmaksi osoittautui vastapainemittausten osuus. Kuten aikaisemmin todettiin, vastapainemittausten tekeminen edellyttää koko portaana olevan tyhjä asukkaista, jotta vastapaineen muodostaminen kaikkiin rajoittuviin asuntoihin onnistuisi. Lisäksi vastapainemittausta ei voida tehdä niissä asunnoissa, joilla on yhteisiä seiniä viereiseen porraskäytävään – tällöin tarvittaisiin kolmas painekoelaitteisto vastapaineen luomiseksi myös tämän rajoittavan rakenneosan taakse.

Aikataulujen kireyden ja alkuperäisen mittausmenetelmän työläyden vuoksi mittauksia voitiin tehdä huomattavasti suunniteltua vähemmän. Myös tiivistysteippausten teko ei kaikin osin onnistunut aiotulla tavalla, mm. ulkovaipan liitoksia ei voitu teipata verholaudan ym. kotelointien takaa. Jos aikaa olisi käytettävissä runsaammin ja esim. kotelointeja ja kalusteita voitaisiin purkaa jo ennen mittauksia, voitaisiin nämä epätarkkuustekijät eliminoida ja tutkia myös sisäisen vuodon eri lähteitä erilaisten teippausyhdistelmien avulla.

Tampereen teknillinen yliopisto
PL 527
33101 Tampere

Tampere University of Technology
P.O.B. 527
FI-33101 Tampere, Finland