

Asko Sarja, Juhani Laine,  
Sakari Pulakka & Mikko Saari

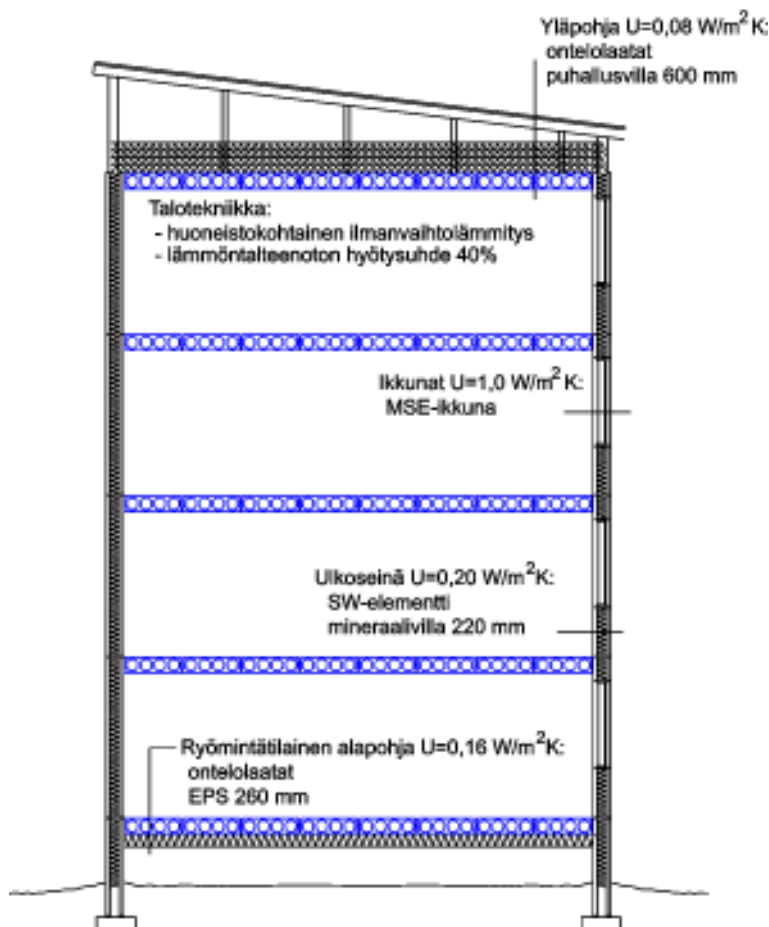
## INDUCON-rakennuskonsepti

### Matalaenergiatalo

Hankinta- ja elinkaarikustannusten (50 vuotta)  
erot Normitalo 2000:een verrattuna

-hankintakustannus +50 €/asm<sup>2</sup>

-elinkaarikustannukset -90 €/asm<sup>2</sup>





# **INDUCON- rakennuskonsepti**

Asko Sarja, Juhani Laine, Sakari Pulakka & Mikko Saari

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

ISBN 951-38-6163-5 (nid.)  
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6164-3 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)  
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2003

**JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER**

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Lämpömiehenkuja 3, PL 1804, 02044 VTT  
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 455 2408

VTT Bygg och transport, Värmemansgränden 3, PB 1804, 02044 VTT  
tel. växel (09) 4561, fax (09) 455 2408

VTT Building and Transport, Lämpömiehenkuja 3, P.O.Box 1804, FIN-02044 VTT, Finland  
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 455 2408

Toimitus Maini Manninen  
Viimeistely Auli Rautakivi

Otamedia Oy, Espoo 2003

Sarja, Asko, Laine, Juhani, Pulakka, Sakari & Saari Mikko. INDUCON-rakennuskonsepti [INDUCON building concept]. Espoo 2003. VTT Tiedotteita – Research Notes 2206. 66 s. + liitt. 35 s.

**Avainsanat** construction concept, service life, life cycle, optimizing, energy, utilization, functionality, environment, decision making, economic analysis, buildings, lifetime

## Tiivistelmä

Talonrakennuksen haasteena ovat monipuolistuneet ja korostuneet vaatimukset: elinkaaritalous, toiminnallisuus ja toimivuus pitkäaikaisessa ja muuttuvassa käytössä, energiatalous, terveellisyys, turvallisuus, viihtyisyys, ympäristö, ekologia ja kulttuuritekijät. Samalla paine kustannusten alentamiseen rakentamisen työn ja pääoman tuottavuutta parantamalla on lisääntynyt.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on ollut vastata edellä kuvattuihin vaatimuksiin tuottamalla vaihtoehtoisia rakennuskonsepteja, joita käyttäen voidaan valmistaa yksilöllisesti suunniteltuja sekä käyttäjien, omistajien ja yhteiskunnan pitkäaikaisia tarpeita vastaavia ja elinkaarilaadun suhteen optimoituja asuin- ja toimistorakennuksia.

**Rakennuskonsepti on monistettavissa oleva** ja dokumentoitu suunnittelu- ja rakentamistapa, jonka tuloksena syntyy määritellyt vaatimukset täyttäviä yksilöllisiä rakennuksia. Monistettavuus edellyttää, että on olemassa vakiotuotannossa olevat avaintuotteet ja suunnitteluohjeet, joilla yksittäiset rakennukset voidaan suunnitella.

INDUCON-rakennuskonseptin kehittäminen on kohdistettu seuraaviin tekijöihin:

- **luokiteltu elinkaarilaatu** (toimintolaatu / tilojen ja ominaisuuksien muunneltavuus / terveellisyys / ekologia: energiatalous, päästöminimointi / ääneneristys) sekä
- **teollisen tuotannon etujen hyödyntäminen uudella tasolla** (uudet rakennuskonseptit ja suunnitelmamallit, yksinkertaistus ja osien vähentäminen, esivalmistuksen viimeistelyasteen kohottaminen sekä laitteistojen ja rakenteiden yhteistoiminta ja yhteensovitus).

Lopputuloksena esitetään rakennusten luokiteltuja ominaisuusmäärittelyjä, eri ominaisuuksia vastaavat tuoteratkaisut, suunnitteluperiaatteet, suunnitteluprosessin kuvaus sekä suunnittelumenetelmien kuvaus ja esimerkkejä, joihin kuuluvat: rakenne- ja talotekniikan reititysperiaatteet, sisäilmaston terveellisyys- ja viihtyisyystekijöiden määrittely ja luokittelu, elinkaaren rahatalouden ja luonnontalouden laskelmat ja elinkaarioptimointi ja elinkaaripohjainen monitavoitteisen päätöksenteon menetelmä. Lisäksi esite-

tään liitteinä mallisuunnitelmia ja sovelluksia Helsingin Arabianrannan suunnittelukoh-  
teeseen.

**Rakennuksen energiatalousluokkien osalta** monitavoitteisen päätöksentekoprosessin  
loppupäätelmänä on RIL 216 - 2001:n mukaisen elinkaarilaadun paremmuusjärjestys:

1. Minimienergiatalo (tilojen lämmitysenergian kulutus 25 kWh/asm<sup>2</sup>/a)
2. Matalaenergiatalo (tilojen lämmitysenergian kulutus 75 kWh/asm<sup>2</sup>/a)
3. Normitalo 2003 (tilojen lämmitysenergian kulutus 100 kWh/asm<sup>2</sup>/a)
4. Normitalo 2000, Suomen rakentamismääräysten mukainen vuosina 1985–2002 (tilo-  
jen lämmitysenergian kulutus 150 kWh/asm<sup>2</sup>/a).

Rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen sisältyvät tilojen lämmitysenergian lisäksi  
käyttöveden lämmitysenergia (n. 80 kWh/asm<sup>2</sup>/a) sekä valaistuksen ja laitteiden sähkö-  
energia (n. 55–60 kWh/asm<sup>2</sup>/a). Näistä vain ilmanvaihto- ja lämmönsiirtolaitteiden vaa-  
tima laite-energia on ollut vertailussa mukana. Tämän perusteena on ollut INDUCON-  
projektin rajaus, jossa käyttövesi ja valaistus jätettiin projektin ulkopuolelle.

Tulokset palvelevat osallistujayritysten kotimaista ja kansainvälistä tuotekehitystä, ja tätä  
laajemminkin elinkaarisuunnittelun ja normituksen kehittämistä.

Sarja, Asko, Laine, Juhani, Pulakka, Sakari & Saari Mikko. INDUCON-rakennuskonsepti [INDUCON building concept]. Espoo 2003. VTT Tiedotteita – Research Notes 2206. 66 s. + liitt. 35 s.

**Keywords** construction concept, service life, life cycle, optimizing, energy, utilization, functionality, environment, decision making, economic analysis, buildings, lifetime

## Abstract

The new and stronger requirements: lifetime economy, functionality in use and in changes of use, technical lifetime performance, energy efficiency, healthy, safety, ecology and local culture, are serving a challenge for the building technology. Additionally the pressure towards decreasing the construction costs with the increase of productivity of the work and capital is increased.

The objective of this research work has been to respond the challenges described above with creating alternative **building concepts**, which could allow production of individually designed apartment and office buildings, including methodology and methods to **optimise the building concepts and individual buildings** in relation to the **lifetime quality**.

**Building concept** is a repeatable and documented way of design and construction, which can result in individual buildings with an optimised and high **lifetime quality**.

**Lifetime quality** is the capability of a building to fulfil the requirements of the users, owners and society during entire design period of the building.

**The INDUCON building concept** is focused on the following issues:

- **Classified and optimised lifetime quality** (incl. the viewpoints of functionality, performance, economy, ecology and culture), and
- the **realisation of industrial production** on an advanced level (incl. new models of building design and construction, simplification of building systems and products, decrease of the number of parts of buildings, improvement of finishing of the pre-fabricated components and modules, and improving the interaction and compatibility of structures and building service systems).

As a result are presented:

- systematised and classified definitions of performance properties of buildings
- corresponding specifications of building systems, modules and components

- design principles, process descriptions
  
- examples (incl. Routings of technical building services, specification and classification of the health and comfort properties of indoor air, calculations of lifetime economy and ecology, and methodology and methods of lifetime optimisation and decision-making).

As a case is presented a design, economic and ecological optimisation and multiple attribute decision-making of an experimental building.

As a specific issue is resulted the ranking of lifetime economy as a function of energy economy. The ranking starting from the best one was the following:

1. Minimum energy house ( annual consumption of space heating energy = 25 kWh/living area m<sup>2</sup>)
2. Low energy house ( annual consumption of space heating energy = 75 kWh/living area m<sup>2</sup>)
3. Standard house, Finnish energy standard 2003 ( annual consumption of space heating energy = 100 kWh/living area m<sup>2</sup>)
4. Standard house, Finnish energy standard 1985-2002 ( annual consumption of space heating energy = 150 kWh/living area m<sup>2</sup>).

This result shows, that it is economic, from the viewpoint of lifetime economy in the design period 15 to 50 years to build buildings with much higher energy efficiency than the current standard level.



# Alkusanat

Projekti "Industrialised Construction" eli lyhyesti "INDUCON" on suunniteltu toteutettavaksi 1.3.2000–31.12.2003 välisenä aikana.

Projekti suunniteltiin ja alkuosaltaan toteutettiin suomalais-saksalaisena Eureka-yhteistyönä, jolloin ohjaava projektiryhmä oli seuraava:

Petri Janhunen, Addtek R&D Oy Ab  
Sakari Toikkanen, YIT Oyj  
Asko Sarja, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Heikki Heikonen, Brespa GmbH  
Uwe Frerichs, Imbau GmbH  
Harald Hommel, Imbau GmbH  
Holger C. Heilmann, Imbau GmbH  
Johann Gillig, Imbau GmbH  
Conny Keßler, Imbau GmbH  
Andreas Nitsch, Imbau GmbH.

Saksalaisen tukiryhmän muodostivat: Dr. Axmann, Eureka ja Mr. Nagel, BMbF.

Saksalainen osapuoli jatkoi tutkimusyhteistyötä vuoteen 2002 saakka, jonka jälkeen saksalainen yritysosapuoli Imbau GmbH joutui yhtiöjärjestelyjen takia luopumaan projektiin osallistumisesta. Tämän jälkeen projektia on jatkettu suomalaisten yritysten ja Brespa GmbH:n yhteistyönä.

Suomalaisen johtoryhmän ovat muodostaneet:

Petri Janhunen, Addtek R&D Oy Ab  
Olli Korander, Addtek R&D Oy Ab  
Petri Wegelius, YIT Oyj (Sakari Toikkanen v. 2001 aikana )  
Heikki Sarin, Parma Betonila Oy  
Olavi Suominen, Vallox Oy  
Marko Levola, Parma Betonila Oy  
Tom Warras, Tekes  
Asko Sarja, VTT.

Johtoryhmän puheenjohtajana toimii Petri Janhunen ja sihteerinä Marko Levola. Projektipäällikkönä toimii Asko Sarja.

VTT Rakennustekniikan (myöhemmin VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka) tutkimusryhmän ovat muodostaneet tutkimusprofessori Asko Sarja, erikoistutkija Juhani Laine, tutkija Mikko Saari ja erikoistutkija Sakari Pulakka.

Tässä julkaisussa esitetään tuloksia projektin tutkimus- ja kehitysosasta, joka on toteutettu vuosina 2000–2002. Projektin on suunniteltu jatkuvan vuonna 2003 YIT Oyj:n valitseman kohteen koerakentamiseen perustuvana seuranta- ja palautetyönä.

Tutkimuksessa on sovellettu ohjetta: "RIL 216-2001: Rakenteiden Elinkaaritekniikka" tuotekehitystehtävään, mihin se onkin osoittautunut hyväksi systematiikaksi ja menetelmäkokoelmaksi.

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract .....	5
Alkusanat.....	7
Käsitteet ja määritelmät (INDUCON ja RIL 216-2001).....	11
1. Johdanto.....	19
2. INDUCON-rakennuskonsepti.....	21
2.1 Rakennuskonseptin sisältö ja yleiskuvaus.....	21
2.2 Avaintuotteisto .....	22
2.2.1 Välipohjarakenteet .....	24
2.2.1.1 Välipohjan rakenneratkaisut .....	24
2.2.1.2 Talotekniikan reititykset välipohjassa.....	25
2.2.2 Vaipparakenteet.....	25
2.2.3 Kylpyhuonerakenteet .....	28
2.2.4 Lämmönjako- ja ilmanvaihtojärjestelmä.....	29
2.2.4.1 Huoneistokohtaisen ilmanvaihtolämmitysjärjestelmän toimintaperiaate.....	30
2.2.4.2 Huoneistokohtaisesti hallittu ilmanvaihto.....	30
2.2.4.3 Huoneistokohtaisen ilmanvaihtolämmityksen asennusteknisiä ominaisuuksia .....	31
2.2.5 Yhteysmoduulit .....	31
3. Suunnittelu.....	33
3.1 Elinkaarisuunnittelun periaatteet.....	33
3.2 Suunnitteluprosessi.....	36
3.2.1 INDUCON-rakennuskonseptin suunnittelun erityistehtävät.....	36
3.2.2 Toiminnallinen rakennussuunnittelu .....	36
3.3 Tilat, rakenne- ja talotekniikka ja reititykset.....	37
3.3.1 Vuorovaikutus .....	37
3.3.2 Energiatalous ja ekologia .....	38
3.3.2.1 Rakennuksen energiatalousvaihtoehtojen teknis-taloudellinen vertailu .....	38
3.3.2.2 Rakennusmassan hyödyntäminen vuorokautisessa lämmönsäädössä.....	41

3.3.3	Talotekniikan reititykset.....	46
3.4	Terveellisyys ja viihtyisyys .....	47
3.4.1	Sisäilmaston laatutaso .....	47
3.4.2	Äänitekniinen laatutaso .....	48
3.5	Elinkaaritalous .....	50
3.5.1	Rahatalous .....	50
3.5.2	Energiatalouteen sijoittamisen kannattavuus .....	53
3.5.3	Luonnontalous ja ympäristöhaitat .....	53
3.6	Monitavoitteinen päätöksenteko.....	55
3.6.1	Päätöksentekomenettely .....	55
3.6.2	Vaihtoehtojen vertailutaulukko .....	56
3.6.3	Valintapäätös .....	56
3.6.4	Elinkaarikustannusten herkkyytstarkastelu .....	58
4.	Mallisuunnitelmia .....	60
4.1	Tilasuunnitelmia .....	60
4.2	Rakenteiden ja talotekniikan yhteistoimintamalleja.....	60
4.3	Talotekniikan reititykset Arabianrannan suunnittelukohteessa.....	61
4.3.1	Alaslaskukatto .....	61
4.3.2	Raskas ontelolaatta.....	61
4.4	Rakennusmassan lämpötekniiset hyödyntämismahdollisuudet Arabianrannan suunnittelukohteessa.....	62
5.	Yhteenveto .....	63
	Loppusanat.....	65
	Lähdeluettelo .....	65
	Kirjallisuutta.....	66
 Liitteet		
	Liite A: Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja	
	Liite B: Ilmanvaihtolämmityksen esimerkkikaavioita	
	Liite C: Talotekniikan reititysmalleja	
	Liite D: Kustannuslaskentataulukoita	

# Käsitteet ja määritelmät

## (INDUCON ja RIL 216-2001)

**Rakennuskonsepti** on monistettavissa oleva suunnittelu- ja rakentamistapa, jonka tuloksena syntyy määritellyt vaatimukset täyttäviä yksilöllisiä rakennuksia. Monistettavuus edellyttää, että on olemassa vakiotuotannossa olevat avaintuotteet ja suunnitteluohjeet, joilla yksittäiset rakennukset voidaan suunnitella.

**INDUCON-rakennuskonsepti** on kohdistettu seuraaviin tekijöihin: **Luokiteltu elinkaarilaatu** (muunneltavuus, toimintolaatu, tilat, energiatalous ja ääneneristys) sekä **teollisen tuotannon etujen hyödyntäminen uudella tasolla** (uudet rakennuskonseptit ja suunnittelmamallit, yksinkertaistus ja osien vähentäminen, esivalmistuksen viimeistelyasteen kohottaminen sekä laitteistojen ja rakenteiden yhteistoiminta ja yhteensovitus).

**Integroitu elinkaarisuunnittelu** on rakennuksen ja sen osien kokonaisvaltainen suunnittelu, joka sisältää seuraavat kaksi oleellista ominaisuutta:

- Suunnittelussa otetaan huomioon kaikki vaatimusryhmät (yhdistämisperiaate).
- Suunnittelussa käsitellään kaikilta osin koko suunnitteluelinkaaren aikajaksoa.

**Elinkaari** käsittää rakennuksen tai sen osan vaiheet raaka-aineiden hankinnasta ja tuottamisesta tuotteesta syntyvien jätteiden loppukäsittelyyn.

**Elinjakso** on rakennuksen tai sen osan elinkaaren aikaisten merkittävien muutosten välinen aika. Merkittäviä muutosvälejä ovat esim. peruskorjausväli, käytön muutosväli ja keskeisten teknisten järjestelmien (rakenne- tai laitejärjestelmien) tai niiden avainmoduulien uusimisväli.

**Suunnittelu-aika (myös: Suunnittelujakso)** on se aika, jota käytetään rakennuksen suunnittelun laskelmissa ja muissa tarkasteluissa, kuten elinkaaritalouden ja käyttöikäsuunnittelun laskelmissa, optimoinneissa ja päätöksenteossa laskelmien aikavälinä.

**Käyttöikä** on se aika, jonka rakennus tai sen osa asianmukaisesti huollettuna täyttää sille asetetut vaatimukset. Käyttöikä päättyy, kun rakennus tai sen osa saavuttaa rajatilan jonkin sille asetetun ensisijaisen vaatimuksen suhteen.

- **Ominaisikä** on aika, jonka rakennuksen tai sen osan käyttöikä ylittää yleensä todennäköisyydellä 95 %.
- **Suunnitteluikä** on rakennukselle tai sen osalle määritelty ominaiskäyttöiän vaatimus.

- **Laskentaikä** on käyttöiän varmuuskertoimella jaettu ominaiskäyttöikä.
- **Vertailuikä** on tuotteen valmistajan tekemässä materiaaliparametreihin ja koetuloksiin perustuvassa ominaisiän määrittämisessä ja laadunvalvonnassa käyttämä laaduntoteamissuure. Vertailuiän on oltava vähintään ominaisiän mittainen.
- **Jäljellä oleva käyttöikä** on tarkasteluajankohdan ja alkuperäisen suunnittelukäyttöiän välinen erotus.
- **Jäännöskäyttöikä** on suunnitteluiän lopusta lukien arvioitu, peruskorjausten jälkeinen jatkokäyttöikä.

**Käyttöikäsuunnittelu** on suunnitteluprosessin osa, jossa käyttäjän ja omistajan määrittelmien vaatimusten perusteella ja yleisten rakennusmääräysten puitteissa optimoidaan ja määritellään rakennuksen eri osien suunnitellut käyttöiät. Tulokset siirretään käyttöikämitoitukseen ja muuhun rakennesuunnitteluun.

**Käyttökelpoisuus** on rakennuksen tai sen osan kyky täyttää suunnitellulle toiminnolle asetetut vaatimukset.

**Kunnossapito** on kaikki ne toimenpiteet, joita suoritetaan, jotta rakenne säilyttäisi käyttökelpoisuutensa.

**Toimivuus** on tuotteen (rakennuksen tai sen osan) suoriutuminen tarkoitetussa käytössä.

**Rajatila** on tila, jonka jälkeen tuote (rakennus tai sen osa) ei enää täytä määrättyä vaatimusta. Rajatiloja ovat **vaurioituminen** tai **vanhanaikaistuminen**.

- **Vaurioituminen** on tila, jossa rakennus tai sen osa ei täytä kaikkia sille suunnittelussa asetettuja ensisijaisia vaatimuksia mekaanisen, fysikaalisen tai kemiallisen muutoksen takia.
- **Vanhanaikaistuminen** on tila, jossa rakennusta tai sen osaa ei enää tarvita, tai se ei täytä tarkasteluhetkellä sovellettaviksi määriteltyjä toimivuuden, taloudellisuuden, käytettävyyden, ekologisuuden, terveellisuuden, turvallisuuden ja esteettisyyden vaatimuksia.

**Ensisijainen vaatimus** on jokainen **rakennuksen tai sen osan** turvallisuuteen, terveellisuuteen ja päätoimintoihin oleellisesti kuuluva vaatimus, tai muu taloudellisiin, sosi-

aalisiin, kulttuurisiin tai ekologisiin vaatimusryhmiin kuuluva omistajan, käyttäjän tai yhteiskunnan kannalta oleellinen vaatimus.

**Tekniset järjestelmät** käsittävät RLVISTJ-järjestelmät eli **rakenne- ja laitejärjestelmät** (lämpö-, vesi-, ilmanvaihto-, sähkö-, tieto- ja jätejärjestelmät). LVISTJ-laitejärjestelmiä kutsutaan yhteisnimikkeellä: **Talotekniikka**.

**Moduloitu tuoterakenne** on rakennuksen suunnittelun, valmistuksen ja käytön joustavuuteen ja muunneltavuuteen tähtäävä tuotesystematiikka, jossa rakennus ositetaan **tekniisiin järjestelmiin** ja jaetaan seuraaviin hierarkkisiin tasoihin: **Järjestelmä, moduuli, komponentti ja materiaali** (yhteisnimike: **Rakennusosa**). Teknisistä järjestelmistä muodostuu **toiminto- ja tilajärjestelmä**, jotka myös jaetaan vastaavasti hierarkiaan: Rakennus, osarakennus, moduuli ja komponentti.

**Mittamodulointi** sisältää suositusmitat ja mittatoleranssit, joita käytetään osien yhteensovittamiseen moduloidussa tuoterakenteessa.

**Monitavoitteinen päätöksenteko** on valintaprosessi ja päätös, jossa valitaan eri vaihtoehtoista ennalta asetetut tavoitteet ja vaatimukset ominaisuuksiltaan parhaiten täyttävä vaihtoehto.

**Ensisijainen ominaisuus** on jonkin ensisijaisen vaatimuksen täyttämisen välttämätön ominaisuus, tai muu ominaisuus, joka valinnassa halutaan tapauskohtaisesti otettavaksi painotetusti huomioon.

**Lisäominaisuus** on valinnassa ja päätöksenteossa ensisijaisen ominaisuuden lisäksi huomioon otettava ominaisuus.

**Lisäarvo** on kunkin lisäominaisuuden arvioitu lisä tarkasteltavan ratkaisun vertailuarvoon nähden.

**Rahatalous** käsittää rahayksiköissä mitattavat kulut, arvot ja tuotot.

**Luonnontalous** eli **ekologia** käsittää **ympäristöhaitat**, -arvot ja -tuotot, jotka mitataan niille sopivina yksikköinä.

**Elinkaarikustannus** eli **elinkaaren rahakustannus** sisältää suunnittelu- ja rakennuskustannukset, huoltokustannukset, kunnossapitokustannukset, uusimiskustannukset ja energiakustannukset.

**Elinkaaren luonnonkulu** on tuotettu ympäristöhaitta.

**Rakennuskustannukset** ovat rakennuksen suunnittelun, tuotteiden valmistuksen, kuljetusten ja työmaatyön aikana syntyvät raha- tai luonnontalouden kustannukset.

**Huoltokustannukset** ovat suunnitteluajan aikana rakennuksen käyttöönotosta lukien tehtävistä huoltotoimenpiteistä syntyvät raha- tai luonnontalouden kustannukset.

**Kunnossapitokustannukset** ovat suunnitteluajan aikana rakennuksen käyttöönotosta lukien tehtävistä kunnossapitävän korjauksen toimenpiteistä syntyvät raha- tai luonnontalouden kustannukset.

**Uusimiskustannukset** ovat suunnitteluajan aikana käyttöön ylittävien rakennusosien uusimisten raha- tai luonnontalouden kustannukset.

**Energiakustannukset** ovat rakennuksen lämmittämiseen, lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteistojen käyttöön ja valaistukseen kuluvan energian kustannukset suunnitteluajan aikavälinä. Rakenteiden osalta huomioon otetaan rakennusvaipan läpi siirtyvä lämpöenergia ja valoa läpäisevien rakenneseosien vaikutus valaistusenergian ja lämmitysenergian kulutukseen.

**Jäännösarvo** on rakennuksen tai sen osien rahallinen tai luonnontalouden arvo suunnittelun lopussa.

**Kustannusten nykyarvo** on suunnittelun aikaväliltä nykyhetkeen diskontattujen raha- tai luonnontalouden kustannusten summa. Summattavat kustannukset voivat olla joko vuosittaisia kustannuksia tai eri ajankohtina syntyviä kertakustannuksia.

**Jäännösarvon nykyarvo** on jäännösarvo diskontattuna nykyarvoon.

**Nykyhetki** on nykyarvolaskelmien perusajankohdaksi valittu ajankohta, joka yleensä on rakentamisen alkumomentti.

**Reaalikorkokanta** on rahataloudessa käytettävä määritellyn aikajakson nimelliskoron ja vuosittaisen inflaation välinen erotus.

**Suunnittelukorkokanta** on luonnontaloudessa käytettävä määritellyn aikavälin laskennallinen korko, jolla otetaan huomioon arvioituja tulevaisuuden tuotteiden ympäristötehokkuuden muutoksia ja muita tulevaisuuden epävarmuustekijöitä.

**Ympäristöhaitta** käsittää **rakennuksen tai rakenteen elinkaaren aikaisen** toiminnan aiheuttaman luonnonvarojen ja maaperän kulutuksen, päästöt ilmaan, veteen ja maahan,



jätteiden tuoton, ja luonnon monimuotoisuutta vähentävät muutokset, jotka vaikeuttavat tai häiritsevät luonnossa tapahtuvia tai tehtäviä toimintoja.

**Ympäristökustannus** on ympäristöhaitan rahassa arvioitu yksityistaloudellinen tai kansantaloudellinen kustannusvaikutus.

**Luonnon monimuotoisuus** on sekä elollisen luonnon (biodiversiteetti) että elottoman luonnon (geodiversiteetti) monimuotoisuus.

**Päästö** on maaperässä, vedessä tai ilmassa oleva ihmisen aiheuttama epäpuhtaus, joka sellaisenaan vaarantaa elävän luonnon terveyttä tai perimää.

**Uudelleenkäyttö** on käytetyn tuotteen kunnostuksen jälkeinen uudelleenkäyttö.

**Kierrätys** on jätteiden tai jätejakeiden käyttäminen raaka-aineena tai materiaalina.

**Ympäristötehokkuus** on tuotteen valmistuksen tai käytön kyky minimoida ympäristöhaittoja.

**Käytettävyys** on rakennuksen tai sen osan kyky täyttää omistajan ja käyttäjän asettamat vaatimukset rakennuksen elinkaaren aikana.

**Käyttäjän vaatimus** on todettu rakennuksen käyttäjän tarve, joka rakennuksen tulee täyttää.

**Toiminto** on rakennuksessa tai sen osassa tapahtuva käyttäjän toiminnan osa.

**Toimintovaatimus** on käyttäjän vaatimus esitettynä käyttäjän toimintona.

**Toimivuusvaatimus** on käytön vaatimus esitettynä rakennuksen tai sen osan toimivuutena.

**Vaikutus** on rakennukseen tai sen osaan kohdistuvan ulkoisen tai sisäisen kuorman aiheuttama rasitus, joka vaikuttaa toimivuuteen.

**Käyttäjän vaatimus** on todettu rakennuksen käyttäjän tarve, joka rakennuksen tulee täyttää.

**Rakennuksen lämpöhäviöt** ovat rakennuksen ulkovaipan, vuotoilmanvaihdon ja hallitun ilmanvaihdon lämpöhäviöiden summa (kW).

**Rakennuksen lämmitysenergian tarve** on rakennuksen tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava lämpöenergia (kWh).

**Rakennuksen kokonaisenergian tarve** on rakennuksen tarvitsema lämpö- ja sähköenergia yhteensä riippumatta siitä, missä tai miten energia on tuotettu (kWh).

**Rakennuksen kokonaisenergiankulutus** on rakennuksen kuluttama ulkopuolinen lämpö- ja sähköenergia yhteensä (ostoenergiankulutus) (kWh).

**Energian vuosikulutus** on kyseisen paikkakunnan normaalivuoden aikana kulunut energia (kWh/a).

**Energian ominaiskulutus** on rakennustilavuutta ( $\text{kWh/m}^3/\text{a}$ ), pinta-alaa tai muuta erikseen määritettyä yksikköä kohti laskettu energian vuosikulutus.

**Normirakennus 2000** on rakennus, joka on energiataloudeltaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C3, Ympäristöministeriö 1985, mukainen.

**Matalaenergiarakennus** on rakennus, jonka lämmitysenergian ominaiskulutus on enintään puolet normirakennuksen kulutuksesta.

**Minimienergiarakennus** on rakennus, jonka lämmitysenergian ominaiskulutus on enintään kuudesosa normirakennuksen kulutuksesta.

**Passiivirakennus** on rakennus, jonka lämmitysenergian ominaiskulutus on enintään kymmenesosa normirakennuksen kulutuksesta.

**Nollaenergiarakennus** on rakennus, joka tuottaa vuoden aikana yhtä paljon hyödynnettävää ja myytävää energiaa kuin se kuluttaa.

**Plusenergiarakennus** on rakennus, joka tuottaa vuoden aikana enemmän hyödynnettävää ja myytävää energiaa kuin se kuluttaa.

**Rakenteen lämmönläpäisykerroin** on rakenteen neliometriä kohti laskettu, sisä- ja ulkopinnan välisen yhden kelvinasteen lämpötilaerossa aikayksikössä tapahtuva lämpöenergian johtumisen määrä. Lämmönläpäisykerroin (U-arvo) ilmoitetaan yksiköinä  $\text{W/m}^2\text{K}$ .

**Rakenteen lämpökapasiteetti eli lämmönvarauskyky** on rakenteen yksikön yhden kelvinasteen lämpötilamuutosta vastaava lämpömäärä. Lämpökapasiteetti voidaan ilmoittaa yksiköinä  $\text{kWh/m}^2\text{K}$ ,  $\text{kWh/m}^3\text{K}$  tai  $\text{kWh/kg K}$ .

**Rakenteen auringon kokonaissäteilyenergian läpäisykerroin** on rakenteen läpi tulevan kokonaisenergian suhde rakenteen ulkopinnalle tulevan auringonsäteilyenergiaan. Säteilynläpäisylukua kutsutaan g-arvoksi (esim. %).

**Rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyys** ilmoitetaan  $n_{50}$ -luvulla ( $\text{h}^{-1}$ ). Ulkovaipan vuotoilmavirta 50 Pa:n paine-erolla,  $\text{m}^3/\text{h}$  ilmatilavuutta kohti.

**Ilmanvaihdon lämmön talteenoton (LTO) hyötysuhde (%)** on ulos puhallettavan jäteilmän lämpötilasta laskettu lämpötilahyötysuhde.



# 1. Johdanto

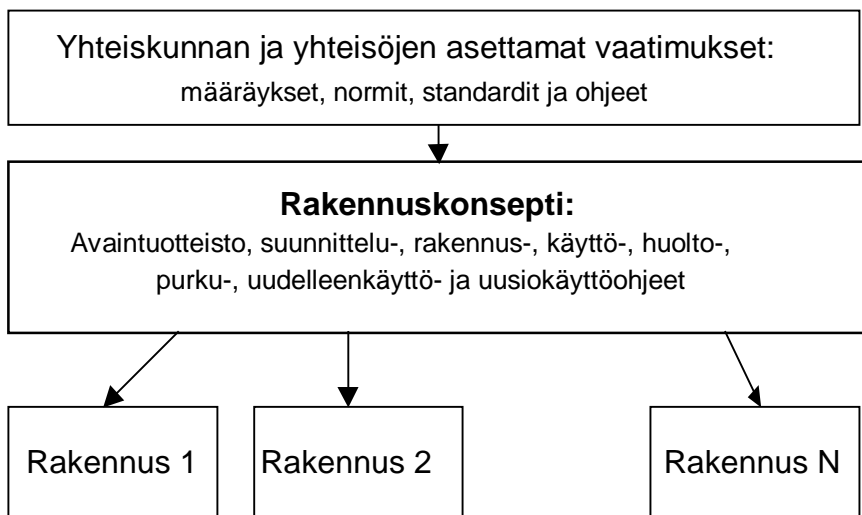
**Rakennuskonsepti on monistettavissa oleva suunnittelu- ja rakentamistapa**, jonka tuloksena syntyy määritellyt vaatimukset täyttäviä yksilöllisiä rakennuksia. Monistettavuuden edellytyksiä ovat

- On olemassa vakiotuotannossa olevat avaintuotteet.
- On olemassa tarvittavat suunnitteluohjeet, joilla yksittäiset rakennukset voidaan suunnitella.

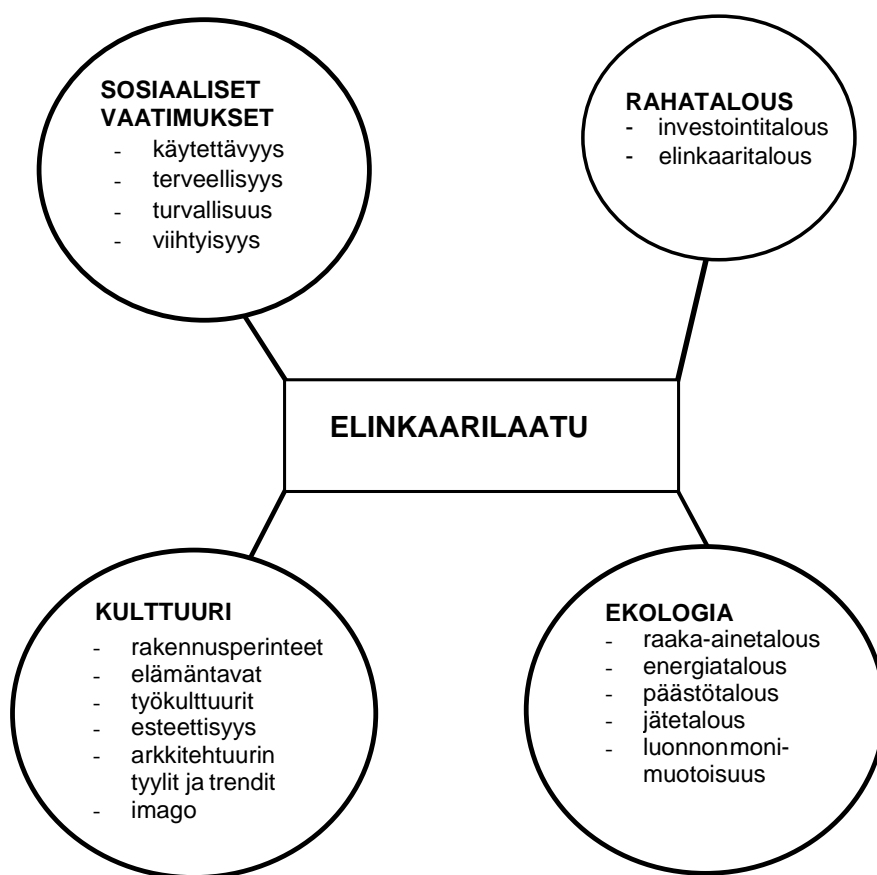
Rakennuskonseptin osuutta tuotekehityksen ja yksilöllisen rakennuksen suunnittelun, käytön ja kunnossapidon välisenä linkkinä on esitelty kuvassa 1. Rakennuskonseptin kehittämissivaiheessa tuotteistetaan yleisten vaatimusten ja rakennuskonseptin ajatellun käyttöalueen erityisvaatimusten perusteella optimoidut avaintuotteet ja suunnitteluohjeet, joilla elinkaarisuunnittelun toteuttaminen yksittäisten rakennusten suunnittelussa ja käytössä ohjeistuu ja siten oleellisesti helpottuu. Yleisen ja yrityskohtaisen palautetiedon avulla rakennuskonseptin sisältö sekä avaintuotteiden että suunnittelu- ja käyttötiedon osalta kehittyy ja täydentyy, jolloin myös rakennuskonseptissa päästään jatkuvan evoluution hyödyntämiseen.

INDUCON-rakennuskonseptin tavoitteena on optimoitu elinkaarilaatu. Elinkaarilaudalla tarkoitetaan rakennuksen kykyä täyttää omistajan, käyttäjän ja yhteiskunnan vaatimukset koko elinkaaren ajan hallitulla ja optimoidulla tavalla. Vaatimukset voidaan yleisesti luokitella kuvan 2 mukaisesti (RIL 216-2001).

INDUCON-rakennuskonseptin kehittämisessä ja rakennusten suunnittelussa sovelletaan yleistä elinkaaritekniikan menettelytapaa, jossa lähdetään omistajan, käyttäjän ja yhteiskunnan asettamista vaatimuksista, muotoillaan nämä vaatimukset toiminnallisiksi vaatimuksiksi, ja määritellään tekniset ominaisuudet. Teknisten ominaisuusmäärittelyjen perusteella esitetään rakenne- ja laitetekniset ratkaisut, tavallisesti useampana erilaisena vaihtoehtona. Tällainen menettelytapa on esitetty tarkemmin suunnitteluosassa (RIL 216-2001).



Kuva 1. Rakennuskonsepti yksilöllisten rakennusten optimoidussa toteuttamisessa.



Kuva 2. Elinkaarilaadun keskeiset näkökulmat ja vaatimusluokat.

## 2. INDUCON-rakennuskonsepti

### 2.1 Rakennuskonseptin sisältö ja yleiskuvaus

INDUCON-projektissa on kehittäminen tarkemmin kohdistettu seuraaviin tekijöihin:

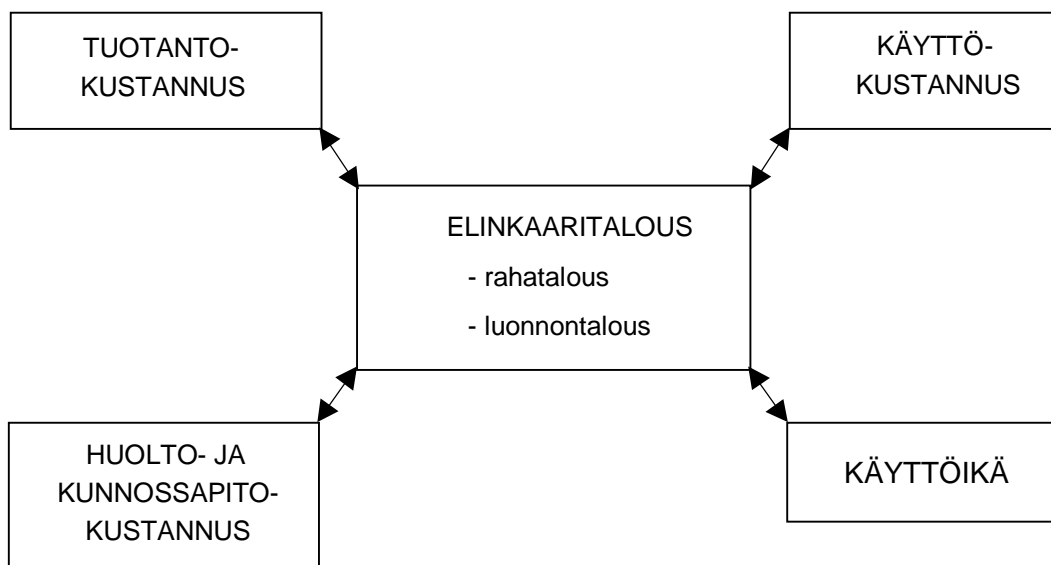
#### 1. Luokiteltu elinkaarilaatu

- Muunneltavuus, toimintolaatu, tilat
- Energiatalous
- Ääneneristys

#### 2. Teollisen tuotannon etujen hyödyntäminen uudella tasolla

- Uusien rakennuskonseptien mukaiset arkkitehtisuunnitelmat
- Yksinkertaistus osia vähentämällä
- Esivalmistuksen viimeistelyasteen kohottaminen
- Laitteistojen ja rakenteiden yhteistoiminta ja yhteensovitus.

Ratkaisujen kokonaisoptimoinneissa otetaan huomioon elinkaaren rahatalouden ja luonnontalouden riippuvuus rakentamisen ja käytön rahakustannus- ja luonnonkulutekijöistä kuvan 3 mukaisesti.



Kuva 3. Eri ominaisuusluokkien vuorovaikutus elinkaaritalouden vaihtoehtojen vertailussa, valinnassa ja optimoinnissa (RIL 216-2001).

Kehityskohteiden ratkaisujen yleisenä periaatteena on **rakennuksen lämpöeristetyin rungon ja sen sisältämän asuinvyöhykkeen yksinkertaistus ja siitä seuraava edullinen rakennettavuus ja asuintilojen vapaa muunneltavuus.**

**Aputoiminnoista** huoneistojen väliset pystysuuntaiset ja vaakasuuntaiset kulku- ja talotekniikkayhteydet **erotetaan** rakennuksen lämpöeristetystä **rungosta** omaksi puoli-lämpimäksi (10–15 °C) yhteysmoduuliksi, jolla on oma perustus, runko ja valoa hyvin päästävät seinät. Yhteysmoduuliin voidaan yhdistää lisätiloja, kuten yhteisiä terassitiloja, kuivausparvekkeita ja viherhuonetiloja.

**Huoneistokohtaiset talotekniikan reititykset** kootaan kantavien seinälinjojen viereen välipohjalaattaan ja seinä- ja kaappitiloihin tai kunkin huoneiston tilaan kevyellä seinällä eristettävään asennus- ja huoltotilaan, joista on vaakayhteys yhteysmoduuliin.

Välipohjarakenne sisältää kantavan sekä paloa ja ääntä eristävän ontelolaatan ja siihen yhdistetyn talotekniikan reititystilan. Talotekniikan reititykset asennetaan joko kantavan ontelolaatan sisään tai kantavan laatan päälle asennettavaan laitelattiatilaan. Välipohjan reititykset toimivat huonetilojen ja asunnon asennus- ja huoltotilan välisenä talotekniikan yhteysreitinä.

## 2.2 Avaintuotteisto

Keskeiset INDUCON-avaintuotteet ja niiden toiminnalliset lisäarvot ovat

### 1. Välipohjarakenteet, joiden avulla on mahdollisuus toteuttaa

- Talotekniikan reititys
- Luokiteltu ääneneristystaso: normitaso ja korkeatasoinen ääneneristys
- Sisätilojen joustava suunnittelu
- Sisätilojen muunneltavuus käytön aikana
- Rakennusmassan lämmönvarauskyvyn hyödyntäminen vuorokautiseen lämmönvarastointiin
- Rakennuksen purkamisen jälkeinen uudelleen- ja uusiokäyttö.

### 2. Vaipparakenteet, jotka mahdollistavat

- Energiatalousluokat: Normitalo 2003, Matalaenergiatalo, Minimiennergiatalo
- Käyttöikäluokat: 50, 80, 100 ja 200 vuotta
- Rakennusmassan lämmönvarauskyvyn hyödyntäminen vuorokautiseen lämmönvarastointiin
- Arkkitehtonisia suunnitteluvapauksia
- Rakennuksen purkamisen jälkeinen uudelleen- ja uusiokäyttö.



**3. Kylpyhuoneet, erityisesti kylpyhuoneen lattia- ja seinärakenteet, joiden avulla on mahdollista toteuttaa**

- Esteetön liikkuminen kylpyhuoneessa sekä kylpyhuoneen ja asuintilojen välillä
- Talotekniikan ja kalustuksen joustava sijoittaminen
- Talotekniikan reititys kylpyhuoneesta välipohjan yhteysreititykseen
- Talotekniikan toimivuuden valvonta, muuntelu ja uusiminen käytön aikana
- Rakennuksen purkamisen jälkeinen uudelleen- ja uusiokäyttö.

**4. Lämmönjako- ja ilmanvaihtojärjestelmä, joka on**

- Energiatalousluokituksen eri luokkiin soveltuva
- Luokitellut sisäilmaston laatuvaatimukset täyttävä
- Toiminnoiltaan toimintovaatimukset täyttävä
- Yksinkertainen
- Käytön aikana helposti huollettava ja uusittava
- Purkamisen jälkeen uudelleen- ja uusiokäyttöön soveltuva.

**5. Yhteysmoduulit, joiden avulla on mahdollista toteuttaa**

- Esteetön liikkuminen
- Joustava talotekniikan reititys pystysuunnassa ja vaakareitit huoneistoihin
- Talotekniikan reititysten ja laitteiden huolto ja korjaus pääosin asuntojen ulkopuolelta
- Talotekniikan muuntelu ja uusiminen pääosin asuntojen ulkopuolelta.

Erityisesti reititysyhteyksien kehittäminen edellyttää rakennuksen koko tilasuunnittelun ja massoitellun tarkastelua uudentyypisten ratkaisujen esille saamista varten.

## 2.2.1 Välipohjarakenteet

### 2.2.1.1 Välipohjan rakenneratkaisut

Äänitekniisiä vaatimustasoja on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. INDUCON-välipohjien ja -ulkoseinien äänitekniset vaatimukset

Äänitekninen vaatimus	Normitaso		Korkea vaatimustaso	
	Vaatimus	Rakenneratkaisu	Vaatimus	Rakenneratkaisu
Ilmaääneneristysluku, $R'_{w}$ , dB	55	Välipohja: Raskas ontelolaatta tai kaksoisontelolaatta	60	Välipohja: Raskas ontelolaatta
Askeläänitasoluku, $L'_{n,w}$ , dB	53	Välipohja: Raskas ontelolaatta tai kaksoisontelolaatta	50	Välipohja: Ontelolaatta ja uiva lattia
Huoneen äänitaso, dB(A)	28	Ulkoseinä: Hyvän äänen-eristykseen ikkunat, betoni-sandwich- tai kerrosseinät	25	Ulkoseinä: Hyvän äänen-eristykseen ikkunat, betoni-sandwich- tai kerrosseinät

Taulukon 1 mukaisten äänitekniisten vaatimusten saavuttaminen edellyttää, että välipohjien lisäksi ikkunat, ulkoseinät, huoneistojen väliset seinät sekä seinien ja laattojen väliset liitokset ja porrashuoneiden äänenvaimennus ovat riittävät.

Välipohjien ääneneristykseen, talotekniikan reititykseen ja lämmönvarausmassan ratkaisivat rakennevaihtoehdot ovat

1. Raskas ontelolaatta P37 ja P37K, jota Parma Betonila, Addtek ja YIT kehittävät.
2. Kaksoisontelolaatta, jonka alaosa on staattisesti toimiva ja yläosa on osittain tai kokonaan tehtaassa tai työmaalla poistettavissa oleva asennusosa.
3. Asennuslattia, jossa on teräsprofiileilla tuettu pintalevy, muodostaa talotekniikan asennustilan ja parantaa ilma- ja askelääneneristystä.
4. Perinteinen uiva lattia.
5. Kevytbetonivaluna tai löysästi sidottuna hiekkavaluna valmistettava asennuskerros.

### 2.2.1.2 Talotekniikan reititykset välipohjassa

Talotekniikan reitityksen ratkaisut ovat

1. Välipohjan yläpuolisten asuntojen vesi-, viemäri-, sähkö-, tieto- ja pölynpoistojohdot ovat laatan suunnassa laatan yläosan asennusonteloissa tai kantavan laatan päällä olevassa asennuslattiassa ja laatan poikkisuunnassa huoneistojen välisen seinän vieressä välipohjalaatan syvennyksessä.
2. Välipohjalaatan alapuolisten asuntojen ilmanvaihdon tai ilmanvaihtolämmityksen ilmakeinavat ovat laatan suunnassa laatan kantavan alaosan onteloissa ja laatan poikittaissuunnassa välipohjan päällä tai alla olevissa asennuseinä-, kaappi- tai alaslaskukattotiloissa.

Laataston poikkisuunnan reitityksen vaihtoehdot ovat

1. Läpi talon menevä kerroksen korkuinen reititystila
2. Läpi talon menevä välipohjan alapuolinen kaappitila tai alaslaskukattovyöhyke ja laatan yläosan putkitustilasyvennys
3. Märkätilojen (kylpyhuone ja keittiö) läpi välipohjan alla kylpyhuoneen katossa tai keittiön yläkaapeissa menevä reititys
4. Kylpyhuoneen laiteseinässä ja keittiön kaappitilassa kulkeva reititys
5. Kylpyhuoneen laiteseinän alaosassa ja keittiön tai muun tilan seinän vieressä kulkeva matala ”penkkireitti”.

### 2.2.2 Vaipparakenteet

Eri energiatalousluokkien rakennusten vaipan lämpötekniset määrittelyt on esitetty taulukossa 2.

Periaatteena on minimoida vaipparakenteiden lämmöneristysvaihtojen eristepaksuudet. Valittavaksi esitetään kussakin energiatalousluokassa kyseisen tason minimieristävyys ja toinen vaihtoehto, joka mahdollistaa siirtymiseen yhtä parempaan energiatalousluokkaan ilman vaipparakenteen muutoksia. Tämä on kestävästä kehitystä tukeva vaihtoehto.

*Taulukko 2. Rakennuksen vaipan lämpötekniset määrittelyt tarkasteltavissa energiatalousluokissa.*

Rakennevaihtoehto	ENERGIATALOUSLUOKKA			
	Normitalo 2000	Normitalo 2003	Matalaenergia-talo	Minimienergia-talo
<b>Ulkoseinät</b>	Lämmönläpäisykerroin U, W/m <sup>2</sup> K			
Rakennetyyppi	0,28	0,25 / 0,20	0,20 / 0,15	0,15 / 0,10
Mineraalivillaeristeisen seinän eristepaksuus Sandwich Eriytetty rakenne	150 mm	170 / 200 mm	200 / 300 mm	300 / 450 mm
Polyuretaanieristeisen seinän eristepaksuus Sandwich Eriytetty rakenne	85 mm	85 / 113 mm	113 / 167 mm	167 / 250 mm
Solupolystyreenieristeisen rappausseinän eristepaksuus	150 mm	170 / 200 mm	200 / 300 mm	300 / 450 mm
Monoliittiseinän paksuus Lämpöbetoniseinän paksuus	350 mm	350 / 400 mm	500 / 600 mm	600 / 900 mm
<b>Tuuletettu alapohja</b>	Lämmönläpäisykerroin U, W/m <sup>2</sup> K			
Rakennetyyppi	0,23	0,15	0,15	0,10
Solupolystyreenieristeisen laatan eristepaksuus	160 mm	260 mm	260 mm	-
Polyuretaanieristeisen laatan eristepaksuus	-	200 mm	200 mm	250 mm
<b>Yläpohja</b>	Lämmönläpäisykerroin U, W/m <sup>2</sup> K			
Eristetyyppi		0,16	0,08	0,08
Puhallusvillan eristepaksuus		300 mm	600 mm	600 mm
Kevytsooran eristepaksuus		600 mm	-	-
Solupolyuretaani SPU:n eristepaksuus		-	350 mm	350 mm

**Seinärakenteista** voidaan päätellä seuraavaa:

- **Nykyisen mineraalivillaeristeisen kerroksellisen seinän** lämmöneristystä pitää lisätä jo normitasoa 2003 varten. **Tuuletetulla Paraati-kaksoiskuori-betoniseinällä** voidaan mahdollisesti täyttää myös **Normitalo 2003:n** lämmöneristysvaatimus joko sellaisenaan tai lisäämällä lämmöneristeen paksuutta 10 mm. Muutos Paraati-seinällä ei mahdollisesti vaadi valmistustavan eikä muottikaluston muutoksia, eikä siten tuota merkitseviä lisäkustannuksia.
- Nykyisenlaisella **mineraalivillaeristeisellä tuuletetulla kaksoiskuori-betoniseinällä** päästään **matalaenergiatasoiseen** rakenteeseen kasvattamalla lämmöneristeen paksuutta 50 mm nykyisestä paksuudesta. Muutos edellyttää myös muottikaluston muutoksia. Arvioitu lisäkustannus on pieni.
- **Mineraalivillaeristeisen betoniseinän** muuttaminen **minimienergiatason** lämmöneristysvaatimuksen täyttäväksi edellyttää rakenteen muuttamista **eriytetyksi rakenteeksi**, jossa ulkolevy valmistetaan erikseen ja ripustetaan sisälevyyn siihen valussa asennettavilla ulokkeilla. Tämä rakenneratkaisu merkitsee muita vaihtoehtoja suurempaa lisäkustannusta. Toisaalta on huomattava, että eriytetty seinärakenne lisää arkkitehtonisia ja rakenneteknisiä vaihtoehtoja mm. aukotuksen, saumoituksen ja ulkolevyn materiaalien vaihtoehtojen suhteen. Näiden **lisämahdollisuuksien lisäarvo** tulisi siten sisällyttää hyöty-kustannusvertailuun.
- **Solupolyuretaanieristeellä** saavutetaan rakenneteknisesti **minimienergiatason** vaatimus nykyisenlaisella **betonilevy-sandwich**-rakenteella. Paloturvallisuuden takia tarvitaan mineraalivillakaistat aukotuksen pielissä ja kerrosrajoilla. Tällaisten mineraalivillakaistojen lisääminen voidaan toteuttaa varsin helposti seinien asennusvaiheessa työmaalla ja ikkunoiden asennusvaiheessa työmaalla tai elementti-tehtaassa. Rakennusfysikaalinen toimivuus ja mahdollinen lämmöneristeen tuuletustarve pitää selvittää vielä erikseen.
- Suomessa uutena seinärakenteena vaikuttaa lupaavalta tehtaassa valmistettu **betonisisälevy-solupolystyreenirakenne**, jolla saavutetaan kaikki vaihtoehtoina käsitellyt energiatalousluokat. Sillä saadaan myös arkkitehtonisia vaihtoehtoja. Pintarappaus voidaan tehdä joko tehtaalla tai työmaalla, tai osittain kummassakin. Pohjakerroksen seinän ulkokuori suositellaan tehtäväksi paremmin iskuja ja kulutusta kestävästä materiaalista, esim. ripustetuista betonilevyistä. Pintakerros tehdään joko tehtaalla tai asennuksen jälkeen työmaalla ohutbetoniruiskutuksella. Rakenteella saavutetaan **Normitalo 2003:n energiataloustaso** nykyisen tuuletetun kaksoiskuorirakenteen hinnalla. **Matalaenergiatason** ja **minimienergiatason** lisähinnat ovat kohtuullisen

pieniä. **Lisäarvona** saavutetaan arkkitehtonisesti **arvostettu rapattu seinäpinta väri vaihtoehtoinen** ja melko helposti korjattavissa oleva seinäpinta.

- **Polyuretaanieristeinen betonisandwich**-seinä on lämpötekniisesti ja valmistustekniisesti toteutettavissa **matalenergia- ja minimienergiatasoisena**, mutta palotekniisten ja rakennusfysikaalisen toimivuuden osalta tarvitaan lisätarkasteluja. Teknista taloudellinen edullisuus on epävarma ja vaatii lisäselvityksiä.
- **Lämpöbetoniseinä** on varmatoiminen ja helposti kunnossapidettävä monoliittirakenne, joka soveltuu kantavaksi ulkoseinäksi 1- ja 2-kerroksiseen rakennukseen, itsekantavana seinänä 3-kerroksiseen rakennukseen asti, ja korkeissa rakennuksissa ripustettavaksi seinäksi.

**Tuulettuva alapohja** on helposti muutettavissa **normitason 2003 ja matalaenergiatason** vaatimuksia vastaavaksi nykyisellä **solupolystyreenieristeellä** lisäämällä eristepaksuutta. Lisähinta on molemmissa energiatalousluokissa pieni. Alapohjan lämmöneristyksen parantaminen edellyttää aina myös alapohjan, seinän ja sokkelin liitoskohdan kylmäsiltojen poistamista uusilla liitosratkaisuilla.

**Yläpohjissa** saavutetaan **kaikkien energiatalousluokkien** lämmöneristysvaatimus puhallusvillalla lisäämällä eristepaksuutta vaatimuksen suhteessa. Lisähinta on lämmöneristeen lisähinta ja pieni puhallustyön lisäkustannus. **Kevytsoraeristyksellä** voidaan tekniisesti saavuttaa **Normitalo 2003:n** lämmöneristysvaatimus, mutta **Matala- ja Minimienergiatalon** vaatimukseen tarvittavaa eristepaksuutta ei voitane tekniisesti luotettavasti toteuttaa. **Solupolyuretaanieristeellä** saavutetaan **matalaenergia- ja minimienergiatason** lämmöneristysvaatimukset pienehköllä lisähinnalla.

### 2.2.3 Kylpyhuonerakenteet

Kylpyhuonerakenteiden keskeisiä toiminnallisia vaatimuksia ovat erityisesti kylpyhuoneen lattia- ja seinärakenteet, jotka mahdollistavat

- Esteettömän liikkumisen kylpyhuoneessa sekä kylpyhuoneen ja asuintilojen välillä
- Talotekniikan ja kalustuksen joustavan sijoittamisen
- Talotekniikan reitityksen kylpyhuoneesta välipohjan yhteysreititykseen
- Talotekniikan toimivuuden valvonnan, muuntelun ja uusimisen käytön aikana
- Rakennuksen purkamisen jälkeisen uudelleen- ja uusiokäytön.

Parma Betonila ja YIT ovat kehittäneet edellä mainittuja toiminnallisia vaatimuksia vastaavia kylpyhuonerakenteita erillisinä tuotekehityshankkeina. Nämä kehitystulokset valmistuvat tämän tutkimusvaiheen jälkeen ja julkistetaan erikseen.

## 2.2.4 Lämmönjako- ja ilmanvaihtojärjestelmä

Taloissa saavutetaan korkeatasoinen sisäilmasto ja asumismukavuus sekä talvella että kesällä ilman erillisiä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiä. Taloissa yhdistetään rakenne-, ilmastointi-, sähkö- ja tietoteknisiä ratkaisuja yksinkertaiseksi, toimivaksi ja edulliseksi kokonaisuudeksi. Talot lämpiävät ja jäähtyvät uuden ja yksinkertaisen matalaenergia-tekniikan avulla. **Lämmitys- ja jäähdytystarpeet ovat niin pienet, että tarpeenmukaisesti ohjattavan ilmanvaihdon avulla voidaan siirtää tarvittavat lämmitys- ja jäähdytystehot huoneisiin ilmanvaihtolämmityksen avulla.** Lämmitys- ja jäähdytystarpeiden pienentämistavoitteet toteuttavien vaipan rakenteiden elinkaarioptimointi on tehty hyvän elinkaaren aikaisen ekologisuuden ja hyvän taloudellisuuden perusteella.

Erilaisia ilmanvaihtolämmitysjärjestelmien esimerkkikaavioita ja ratkaisuvaihtoehtoja on esitetty liitteissä B ja C. Liitteessä C on esitetty myös Normitalo 2000:n ja Normitalo 2003:n esimerkkihuoneistojen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien ratkaisuvaihtoehtoja.

Huoneistokohtaisen ilmanvaihtolämmitysjärjestelmän hyödyt

- Säädettävyydeltään sopivan kokoinen ilmanvaihtolämmitysjärjestelmä ja sen älykäs ja tehokas säätöstrategia
- Ilmanvaihtolämmityksen sähköenergia minimoidaan ilmansiirtojärjestelmän mitoituksella (pieni ominaispuhallinteho < 2,5 kW/(m<sup>3</sup>/s)), käytön ohjauksella ja säätöstrategialla
- Tehokas lämmöntalteenotto poistoilmasta talvella
- Tehokas kylmäntalteenotto poistoilmasta kesällä
- Yöaikainen jäähdytys tehostetulla ulkoilmavirralla
- Tarpeenmukaisesti tehostettava ilmanvaihto (ilman epäpuhtaudet, ylilämpö)
- Sisäisten lämmönlähteiden (ihmiset, kotitaloussähkö) hyödyntäminen ja torjunta ilmanvaihtolämmityksen säätöjärjestelmän ja tehokkaan säätöstrategian avulla.

Tarvittava vähäinen ostolämmöntarve hoidetaan kaukolämmityksen vesikiertoisilla ilmalämmityspattereilla huoneistokohtaisessa ilmanvaihtolämmityskoneessa. Pienien lämmitystehojen vuoksi huonekohtainen lämpötilansäätö ei onnistu vesikiertoisilla ilmalämmityspattereilla, koska sellaiset puuttuvat markkinoilta. Haluttaessa huonekohtainen lämpötilan hienosäätö toteutetaan tuloilmalaitteeseen lisävarusteena (korkea taso) sijoitetulla pienitehoisella sähkölämmityspatterilla.

Erillisiä ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmiä ei tarvita, vaan huoneiden lämmitys hoidetaan lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihtolämmitysjärjestelmän avulla energiataloudellisesti.

**Perinteisestä ilmalämmityksestä ilmanvaihtolämmitys eroaa siinä, että ilmavirrat mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen ja jäähdystarpeen eikä lämmöntarpeen mukaan.**

#### 2.2.4.1 Huoneistokohtaisen ilmanvaihtolämmitysjärjestelmän toimintaperiaate

Ilmanvaihtolämmityksessä huoneisiin puhallettava tuloilma lämmitetään ensivaiheessa ilmanvaihtolämmityskoneen lämmöntalteenottolaitteessa ja kaukolämpöön liitetyllä vesikiertoisella ilmalämmityspatterilla sisä- ja ulkoilman lämpötiloista riippuen tyypillisesti 10–40 °C:n lämpötilaan. Sisälämpötilan huoneistokohtainen säätö tehdään yhteysmoduulin talotekniikan reititystilaan sijoitetun huoneistokohtaisen ilmanvaihtolämmityskoneen ilmalämmityspatterilla (perustaso). Haluttaessa sisälämpötilan hienosäätö tehdään tarpeen mukaan huonekohtaisesti tuloilmalaitteen sisälle sijoitettavalla pienitehoisella sähkölämmityselementillä (lisävaruste, korkea taso). Ilmanvaihtolämmityksessä tuloilman lämpötila voi mitoituspakkasella olla jopa +50 °C:n luokkaa aiheuttamatta ongelmia sisäilmaan. Näin korkea tuloilman lämpötila sopii hyvin kaukolämmitykseen.

#### 2.2.4.2 Huoneistokohtaisesti hallittu ilmanvaihto

Ilmanvaihtolämmitykseen kuuluvassa hallitussa ilmanvaihdossa olohuoneeseen, makuuhuoneisiin ja myös keittiöön puhalletaan lämmitettyä ja suodatettua ulkoilmaa vedottomasti ja meluttomasti. Vastaavasti ilmaa poistetaan keittiöstä, pesutiloista, WC:stä ja vaatehuoneesta. Ilmanvaihto on asukkaan yksilöllisesti tehostettavissa vähintään keittiön liesikuvusta (perustaso). Ilmanvaihtoa voidaan haluttaessa paikallisesti tehostaa keittiön lisäksi myös märkätiloissa (korkea taso). Eri tilanteissa (ruoanlaitto, pyykinpesu, saunominen, vieraat, poissaolot) voivat asukkaat huoneistokohtaisesti käyttää normaalia suurempaa tai pienempää kokonaisilmanvaihtoa tarpeen mukaan. Lisäksi asunon käyttöajan ulkopuolella on käytettävissä ns. perusilmanvaihto.

Ulkoilma otetaan ulkoseinältä ja jäteilma puhalletaan ulos samalta seinältä hyvien koerakennuskokemusten mukaisesti. Asentamalla ilmanvaihtolämmityskone lähelle ulkoseinää voidaan välttyä kalliilta ja pitkiltä lämpö- ja kosteuseristetyiltä ulkoilma- ja jäteilmakanavilta.

Koska ilmanvaihtolämmityksessä talosta ulos puhallettavan ilman lämmöllä lämmitetään ulkoa sisäänotettavaa kylmää ulkoilmaa ilmaiseksi, voidaan Matalaenergiatalossa hyvää sisäilmastoa ylläpitää energiataloudellisesti ympäri vuoden ja yli puoli vuotta ilman lämmitysenergian kulutusta.



### 2.2.4.3 Huoneistokohtaisen ilmanvaihtolämmityksen asennusteknisiä ominaisuuksia

Ilmanvaihtolämmityksen suunnitteluun ja asennukseen vaikuttavia erityisominaisuuksia on esitetty seuraavassa luettelossa:

- Erilaisten komponenttien määrä on vähäinen
- Komponenttien erilaisia liitoskokoja on vähän
- Komponentit ovat toimintavalmiita, monitoimintaisia ja tehtaalla esisäädettyjä
- Automaattilaitteiden asennus on ainoastaan eri komponenttien välisten johtojen liittämistä
- Ilmakanavisto on helppo suunnitella, itsestään säätyvä, virtausteknisesti stabiili, ääniteknisesti hallittu sekä tarpeenmukaisia ilmavirtamuutoksia salliva
- Asuntojen tekniikkavyöhykkeiden ansiosta perinteisten ilmakanavien tarve on vähäinen
- Lyhyiden ulkoilma- ja jäteilmakanavien ansiosta niiden lämmön- sekä kondenssineristyksen tarpeet ja lämpöhäviöt ovat vähäisiä
- Korkean pintalämpötilan ansiosta supereristysikkunoiden alla ei tarvita lainkaan perinteisiä lämmityspattereita
- Erillisiä huoneiden lämmitysvesiverkostoja tarvitaan vain märkätilojen mukavuuslattialämmityksessä
- Ilmanvaihtolämmityskone hoitaa ilmanvaihdon, lämmityksen ja jäähdytyksen
- Ilmanvaihtolämmityskone ja huoneiden tulo- ja poistoilmalaitteet ovat asennus- ja käyttövalmiita ja tehtaalla valmiiksi esisäädettyjä
- Ilmanvaihtolämmityksen asennus- ja säätötyö työmaalla on minimoitu
- Kalliita ilmavirtojen ja ilmanvaihtolämmityksen säätötoimenpiteitä ei juurikaan tarvita työmaalla
- Työmaalla tehdään ainoastaan ilma-, vesi- ja sähkökomponenttien liittämistä
- Rakennus saadaan nopeasti käyttöön.

Työmaa-aikainen lämmitys talvella voidaan pienien lämpöhäviöiden ansiosta hoitaa märkätilojen mukavuuslattialämmityksellä ja työmaavalaisimilla.

## 2.2.5 Yhteysmoduulit

Yhteysmoduuli voi olla rakennusrungon sisäpuolinen, osittain sisä-, osittain ulkopuolinen tai ulkopuolinen rakennusmoduuli. Perinteisesti kerrostaloissa on Suomessa käytetty lähes yksinomaan rakennusrungon sisäpuolisia yhteysmoduuleita. Kun kevyet rakenneratkaisut ovat voimakkaasti kehittyneet erityisesti toimistorakentamisessa ja peruskorjauksissa (ulkopuoliset hissiasennukset), on olemassa tekniikkaa, jota voidaan edullisesti soveltaa myös asuinrakennuksiin. Ulkopuolisilla yhteysmoduuliratkaisuilla saa-

daan suunnittelu- ja käyttöjoustavuutta sekä uusia arkkitehtuurivaihtoehtojen mahdollisuuksia asuinrakentamiseen.

Tässä julkaisussa on ratkaisumallit sovitettu seuraaviin talotyyppeihin:

- lamellitalo
- kulmatalo
- pistetalo ja
- kaksoispistetalo.

Näiden talotyyppien kerrosten pohjaratkaisujen malleja on esitetty liitteessä A.

Ratkaisumallien päätyypit voidaan ryhmitellä seuraaviksi vaihtoehdoiksi:

### **Vaihtoehto 1: Rakennusrungon sisäpuolinen yhteysmoduuli**

Ratkaisuja piste- ja lamellitalolle on esitetty TAT-asuinrakennusraportissa (TAT-RAKENNUSJÄRJESTELMÄ, s. 109–122). Yhteysmoduuliin sisältyvät: portaat, hissi, lämpö-, vesi- ja viemäriputket, sähkö- ja tietojärjestelmäjohdot ja tulo- ja poistoilman yhteiskanavat. Eeva Heikelän ehdotus liitteessä A täydentää näitä ratkaisumalleja.

### **Vaihtoehto 2: Rakennusrungon ulkopuolinen yhteysmoduuli**

Talotekniikan reitit asunnoista yhteysmoduuliin kulkevat talotekniikkatilan kautta. Ulkopuoliseen yhteysmoduuliin sisältyvät: portaat, hissi, lämpö-, vesi- ja viemäriputket, sähkö- ja tietojärjestelmäjohdot ja tulo- ja poistoilman yhteiskanavat. Yhteysmoduulin esimerkkisijoitukset piste-, lamelli- ja kulmataloihin on esitetty liitteessä A.

### **Vaihtoehto 3: Osittain rakennusrungon sisä-, osittain ulkopuolinen yhteysmoduuli**

Talotekniikan reitit asunnoista yhteysmoduuliin kulkevat joko suoraan tai talotekniikkatilan kautta. Yhteysmoduulin sisältö on sama kuin vaihtoehdoissa 1 ja 2. Suunnittelussa voidaan etsiä optimoituja ratkaisuja hyödyntää suoria yhteyksiä huoneistoihin ja rakennusrungon ulkopuolisten osien suunnitteluvapauksia.

## 3. Suunnittelu

### 3.1 Elinkaarisuunnittelun periaatteet

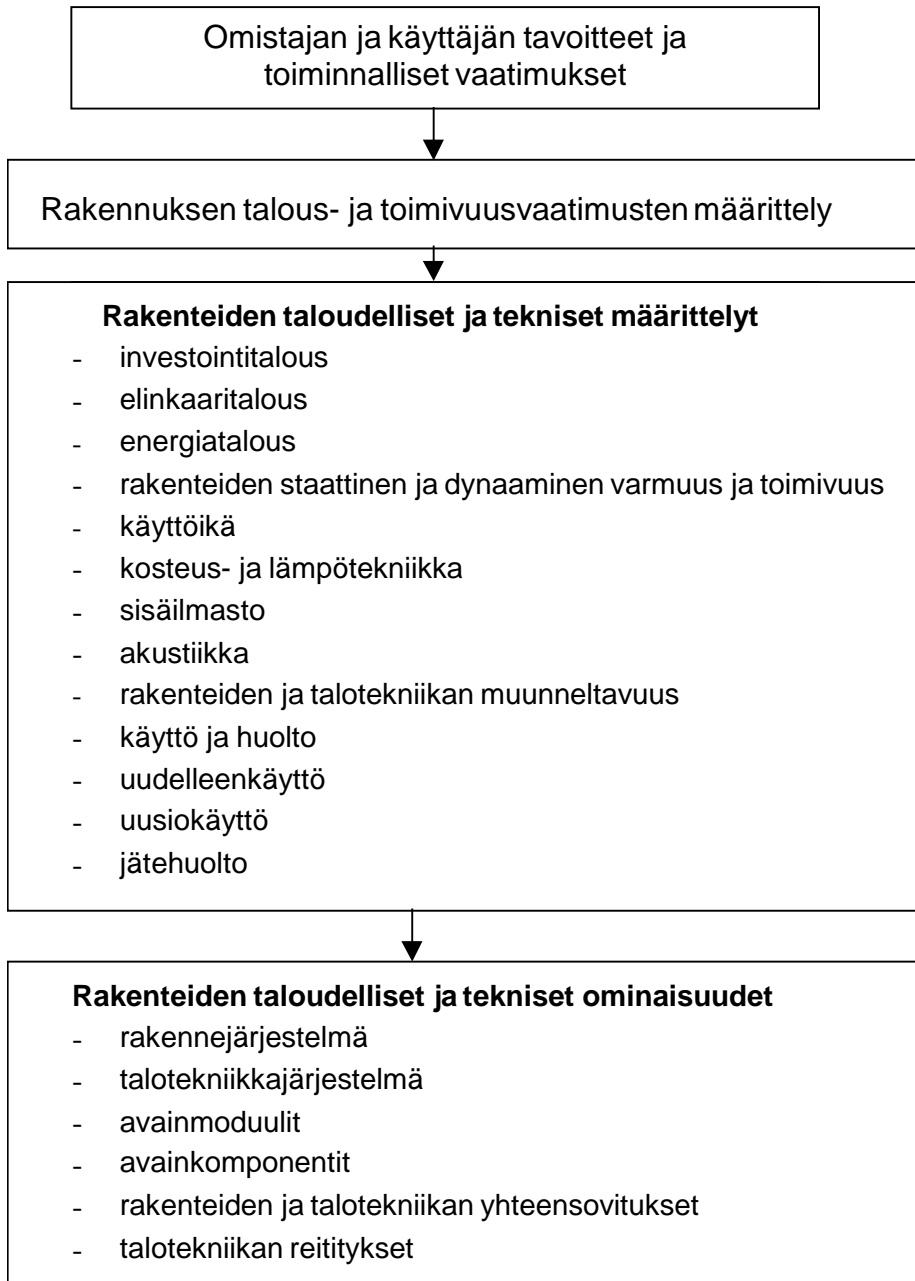
Elinkaarisuunnittelun lähtökohtana ovat käyttäjän, omistajan ja yhteiskunnan asettamat vaatimukset, joista suunnittelussa prosessoidaan rakennuksen toiminnalliset, arkkitehtoniset ja tekniset vaatimukset, tekniset ominaisuusmäärittelyt ja tekniset tuotevalinnat ja tuoteratkaisut. Tämä elinkaarisuunnittelun sisällöllinen prosessi on esitetty kuvassa 4. Suunnittelun kehitysympäristö on kuvattu pääpiirteissään kuvassa 5. Kuvassa 5 on esitetty ulkokehällä yleiset vaatimukset ja sisäkehällä ne parametrit, joiden avulla ominaisuuksia hallitaan ja optimoidaan asetettujen välttämättömien vaatimusten puitteissa.

Elinkaarisuunnittelu on valinta- ja optimointiprosessi, johon sisältyy seuraavia vaiheita:

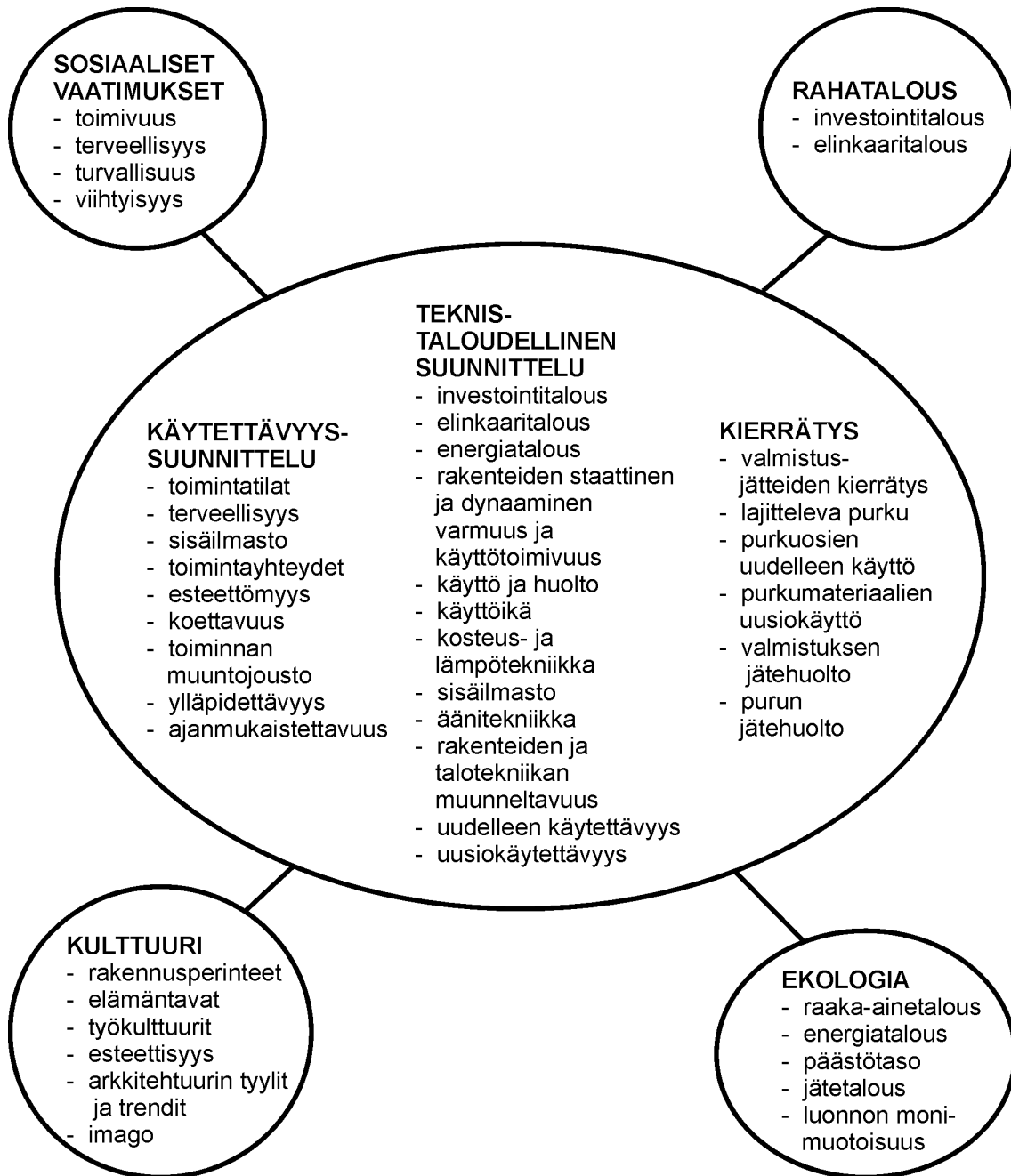
- Vaatimusmäärittelyt
- Alustava ratkaisuvaihtoehtojen tuottaminen
- Vaihtoehtojen ominaisuuksien analysointi eri näkökulmien ja suunnitteluparametrien avulla
- Vaihtoehtojen monitavoitteinen vertailu
- Vaihtoehtojen välisen valintapäätöksen teko monitavoitteisen päätöksentekomenetelyn avulla.

Edellä luetellut vaiheet toistuvat eri suunnitteluvaiheissa, joita ovat: investointisuunnittelu, ehdotussuunnittelu, luonnossuunnittelu ja toteutussuunnittelu. Suunnitteluprosessin tärkeimmät valinnat ja päätökset tehdään alkuvaiheissa, jolloin vapausasteet ja vaihtoehtoehtojen väliset erot ovat suurimmat. Alkuvaiheen vertailuissa ja valinnoissa käytetään yleistason tunnuslukuja. Tunnusluvut tarkentuvat suunnittelun edetessä yksityiskohtiin päin. Myös toteutussuunnittelun merkitys on suuri, koska siinä tehdään suuri määrä pienempiä valintoja. Vasta toteutussuunnittelussa tehtävillä tuotevalinnoilla taataan yleistasolla määriteltyjen elinkaariominaisuuksien saavuttaminen käytännössä.

Keskeisimmät vuorovaikutteiset valinnat tehdään elinkaaritalouden näkökulmasta, joka integroidussa elinkaarisuunnittelussa sisältää sekä rahatalouden että luonnontalouden eli ekologian, kuva 5.



*Kuva 4. Toiminnallisen rakennussuunnittelun vaiheet.*



*Kuva 5. Elinkaarisuunnittelun kehitysympäristö.*

## **3.2 Suunnitteluprosessi**

### **3.2.1 INDUCON-rakennuskonseptin suunnittelun erityistehtävät**

Suunnitteluprosessissa sovelletaan RIL 216-2001 ohjeen luvun 2 "Suunnitteluprosessi"-mukaista menettelyä. INDUCON-rakennuskonseptin erityispiirteitä ovat lisäksi seuraavat suunnitteluprosessin alkuvaiheisiin eli hankesuunnitteluun ja luonnossuunnitteluun painottuvat tehtävät:

1. Toiminnallinen suunnittelumenettely käyttäjien vaatimuksista teknisiin ominaisuusmäärittelyihin.
2. Tilasuunnittelun, rakennejärjestelmän, talotekniikan ja talotekniikan reititysten vuorovaikutteinen määrittely luonnosvaiheen vaihtoehtosuunnittelussa ja toteutusvaihtoehdon valinnassa.
3. Luvun 2 "suunnitteluprosessin" valintojen perusteella tehtävät kantavan rakennejärjestelmän, välipohjien, yhteysmoduulien ja talotekniikkajärjestelmien tuotevalinnat.
4. Energiatalousvaihtoehtojen teknis-taloudellinen vertailu ja niistä johtuvien vaipan ja talotekniikan toiminnallisten vaatimusten pohjalta tapahtuvat tuotteiden jatkovalinnat.
5. Sisäilman laatuasovaihtoehtojen määrittely, vertailu ja niiden pohjalta tapahtuvat talotekniikan tuotteiden jatkovalinnat.
6. Ääniteknisten laatuasovaihtoehtojen määrittely, vertailu ja niiden ja talotekniikan reititysten pohjalta tapahtuvat välipohjien ja seinien tuotteiden jatkovalinnat.

### **3.2.2 Toiminnallinen rakennussuunnittelu**

Toiminnallisen rakennussuunnittelun tavoitteena on rakennuskohtaisen käytön ja ennakoitavan muuntelutarpeen analysointi ja tulosten siirtäminen rakennuksen tilasuunnitteluun sekä rakenne- ja talotekniikkasuunnitteluun.

Toiminnallisen rakennussuunnittelun päävaiheet ovat, kuva 4:

1. Käyttäjän toimintovaatimusten analysointi
2. Rakenteiden toimivuusvaatimusten analysointi ja optimointi toimintovaatimuksista lähtien
3. Rakenteiden teknisten ominaisuuksien määrittely toimivuusvaatimuksista lähtien.

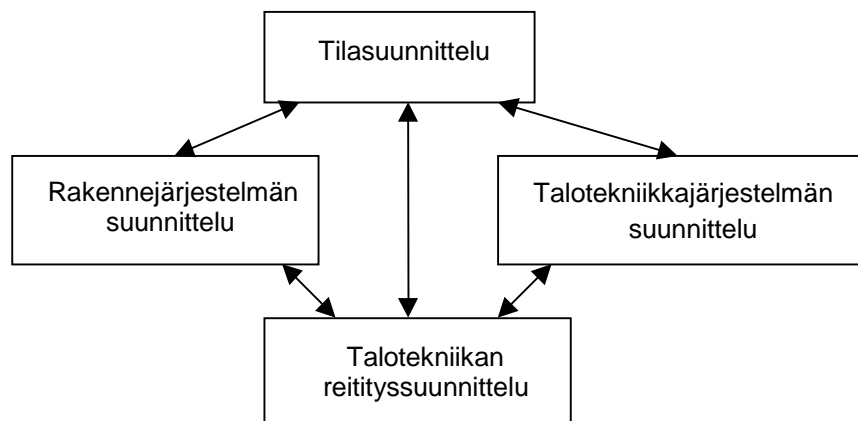
### 3.3 Tilat, rakenne- ja talotekniikka ja reititykset

#### 3.3.1 Vuorovaikutus

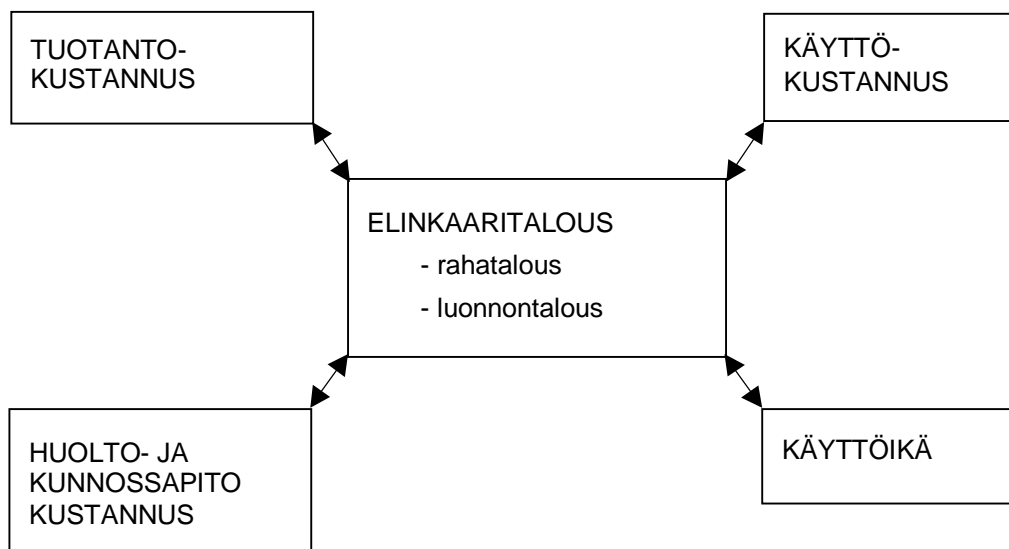
Tilat, rakenne- ja talotekniikkajärjestelmän ja talotekniikan reititysjärjestelmän määrittelevä luonnosvaiheen suunnittelu suoritetaan arkkitehdin, rakennuttajan ja tarvittavien teknisten asiantuntijoiden yhteistyönä. Erityistä huomiota kiinnitetään elinkaarisuunnittelun vaatimusasetteluun ja siihen sisältyviin keskeisiin tekijöihin, kuten käytettävyyteen ja muunneltavuuteen. Jo tässä vaiheessa varmistetaan myös talotekniikan reititysten käytännöllinen toteutettavuus. Tilasuunnittelu tapahtuu vuorovaikutteisesti rakennejärjestelmän, talotekniikkajärjestelmän ja talotekniikan reitityksen suunnittelun kanssa, kuva 6.

Rakenne- ja talotekniikkajärjestelmän suunnittelu alkaa kantavan rungon osalta tilasuunnitelmista ja muista arkkitehtisuunnitelmista. Vaipan suunnittelu aloitetaan rakennuttajan vaatimusmäärittelyissä määritellyistä toiminnallisista ominaisuuksista käyttäen apuna taulukon 2 vaipparakennevaihtoehtoja. Välipohjien rakenne- ja talotekniikkasuunnittelussa käytetään INDUCON-rakennuskonseptin tuotemäärittelyssä esitettyjä, rakennuttajan määrittelemät toiminnalliset vaatimukset täyttäviä laattatyyppisiä. Talotekniikan reititysten valinnat johtavat välipohjarakenteen ja yhteysmoduulin määrittelyyn.

Keskeisimmät rakenne- ja talotekniikkajärjestelmien optimointitekijät on esitetty kuvassa 7.



Kuva 6. Tilasuunnittelun, rakennejärjestelmä- ja talotekniikkasuunnittelun ja talotekniikan reitityssuunnittelun välinen vuorovaikutuskaavio.



Kuva 7. Rakennuksen keskeiset kustannusluokat ja suunnittelun kohdentamisalueet.

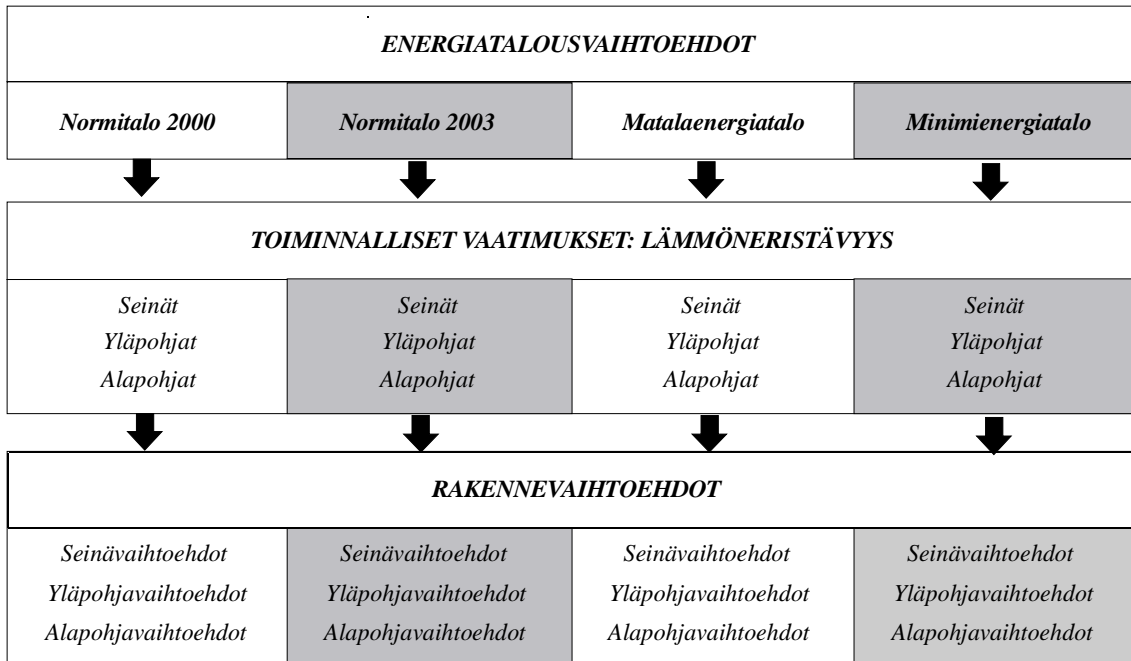
### 3.3.2 Energiatalous ja ekologia

#### 3.3.2.1 Rakennuksen energiatalousvaihtoehtojen teknis-taloudellinen vertailu

Energiatalousvaihtoehtojen valinnassa noudatetaan RIL 216-2001 -ohjeen mukaista luokitusta. Tarkasteltavat vaihtoehdot ovat yleensä: Normitalo 2000, Normitalo 2003, Matalaenergiatalo ja Minimiennergiatalo. Erikoistapauksissa voidaan vaihtoehdoksi valita myös nollaenergiatalo tai plusenergiatalo, jotka eroavat Minimiennergiatalosta lähinnä energiaa tuottavien laitteistolisäysten (aurinkopaneelit, lämpöpumppu jne.) osalta.

Energiatalousvaihtoehtojen valinnat heijastuvat rakenteiden ja talotekniikan toiminnalliseksi vaatimuksiksi ja niistä edelleen vaipan lämpötalousmuuttujiin ja tuotevalintoihin, talotekniikan tuotevalintoihin ja rakenteiden ja talotekniikan kustannusarvioihin kuvan 8 ja taulukon 3 mukaisesti.





*Kuva 8. Kehityskulku rakennuksen energiatalousvaihtoehdoista vaipparakennevaihtoehtoihin.*

Taulukko 3. Energiataloustasoihin sovitettut keskeiset tekniset ratkaisut ja niiden kustannuserot verrattuna Normitalo 2000:een (ALV 22 %).

	Normitalo 2000	Normitalo 2003	Matalaenergiatalo	Minimienergiatalo
Tilojen lämmitysenergiankulutus, %	100	79	53	40
<b>Alapohjat</b>				
U-arvo, W/m <sup>2</sup> K	0,22	0,16	0,16	0,10
Ratkaisu	160 mm EPS	260 mm EPS	260 mm EPS	250 mm SPU
Kustannusero, mk/seinä m <sup>2</sup>	0	60	60	160
Kustannusero, €/seinä m <sup>2</sup>	0	10	10	27
<b>Ulkoseinät</b>				
U-arvo, W/m <sup>2</sup> K	0,28	0,25	0,20	0,15
Ratkaisu	145 mm mineraalivilla	165 mm mineraalivilla	220 mm mineraalivilla	300 mm mineraalivilla
Kustannusero mk/ seinä m <sup>2</sup>	0	15	50	100
Kustannusero, €/seinä m <sup>2</sup>	0	2,5	8,5	17
<b>Yläpohjat</b>				
U-arvo, W/m <sup>2</sup> K	0,22	0,16	0,08	0,08
Ratkaisu	220 mm puhallusvilla	300 mm puhallusvilla	600 mm puhallusvilla	600 mm puhallusvilla
Kustannusero, mk/ seinä m <sup>2</sup>	0	15	60	60
Kustannusero, €/seinä m <sup>2</sup>	0	2,5	10	10
<b>Ikkunat</b>				
U-arvo, W/m <sup>2</sup> K	2,1	1,4	1,0	0,6
Ratkaisu	MSE	MSE	MSE	4-lasinen selektiivi
Kustannusero, mk/ seinä m <sup>2</sup>	0	85	210	250
Kustannusero, €/seinä m <sup>2</sup>	0	14	35	42
<b>Ulko-ovet</b>				
U-arvo, W/m <sup>2</sup> K	0,7	0,5	0,4	0,2
Kustannusero, mk/ seinä m <sup>2</sup>	0	85	110	150
Kustannusero, €/seinä m <sup>2</sup>	0	14	18	25
<b>Talotekniikka</b>	Patterilämmitys, yhteiskanavoitu koneellinen poisto-ilmanvaihto	Patterilämmitys, yhteiskanavoitu tulo- ja poisto-ilmanvaihto, lämmöntalteenotto 25 %:n hyötysuhteella.	Huoneistokohtainen ilmanvaihtolämmitys, lämmöntalteenotto 40 %:n hyötysuhteella.	Huoneistokohtainen ilmanvaihtolämmitys, lämmöntalteenotto 60 %:n hyötysuhteella.
<b>Kustannuserot</b> €/brm <sup>2</sup> (mk/ brm <sup>2</sup> )				
Ilmanvaihto-osat	0	+20 (+120)	+38 (230)	+40 (+240)
Putkiosat	0	+1,7 (+ 10)	-15 (-90)	-15 (-90)
Sähköosat	0	+1,2 (+ 7)	+1,3 (+8)	+1,3 (+8)

### 3.3.2.2 Rakennusmassan hyödyntäminen vuorokautisessa lämmönsäädössä

Rakenteiden lämmönvarauskykyä voidaan käyttää rakennuksen lämpöteknisen toiminnan osana seuraavilla tavoilla:

1. Sisälämpötilan vaihtelun tasaamiseen
2. Sisäisten lämpökuormien hyödyntämiseen lämmityksessä
3. Aurinkoenergian passiiviseen tai aktiiviseen vuorokausivarastointiin ja myöhempään luovuttamiseen sisälämpötilan ylläpitoa varten
4. Poikkeustilanteiden (esim. katko energiansaannissa) lyhytaikaisena lämpövarastona
5. Vuorokauden ajalla jaksottaisen lämmityksen (esim. yö sähköllä tai aurinkolämmöllä) yhteydessä lämmön varastointiin ja myöhempään luovutukseen sisälämpötilan ylläpitoon
6. Rakennuksen päivälämpötilan alentamiseen hellekautena jäähdyttämällä rakenteet yöllä ulkoilmalla
7. Huoneisiin puhallettavan tuloilman lämpötilan vuorokautisen ja sitä lyhyemmän ajan vaihtelun vaimentamiseen.

Yksinkertaisista laskentamalleista WinEtana ja WinCenT käyttävät standardin CEN EN 832 mukaista lämmönvarauskyvyn laskentamenetelmää. Nämä soveltuvat rakennuksen vuotuisen energiankäytön arviointiin. Niillä voidaan ottaa huomioon lämpökuormien lämmitysenergiankulutusta pienentävä vaikutus. Jos halutaan analysoida tarkemmin rakenteiden lämpöteknistä toimintaa, tulee käyttää dynaamisia laskentamalleja, kuten esimerkiksi Energy-10, TRNSYS tai BUS++.

Seuraavassa esitetään standardin CEN EN 832 mukainen yksinkertainen lämpökuormien hyödyntämiskertoimen laskentamenetelmä lämmitysenergian tarpeen laskemista varten.

Tilojen lämmitysenergian tarve  $Q_h$  lasketaan lämpöhäviöistä  $Q_l$ , lämpökuormista  $Q_g$  ja lämpökuormien hyödyntämiskertoimesta  $\eta$ :

$$Q_h = Q_l - \eta Q_g \quad (1)$$

Lämpökuormien ja lämpöhäviöiden suhde on  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_l} \quad (2)$$

Aikavakio on  $\tau$ :

$$\tau = \frac{C}{H} \quad (3)$$

missä:

$C$  on tehollinen sisäinen lämpökapasiteetti, Wh/K

$H$  on rakennuksen lämpöhäviökerroin eli konduktanssi, Wh/K

Tehollinen sisäinen lämpökapasiteetti on:

$$C = \sum \chi_j A_j \quad (4)$$

missä:

$\chi_j$  on rakennuselementin  $j$  lämpökapasiteetti pinta-alaa kohti laskettuna standardin EN ISO 13786 mukaan käyttämällä sopivaa aikajaksoa tai maksimipaksuutta (taulukko 4)

$A_j$  on rakennuselementin  $j$  pinta-ala.

*Taulukko 4. Käyttötarkoituksen mukaiset aikajaksot ja rakenteen maksimipaksuudet.*

Käyttötarkoitus	Aikajakso, h	Maksimipaksuus, cm
Hyödyntämiskertoimen määrittäminen	24	10
Epäjatkuvan toiminnan tarkastelu	3	3

Vaihtoehtoisesti tehollinen lämpökapasiteetti voidaan laskea seuraavalla tavalla:

$$C = \sum_j \sum_i \rho_{ij} c_{ij} d_{ij} A_j \quad (5)$$

missä:

$\rho_{ij}$  on rakennuselementin  $j$  rakennekerroksen  $i$  tiheys

$c_{ij}$  on rakennuselementin  $j$  rakennekerroksen  $i$  ominaislämpökapasiteetti

$d_{ij}$  on rakennuselementin  $j$  rakennekerroksen  $i$  paksuus

$A_j$  on rakennuselementin  $j$  pinta-ala.

Tehollisen lämpökapasiteetin laskenta tehdään kaikille rakennekerroksille maksimipak-suuteen saakka. Lämpökuormien hyödyntämiskerroin  $\eta$  on (kuva 9):

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad \text{jos } \gamma \neq 1 \quad (6)$$

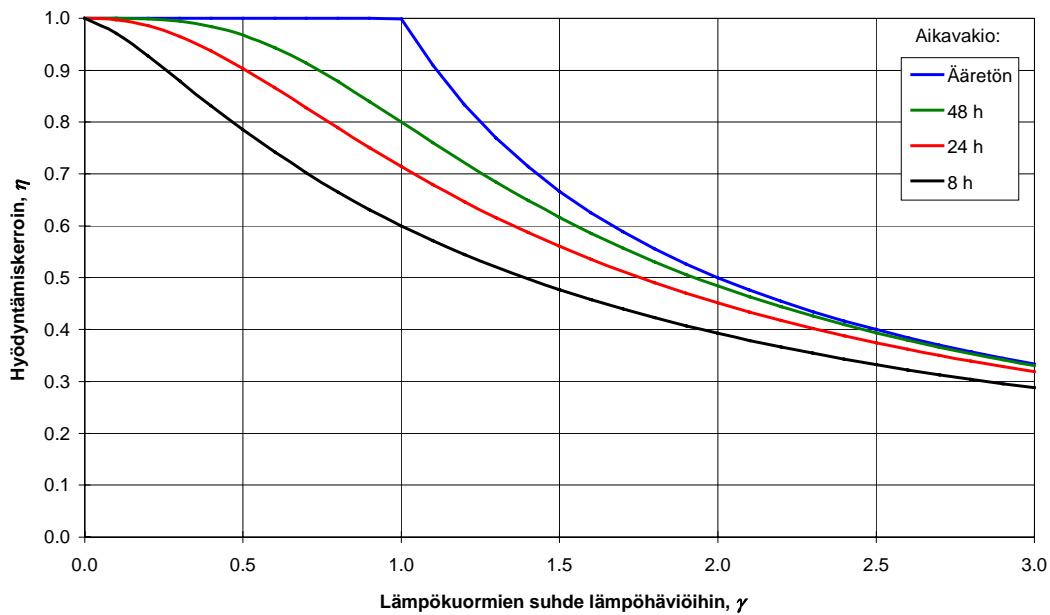
$$\eta = \frac{a}{a + 1} \quad \text{jos } \gamma = 1 \quad (7)$$

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0} \quad (\text{parametrit taulukosta 5}) \quad (8)$$

Taulukko 5. Parametrin  $a_0$  ja referenssiaikavakion  $\tau_0$  arvot eri laskenta-aikajaksoilla.

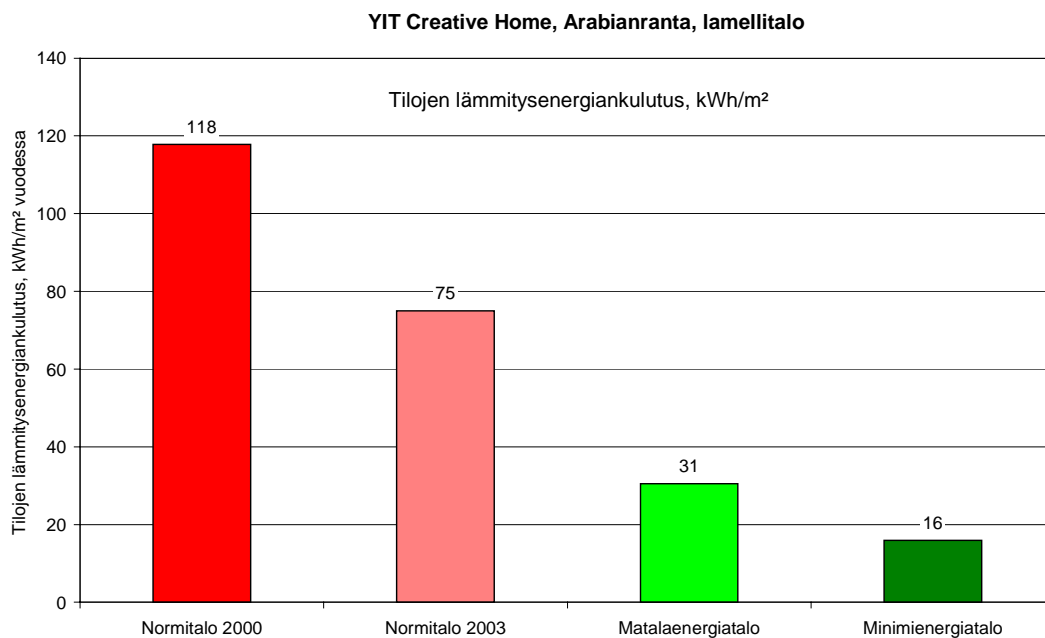
Laskentamenetelmä	$a_0$	$\tau_0, \text{ h}$
Kuukausittainen laskenta	1	16
Koko lämmityskauden laskenta	0,8	28

INDUCON-rakennuskonseptin tyypillisillä rakenteilla lämpökuormien suhde lämpöhä-viöihin on lämmityskautena likimäärin seuraava: Normitalo 2000:lla 45 h, Normitalo 2003:lla 60 h, Matalaenergiatalolla 100 h ja Minimiennergiatalolla 140 h. Ilmaislämmön hyödyntämiskerroin vaihtelee tällöin noin 0,8–0,9.

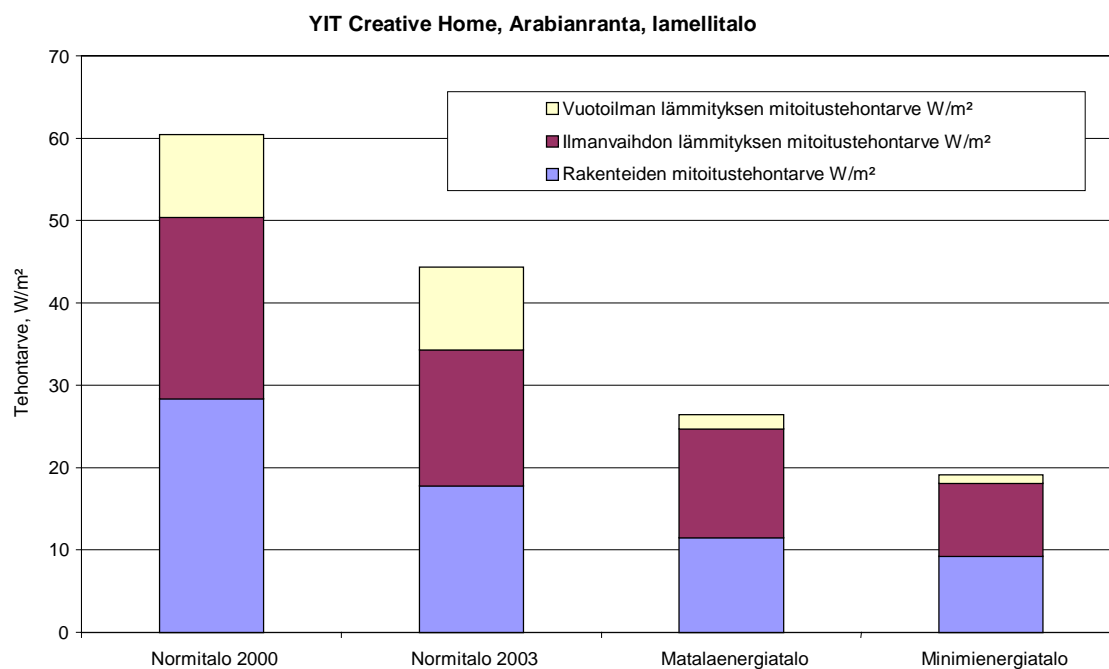


Kuva 9. Rakenteisiin varastoituvan lämmön hyödyntämiskertoimen riippuvuus lämpökuormien ja lämpöhäviöiden suhteesta.

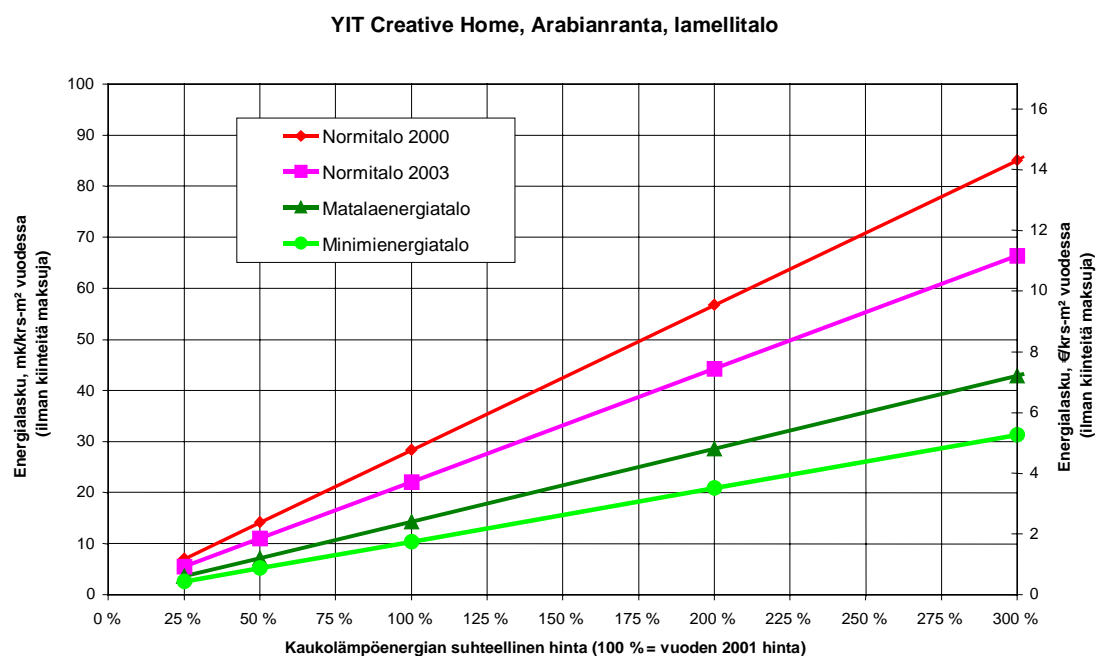
Esimerkki lämmitysenergian vuotuisesta ominaiskulutuksesta, lämmityksen mitoitusenergian tarpeesta ja vuotuisen energiakustannuksen riippuvuudesta energian hinnasta on esitetty kuvissa 10, 11 ja 12.



Kuva 10. Eri energiatalousluokkiin suunnitellun esimerkkirakennuksen vuotuinen ominaislämmönkulutus, kWh / as<sup>2</sup>.



Kuva 11. Eri energiatalousluokkiin suunnitellun esimerkkirakennuksen mitoitustehontarve,  $W/asm^2$ .



Kuva 12. Esimerkkirakennuksen vuotuinen lämmitysenergiakustannus eri energiatalousluokissa ja eri energianhintatasoilla. Vuonna 2001 kaukolämmön talvihinta oli 180 mk/MWh (1.10.–30.4.) ja kesähinta 90 mk/MWh (1.5.–30.9.).

### 3.3.3 Talotekniikan reititykset

**Huoneistokohtaiset talotekniikan reititykset** kootaan kantavien seinälinjojen viereen välipohjalaattaan ja seinä- ja kaappitiloihin tai kunkin huoneiston tilaan kevyellä seinällä eristettävään asennus- ja huoltotilaan, joista on vaakayhteys yhteysmoduuliin.

**Välipohjarakenne** sisältää kantavan sekä paloa että ääntä eristävän ontelolaatan ja siihen yhdistetyn talotekniikan reititystilan. Talotekniikan reititykset asennetaan joko kantavan ontelolaatan sisään, kantavan laatan päälle asennettavaan laitelattiatilaan tai alas lasketun katon muodostamaan laatan alapuoliseen tilaan. Välipohjan reititykset toimivat huonetilojen ja asunnon asennus- ja huoltotilan välisenä talotekniikan yhteysreitinä.

Ratkaisumallien päätyypit voidaan ryhmitellä seuraaviksi kahdeksi vaihtoehdoksi:

**Vaihtoehto 1: Yhteydet keskitetty ”portaikkoon”.** Ratkaisuja piste- ja lamellitalolle esitetty TAT-asuinrakennusraportissa (TAT-RAKENNUSJÄRJESTELMÄ, s. 109–122). Yhteysmoduuliin sisältyvät: portaat, hissi, lämpö-, vesi- ja viemäriputket, sähkö- ja tietojärjestelmäjohtot ja tulo- ja poistoilman yhteiskanavat. Eeva Heikelän ehdotus liitteessä A täydentää näitä ratkaisumalleja.

**Vaihtoehto 2: Ulkopuolinen yhteysmoduuli,** johon yhteydet asunnosta talotekniikka-tilan kautta. Ulkopuoliseen yhteysmoduuliin sisältyvät: portaat, hissi, lämpö-, vesi- ja viemäriputket, sähkö- ja tietojärjestelmäjohtot ja tulo- ja poistoilman yhteiskanavat.

Yhteysmoduulin esimerkkisijoitukset piste-, lamelli- ja kulmataloihin on esitetty liitteessä A.

Laataston poikkisuunnan reitityksen vaihtoehdot ovat

1. Läpi talon menevä kerroksen korkuinen reititystila
2. Läpi talon menevä välipohjan alapuolinen kaappitila tai alaslaskukattovyöhyke ja laatan yläosan putkitustilasyvennys
3. Märkätilojen (kylpyhuone ja keittiö) läpi välipohjan alla kylpyhuoneen katossa tai keittiön yläkaapeissa menevä reititys
4. Kylpyhuoneen laiteseinässä ja keittiön kaappitilassa kulkeva reititys
5. Kylpyhuoneen laiteseinän alaosassa ja keittiön tai muun tilan seinän vieressä kulkeva matala ”penkkireitti”.



Kaksoisontelolaattaa käytettäessä talotekniikan reitityksen perusratkaisut ovat

1. Välipohjan yläpuolisten asuntojen vesi-, viemäri-, sähkö-, tieto- ja pölynpoistojohdot laatan suunnassa laatan yläosan asennusonteloissa tai kantavan laatan päällä olevassa asennuslattiassa ja laatan poikkisuunnassa huoneistojen välisen seinän viereisessä välipohjalaatan syvennyksessä.
2. Välipohjalaatan alapuolisten asuntojen ilmanvaihdon ja ilmanvaihtolämmityksen ilmakehanavat laatan suunnassa laatan kantavan alaosan onteloissa ja laatan poikittais-suunnassa välipohjan päällä tai alla olevissa asennusseinä-, kaappi- tai alaslaskukat-totiloissa.

## **3.4 Terveellisyys ja viihtyisyys**

### **3.4.1 Sisäilmaston laatutaso**

**Sisäilmaluokitusta 2000** käytetään rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden apuna, kun tavoitteena on rakentaa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. Sisäilmastoluokituksen avulla määritellään sisäilmaston laatutaso tavoitearvoina.

Seuraavassa esitettävät luokitukset on valittu lukuisissa Matalaenergiatalojen koetaloisissa toteutuneiden hyvien sisäilmasto-olosuhteiden perusteella. Hyvän sisäilmaston laatutason tavoitearvoja voidaan pitää myös lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden mitoituksessa käytettävänä sisäilmaston suunnitteluperusteina.

#### **Hyvän sisäilmaston laatutaso**

INDUCON-rakennuksen hyvän sisäilmaston laatutekijöiden määrittely on esitetty taulukossa 6.

Sisäilmaluokituksen tavoitteet, vaatimukset ja ohjeet otetaan huomioon rakennushankkeen jokaisessa vaiheessa. Tavoitearvojen toteuttamiseksi on käytettävä sisäilmaluokituksen ohjeita suunnittelulle ja toteutukselle sekä asetettava vaatimukset rakennustuotteille. Rakennustöiden suunnittelua ja ohjausta varten on valittava rakennustöiden puhtausluokitus, ilmanvaihtolaitoksen puhtausluokitus, rakennusmateriaalien päästöluokitus ja ilmanvaihtotuotteiden puhtausluokitus siten, että käytettävillä materiaaleilla ja laitteilla voidaan toteuttaa hyvä sisäilmasto.

Taulukko 6. Hyvän sisäilmaston laatutason ominaisuusarvot.

Suure		Yksikkö	Sisäilmastoluokka		
			S1	S2	S3
Huonelämpötila	talvi	°C		20–22	
	kesä	°C		23–26	
Lattian lämpötila		°C	19–29		
Lämpötilaero pystysuunnassa		°C		< 3	
Ilman nopeus	talvi 21 °C	m/s		< 0,17	
	kesä 24 °C	m/s		< 0,25	
Ilman suhteellinen kosteus, talvi <sup>1)</sup>		%		< 50	
Ilmanvaihtolämmitys-laitteiden A-äänitaso,	asuinhuoneet	dB	< 25		
	keittiö	dB	< 30		
Ilmanvaihtuvuus (säädettävä)		1/h	> 1,0	> 0,6	> 0,4
Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden	(TVOC) kokonaispitoisuus	µg/m <sup>3</sup>	< 200		
	Hiilidioksidipitoisuus (CO <sub>2</sub> )	ppm	< 700		
	Hiukkaspitoisuus PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>		< 40	
	Radonpitoisuus (Rn)	Bq/m <sup>3</sup>	< 100		

<sup>1)</sup> Sisäilmaluokitus 2000 ei sisällä määrittelyä

### 3.4.2 Äänitekninen laatutaso

Äänitekniset laatutasot ovat

- normitaso
- korkea vaatimustaso.

Äänitekniset laatutasot määritellään välipohjien ilmaääneneristävyyden ja askeläänitason sekä huoneistojen välisten seinien ilmaääneneristävyyden avulla. Välipohjan äänitekniset ratkaisut eri laatutasoilla on esitetty taulukossa 7 ja rakenneratkaisuja taulukossa 8.

Taulukon 7 mukaisten äänitekniisten vaatimusten saavuttaminen edellyttää, että välipohjien lisäksi ikkunat, ulkoseinät, huoneistojen väliset seinät sekä seinien ja laattojen väliset liitokset ja porrashuoneiden äänenvaimennus ovat riittävät.

Välipohjien ääneneristykseen, talotekniikan reitityksen ja lämmöntasausmassan hyödyntämisen ratkaisevat rakennevaihtoehdot ovat

1. Raskas ontelolaatta P37 ja P37K, jota Parma Betonila, Addtek ja YIT kehittävät.
2. Asennuslattia, jossa teräsprofiileilla tuettu pintalevy muodostaa talotekniikan asennustilan ja parantaa ilma- ja askelääneneristystä.

3. Perinteinen uiva lattia.

4. Kevytbetonivaluna tai löysästi sidottuna hiekkavaluna valmistettava asennuskerros.

*Taulukko 7. INDUCON-välipohjien ja -ulkoseinien äänitekniset vaatimukset.*

Äänitekkinen vaatimus	Normitaso		Korkea vaatimustaso	
	Vaatus	Rakennratkaisu	Vaatus	Rakennratkaisu
Ilmaääneneristysluku, $R'_{w}$ , dB	55	Välipohja: Raskas ontelolaatta tai kaksoisontelolaatta	60	Välipohja: Raskas ontelolaatta
Askeläänitasoluku, $L'_{n,w}$ , dB	53	Välipohja: Raskas ontelolaatta tai kaksoisontelolaatta	50	Välipohja: Ontelolaatta ja uiva lattia
Huoneen äänitaso, dB(A)	28	Ulkoseinä: Hyvän äänen-eristykseen ikkunat, betoni-sandwich- tai kerrosseinät	25	Ulkoseinä: Hyvän äänen-eristykseen ikkunat, betoni-sandwich- tai kerrosseinät

*Taulukko 8. Huoneistojen välisten seinien ilmaääneneristys eri laatutasoilla ja eri rakennratkaisuilla.*

Ilmaääneneristysluku $R'_{w}$ , dB	Rakennratkaisu
Normitaso 55 dB	Massiivinen betoniseinä, massa vähintään 400 kg/m <sup>2</sup> (paksuus 170 mm)
Korkea vaatimustaso 60 dB	1. Massiivinen betoniseinä, massa vähintään 400 kg/m <sup>2</sup> (paksuus 170 mm) ja sivutiesiirtymä estetty
	2. Kaksikerros-betonilevyseinä, levyjen välissä mineraalivillalevy, paksuus 50 mm: Kummankin betonilevyn paksuus 100 mm
	3. Yksipuolinen betonilevy, paksuus 100 mm + mineraalivilla 30 mm + ranka ja sen välissä mineraalivilla 70 mm + 2x13 mm kipsilevy
	4. 2x13 mm kipsilevy + ranka ja sen välissä mineraalivilla 70 mm + ranka ja sen välissä mineraalivilla 70 mm + 2x13 mm kipsilevy

Ääneneristyksen varmistamisessa on aina perusrakenteiden ääneneristyksen varmistamisen lisäksi varmistettava myös sivutiesiirtymien eliminointi ja portaikon äänitekkinen toimivuus.

## 3.5 Elinkaaritalous

### 3.5.1 Rahatalous

Elinkaaritaloutta tarkastellaan tässä RIL 216-2001 ohjeen luvun 3.6 mukaisesti.

Elinkaarikustannusten määrittämisen tarkasteluajoiksi valittiin

- 10 vuotta (tyypillisesti asunnolla koko ajan sama omistaja, lainarahoituksen osuus merkittävä, ei vielä huomattavia huoltotarpeita).
- 25 vuotta (tyypillinen ”laina-aika”, ei vielä merkittäviä rakennusosien tai järjestelmien uusimistarpeita).
- 50 vuotta (suunnittelu-aika, jonka jälkeen hyvin huolletulla rakennuksella suhteellisen korkea jälleenmyyntiarvo).
- 100 vuotta (ns. pidennetty suunnittelu-aika, jonka jälkeen hyvin huolletulla rakennuksella edelleen käyttöaika ja jälleenmyyntiarvoa).

Niiltä osin kuin esimerkiksi talotekniikkaa tarkasteluajana (esimerkiksi rakennuksen käyttöikä = 100 vuotta) uusitaan, käytetään uusimiskustannuksena 1,1 x uudishinta, joka sisältää tällöin myös purku- ja jätehuolto- tai kierrätyskustannuksen. Ikkunoita ja ulko-ovia vuonna 2030 uusittaessa ne valitaan tuolloin vallitsevan normitason mukaisiksi (noin 1,0 W/m<sup>2</sup>K). Vastaavaksi energiakustannussäästöksi on vuodesta 2030 alkaen arvioitu 1 500 €/v (9 000 mk/v) nykytariffien mukaisesti.

Kustannusten **nykyarvot** määritetään yhtälöllä 9:

$$P = HA + UH + HU + EN, \text{ missä} \quad (9)$$

- P on elinkaarikustannusten nykyarvo  
HA on hankintakustannusten (rakennuskustannukset) nykyarvo  
UH on uushankintakustannusten (järjestelmien ja rakennusosien uusiminen) nykyarvo  
HU on huoltokustannusten huoltokirjan mukainen nykyarvo  
EN on käytönaikaisten energiakustannusten nykyarvo.

Energiakustannuksen nykyarvo lasketaan kertomalla energian vuosikustannus tarkasteluajan vuosilukumäärällä.

Yksityishenkilön ollessa omistajana ja kansantalouden laskelmissa elinkaarikustannusten korkokantana (= nimelliskorkokannan ja inflaation erotus) käytetään yleensä reaali-

korkokantaa eli yleistä pitkäaikaisen pankkilainan korkokantaa vähennettynä inflaatiolla. Reaalikorkokanta vaihtelee yleensä välillä 2–3 %.

Pitkäjänteiset sijoittajaorganisaatiot ja yksityiset sijoittajat käyttävät sijoitustensa reaali-  
tuottovaatimuksen mukaista reaalikorkokantaa, joka yleensä on noin 3–5 %.

Yritykset käyttävät omien toimi- ja tuotantotilojensa investoinneille tavallisesti sidotun pääoman tuotolle määriteltyä korkotuottovaatimusta, mikä on usein huomattavastikin edellä esitettyjä arvoja suurempi ja vaihtelee yrityksittäin.

Nykyarvotarkasteluissa lasketaan rahoituskulut erikseen vähentämällä vuosikustannusten ja tarkasteluajan tulosta nykyarvoero. 100 vuoden tarkasteluajalla on nykyarvoa vuosikustannukseksi muunnettaessa käytetty 50 vuoden rahoitusaikaa eli rahoitettavana on keskimäärin ollut noin puolet nykyarvon mukaisista kokonaiskustannuksista.

Rakennusosa- ja rakennustasoilla lasketaan **vuosikustannukset** muuntamalla nykyarvon mukaiset kustannukset (P) vuosikustannuksiksi (A) seuraavalla kaavalla:

$$A = P \frac{i(1+i)^t}{(1+i)^t - 1}, \text{ missä} \quad (10)$$

t on tarkastelu aika vuosina

i laskentakorkokanta.

Hankinta- ja elinkaarikustannuserot verrattuna Normitalo 2000:een talotyypeittäin koottiin liitteen E taulukoissa esitetyllä tavalla. Sitä käytettiin myös herkkyystarkastelun apuvälineenä (ratkaisuvaihtoehdot, energian hintakehitys, tarkastelu aika, laskentakorkokanta, kunnossapito- ja muuntojoustovaikutukset).

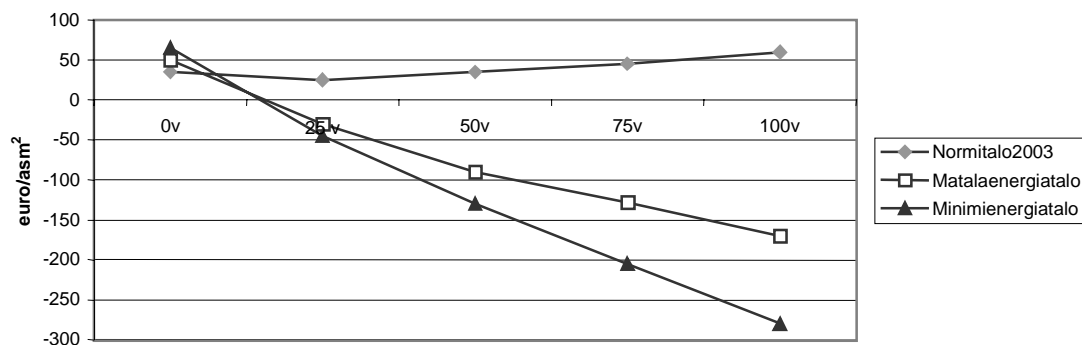
Kannattavuusvertailuissa voidaan laskea ns. kustannusperustainen takaisinmaksuaika. Sillä tarkoitetaan aikaväliä, minkä kuluessa elinkaarikustannusten säästöt saavuttavat ko. aikavälille kohdistuvat elinkaarikustannuslisät. Elinkaarikustannus voidaan määrittää vuosikustannuksena (ns. kassavirrat) tai nykyarvona (ns. ennakkomaksut), joista viimeksi mainittua on pidetty ensisijaisena.

Esimerkki elinkaarikustannusten vertailusta on esitetty taulukossa 9. Esimerkki elinkaarikustannuksista suunnitteluajan muuttuessa on esitetty kuvassa 13. Elinkaarikustannusten herkkyystarkastelua eräiden keskeisten muuttujien suhteen on esitetty taulukossa 9 ja takaisinmaksuaikojen herkkyystarkastelua taulukossa 10.

Taulukko 9. Normitalo 2003:n, Matalaenergiatalon ja Minimiennergiatalon hankinta- ja elinkaarikustannusten nykyarvoerot asuntoneliometriä kohti (€/asm<sup>2</sup>) 50 vuoden suunnitteluajanjaksolla Normitalo 2000:een verrattuna. Reaalikorkokanta 2 %. (viitekohde: Helsingin Arabianranta, laskentaerittelyt liitteessä D).

Kustannuslaji	Nykyarvoerot €/asm <sup>2</sup> (mk/asm <sup>2</sup> )		
	Normitalo 2003	Matalaenergiatalo	Minimiennergiatalo
Rakennustekniset hankinnat	+14 (+85)	+27 (+160)	+40 (+240)
Talotekniset hankinnat	+23 (+135)	+23 (+140)	+25 (+150)
Uushankinnat	+29 (+175)	+30 (+185)	+30 (+185)
Huolto	+6 (+35)	+4 (+25)	+4 (+25)
Energia	-55 (-330)	-190 (-1150)	-250 (-1500)
Rahoitus	+20 (+120)	+23 (+140)	+28 (+170)
Tilapäismajoitus		-7 (-40)	-7 (-40)
Yhteensä	+37 (+220)	-90 (-540)	-130 (-770)

#### KOKONAISKUSTANNUSEROT NORMITALO 2000: EEN (0–100 V)



Kuva 13. Normitalo 2003:n, Matalaenergiatalon ja Minimiennergiatalon hankinta- ja elinkaarikustannusten erot asuntoneliometriä kohti (€/asm<sup>2</sup>) 100 vuoden aikana Normitalo 2000:een verrattuna. 50 vuoden suunnitteluajavälillä ja 2 %:n reaalikorolla (eritellyt laskelmat liitteessä D).

*Taulukko 10. Normitalo 2003:n, Matalaenergiatalon ja Minimiennergiatalon takaisinmaksuajat verrattuna Normitalo 2000:een suunnitteluajanjaksolla 50 vuotta muuttujien arvojen vaihdellessa.*

Muuttuja	Takaisinmaksuaika vuosina		
	Normitalo 2003	Matalaenergiatalo	Minimiennergiatalo
Perusvertailu, reaalikorkokanta 2 %	Ei takaisinmaksua	13	13
Jos Minimiennergiatalossa eriytetty ulkoseinä	Ei takaisinmaksua	13	18
Jos reaalikorkokanta 4 %	Ei takaisinmaksua	15	20
Jos reaaliset energianhinnat 1,5-kertaiset	100	10	8
Jos Normitalo 2000:ssa koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	25	5	7
Jos vuotoilmanvaihtokerroin on eri talotyypeissä sama	Ei takaisinmaksua	16	19

### 3.5.2 Energiatalouteen sijoittamisen kannattavuus

Matalaenergiatalon ja Minimiennergiatalon kustannuserot ja lisäsjoituksen kannattavuus verrattuna Normitalo 2000:een on esitetty taulukossa 11.

*Taulukko 11. Normitalo 2003:n, Matalaenergiatalon ja Minimiennergiatalon kustannuserot ja kannattavuus Normitalo 2000:een verrattuna aikavälillä 50 vuotta ja korkokannalla 2 % vuoden 2002 hinnoin.*

	Normitalo 2003	Matalaenergiatalo	Minimiennergiatalo
Hankintakustannusero €/asm <sup>2</sup> (mk/asm <sup>2</sup> ) %/rakennuskustannus	+35 (+220) +4	+50 (+300) +5	+65 (+400) +6
Energiakustannusero/50v €/asm <sup>2</sup> (mk/asm <sup>2</sup> ) %/energiakustannus	-55 (-330) -8	-200 (-1200) -28	-250 (-1500) -37
Elinkaarikustannusten nykyarvoero yhteensä; 50v €/asm <sup>2</sup> (mk/asm <sup>2</sup> ) %/elinkaarikustannus	+35 (+200) +1,0	-90 (-550) -2,5	-130 (-770) -3,5
Takaisinmaksuaika vuosina	Ei takaisinmaksua	13	13

### 3.5.3 Luonnontalous ja ympäristöhaitat

Luonnontalous käsitellään analogisesti rahatalouden kanssa, jolloin kustannuksia ovat luonnonkulut eli

- Luonnonresurssien kulutus: Energia ja muut niukat luonnonvarat, kuten niukat raaka-aineet.

- Ympäristöhaittojen tuotto ilmaan, veteen ja maahan tulevina haitallisina päästöinä ja jätteinä.
- Luonnon monimuotoisuuden väheneminen.

Globaalisti keskeisiä ympäristöhaittoja ovat uusiutumattomien energiavarojen kulutus, hiilidioksidipäästöjen (CO<sub>2</sub>-ekvivalentti) aiheuttama ilmastonmuutos, happamoittava vaikutus (SO<sub>2</sub>-ekvivalentti) ja oksidanttien muodostus (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-ekvivalentti). Kaikista näistä haitoista ylivoimainen pääosa, yli 90 %, syntyy nykyisten suomalaisten normien mukaisissa rakennuksissa käytön aikaisesta energiankulutuksesta. Normitalon 2000 mukaisen rakennuksen elinkaaren aikaisesta energiankulutuksesta ja ilman saastepäästöistä yli 80 % syntyy rakennuksen lämmityksestä, jolloin loppuosa syntyy lämpimän käyttöveden tuoton ja valaistuksen energiasta. Näin ollen ympäristöhaittojen yksinkertaistuksessa tarkastelussa voidaan keskittyä näihin haittoihin.

Talonrakennuksen rakenteisiin käytettävät raaka-ainemäärät ovat varsin pieniä verrattuna infrastruktuurin eli lähinnä tie- ja liikennealueisiin ja rakennuspaikkojen tasauksiin käytettäviin raaka-ainemääriin. Pienelläkin raaka-aineiden kulutuksella saattaa kuitenkin olla paikallista haittavaikutusta.

Paikallisesti usein merkitsevä ympäristöhaitta on jätteiden tuotto, jonka välttäminen merkitsee mahdollisimman pitkäikäisten tuotteiden käyttöä sekä etenkin lyhytikäisten rakennusosien korkeaa uudelleenkäyttö- ja uusiokäyttöastetta.

Helsingin Arabianrannan INDUCON-esimerkkirakennuksen (Normitalo 2000, Normitalo 2003, Matalaenergiatalo ja Minimiennergiatalo) ympäristöhaittojen laskelmat on esitetty taulukossa 12.

*Taulukko 12. Kaukolämmön ja sähkön vuotuiset ympäristöhaitat uusiutumattoman energian käytön ja lämmitysenergian ilmakehäpäästöjen osalta eri energiankulutustasojen tapauksissa.*

	Normitalo 2000	Normitalo 2003	Matalaenergiatalo	Minimiennergiatalo
<b>Lämpöenergia</b>				
Uusiutumaton energia MJ/v	3,10	2,29	1,54	1,14
CO <sub>2</sub> ekv kg/v	21 400	16 100	10 500	7 900
SO <sub>2</sub> ekv kg/v	350	253	170	135
<b>Sähköenergia</b>				
Uusiutumaton energia MJ/v	0,77	0,86	0,82	0,80
CO <sub>2</sub> ekv kg/v	2 350	2 640	2 515	2 465
SO <sub>2</sub> ekv kg/v	90	101	96	94
<b>Energia yhteensä</b>				
Uusiutumaton energia MJ/v	3,87	3,15	2,36	1,94
CO <sub>2</sub> ekv kg/v	23 750	18 740	13 015	10 365
SO <sub>2</sub> ekv kg/v	440	354	266	229



Laskemalla energian käytön ja ilman saastepäästöjen avulla RIL 216-2001 ohjeen kohdan 3.7.9 "Yksinkertaistettu ympäristöhaitan ja ekotehokkuuden laskenta" menetelmän B mukainen suhteellinen ekotehokkuus ET saadaan eri vaihtoehdoissa seuraavat arvot:

- Normitalo 2003: Suhteellinen ekotehokkuus  $ET(1) = 1$
- Matalaenergiatalo: Suhteellinen ekotehokkuus  $ET(2) = 1,3$
- Minimiennergiatalo: Suhteellinen ekotehokkuus  $ET(3) = 2,0$ .

Ekotehokkuus paranee suhteellisen ekotehokkuuden ET kasvaessa.

## 3.6 Monitavoitteinen päätöksenteko

### 3.6.1 Päätöksentekomenettely

Monitavoitteisen päätöksentekomenettelyn tavoitteena on rationaalinen vaihtoehtojen numeeristen ja laadullisten ominaisuuksien ja kustannusten vertailuun perustuva optimointi ja päätöksenteko. Siinä voidaan asettaa eri ominaisuuksille halutut keskinäiset painoarvot, joiden yhteisvaikutukseen valinta perustuu. Monitavoitteinen päätöksentekomenettely on esitetty RIL-216-2001 ohjeessa kohdassa 3.4 "Monitavoitteinen päätöksenteko".

Vaihtoehtojen vertailuasetelmasta riippuen ovat **päätöksenteon menettelytavat** vaihtoehtoisesti seuraavat:

1. Jos yksi vaihtoehto on ominaisuuksiltaan kaikkien vaatimusten ja ominaisuuksien suhteen paras, se valitaan suoraan toteutettavaksi.
2. Valitaan hyväksyttävällä kustannustasolla oleva, lisäominaisuuksiltaan paras vaihtoehto.
3. Valitaan se vaihtoehto, joka on ensisijaisen ominaisuuden (yleensä elinkaaren rahanalouden) suhteen paras, käytettävyydeltään likimäärin tasavertainen tai paras ja jolla on lisäominaisuuksien suhteen paras pisteluku.
4. Arvioidaan kunkin vaihtoehdon ominaisuuksien arvosana (esim. asteikolla 1–10), jaetaan se ensisijaisen ominaisuuden arvolla (yleensä elinkaarikustannus), jolloin saadaan hyöty/hintasuhte. Nämä hintasuhteet kerrotaan kunkin ominaisuuden painoarvolla ja lasketaan tulojen summa eli hyöty / kustannussuhteiden summa. Parhaan painotetun hyötykustannussuhteiden summan antava vaihtoehto valitaan toteutettavaksi.

Edellä esitetty vertailu voidaan tehdä joko kaikille vaihtoehdoille samanaikaisesti tai vertaamalla vaihtoehtoja pareittain ja valitsemalla aina parempi vaihtoehto jatkoon.

### 3.6.2 Vaihtoehtojen vertailutaulukko

Soveltamalla "Monitavoitteisen päätöksenteon" menetelmää saadaan edellä esitetuille vaihtoehtoille taulukon 13 mukainen päätöksentekovertilu.

### 3.6.3 Valintapäätös

Kun talouden indikaattorina käytetään elinkaaritaloudellisuutta, ja myös arvioitu tulevaisuusarvojen ero otetaan arvioidun vaihteluvälin alarajan mukaisena huomioon, vaihtoehtojen paremmuusjärjestys on sama kaikkien valintakriteereiden suhteen. Tämän takia voidaan käyttää kohdassa 3.6.1 esitetystä valintapäätöksen menettelytavoista menettelytapaa 1.

Vaihtoehtojen paremmuusjärjestys on seuraava:

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1. Vaihtoehto V4: | Minimienergiatalo |
| 2. Vaihtoehto V3: | Matalaenergiatalo |
| 3. Vaihtoehto V2: | Normitalo 2003    |
| 4. Vaihtoehto V1: | Normitalo 2000    |

Tämän vertailun talouslaskelmat perustuvat Helsingin Energian kaukolämmön hintaan vuoden 2002 alussa. Kaukolämmön hinta on merkittävästi alhaisempi kuin muulla tavoin tuotetun energian hinta, joten säästön eli rakennuksen energiataloudellisuuden edut ovat kalliimpaa energiaa käytettäessä tässä esitettyä suuremmat.

*Taulukko 13. INDUCON-esimerkkirakennuksen vaihtoehtojen vertailutaulukko. Taulukon painoarvot ja raja-arvot ovat tässä taulukossa vain periaatteellisia, eivät laskettuja. Reaalikorkokanta (nimelliskorko - inflaatio) 2 %. Rakennuskustannukset ja energian hinnat vuoden 2002 alun tasolla.*

Painoarvot ja vaihtoehdot	Ensisijaiset ominaisuudet			Lisäominaisuudet	
Muuttuja	R = Rakennuskustannus E = Elinkaarikustannus: 15 v. = E15 tai 50 v. = E50 E <sub>a</sub> = Vuosikustannusero/asm <sup>2</sup> verrattuna vertailuvaihtoehtoon Vk = Vuosikustannus Tk = Tasakustannusaika = takaisinmaksuaikaero vaihtoehtoon 1	Elinkaarikäytettyys ja muunneltavuus	Terveellisyys, turvallisuus, viihtyisyys	Elinkaaren luonnontalous: Suhteellinen ekotehokkuus ET(I) <sup>4)</sup>	Elämätävän, ym. kulttuurin arvot
Arviointiyksikkö	Ero % vaihtoehtoon 1 verrattuna	Koulu arvosana (4–10)	Koulu arvosana (4–10)		Koulu arvosana (4–10)
Omistajan määrittämät rajat / Painoarvo-kertoimet	Rakennuskustannuseron sallittu maksimi: 10 %	Kerroin = 10	Kerroin = 10	Kerroin = 8	Kerroin = 8
Vertailuarvo / Vaihtoehto V1: Normitalo 2000	R = 0 % E = 0 %	7	7	1	8
Vaihtoehto V2: Normitalo 2003	R = + 4 % (+35€/asm <sup>2</sup> ) E 50 = + 1,0 % (+35 €/asm <sup>2</sup> ) E 15 = + 1,0 % (+35 €/asm <sup>2</sup> ) E <sub>a</sub> = +0,7 €/asm <sup>2</sup> a Tk = ääretön	7 1/2	8	1,25 = (1,23+1,27+1,24)/3	8 1/2
Vaihtoehto V3: Matalaenergiatalo	R = + 5 % (+50 €/asm <sup>2</sup> ) E 50 = - 2,5 % (-90 €/asm <sup>2</sup> ) E 15 = - 0,3 % (-10 €/asm <sup>2</sup> ) E <sub>a</sub> = - 1,8 €/asm <sup>2</sup> a Tk = 13 a	8 1/2	9	1,70 = (1,64+1,82+1,65)/3	9
Vaihtoehto V4: Minimiennergiatalo	R = + 6 % (+65 €/asm <sup>2</sup> ) E 50 = - 3,5 % (-130 €/asm <sup>2</sup> ) E 15 = - 0,5 % (- 15 €/asm <sup>2</sup> ) E <sub>a</sub> = - 2,6 €/asm <sup>2</sup> a Tk = 13 a	9	9+	2,1 = (1,99+2,29+1,92)/3	9 1/2
Paremmuusjärjestys / eron merkitsevyys verrattuna parhaaseen vaihtoehtoon <sup>1)</sup>	R = Sija 1: V1 eron merkitsevyys: 3 Sija 2: V2 eron merkitsevyys: 3 Sija 3: V3 eron merkitsevyys: 3 Sija 4: V4 eron merkitsevyys: 3 E = Sija 1: V4 eron merkitsevyys: 2 Sija 2: V3 eron merkitsevyys: 2 Sija 3: V1 eron merkitsevyys: 2 Sija 4: V2 eron merkitsevyys: 2	E: Sija 1: V4 Sija 2: V3/3 Sija 3: V2/2 Sija 4: V1/1	E: Sija 1: V4 Sija 2: V3/3 Sija 3: V2/2 Sija 4: V1/1	E: Sija 1: V4 Sija 2: V3/3 Sija 3: V2/2 Sija 4: V1/1	E: Sija 1: V4 Sija 2: V3/3 Sija 3: V2/3 Sija 4: V1/2
Jäännösarvoero % uusarvosta, verrattuna vaihtoehtoon 1 suunnitteluaajan (15 v.) jälkeen nykyarvona <sup>2)</sup>	Vaihtoehto V1: 0 % Vaihtoehto V2: 2-5 % Vaihtoehto V3: 5-10 % Vaihtoehto V4: 7-15 %				
Lopullinen sija-luku elinkaarikustannuksen ja jäännösarvoeron alarajan summana; ja eron merkitsevyys verrattuna vertailuvaihtoehtoon V1 <sup>3)</sup>	Sijaluku 1: Vaihtoehto V4/2 Sijaluku 2: Vaihtoehto V3/2 Sijaluku 3: Vaihtoehto V2/3 Sijaluku 4: Vaihtoehto V1/0				

<sup>1)</sup> Paremmuusjärjestys määritetään merkitsevien erojen perusteella. Eron ollessa vähäinen, eli lähes määritysepätarkkuuden suuruinen, sijaluku merkitään samaksi.

<sup>2)</sup> Arviöväli, joka riippuu energian hinnan sekä energiatalouden ja ekotehokkuuden arvostuksen kehityksestä.

<sup>3)</sup> Eron merkitsevyys: 1 = suuri ero, 2 = merkitsevä ero, 3 = vähäinen ero

<sup>4)</sup> Muunneltu pohjoismainen menetelmä [RIL 216-2001]: Uusiutumattoman energian kulu-tus/CO<sub>2</sub>ekv/SO<sub>2</sub>ekv

### 3.6.4 Elinkaarikustannusten herkkyytarkastelu

Elinkaarikustannusten herkkyytarkastelussa käytetään taulukon 14 muuttujia ja niiden vaihtoehtoisia arvoja. Takaisinmaksuaikojen erot eli tasakustannusajat muuttujien eriarvolla on esitetty taulukossa 15.

*Taulukko 14. Herkkyytarkastelun muuttujien vaihtoehtoiset arvot.*

Muuttuja	Päätöksenteossa käytetty arvo	Herkkyytarkastelun arvo
1. Reaalikorko (nimelliskorko - inflaatio)	2 %	4 %
2. Energian hinta	Vuoden 2002 alun sähkön ja kaukolämmön tariffit	50 % kalliimmat hinnat verrattuna päätöksenteossa käytettyihin
3. Vertailutalo: Normitalo 2000 ilmanvaihdon taso	Koneellinen poistoilmajärjestelmä	Koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä

*Taulukko 15. Elinkaarikustannusten herkkyytarkastelun vertailutaulukko.*

	Tasakustannusaika vuosina muuttujien eri arvoilla. Kussakin tapauksessa muut muuttujien arvot ovat päätöksenteon perusarvoja (taulukko 14)						
Energialouden vaihtoehto	Reaalikorko (nimelliskorko - inflaatio)			Energian hinta		Vertailuvaihtoehto: Normitalon 2000:n ilmanvaihdon taso	
	2 %	4 %	6 %	Vuoden 2002 alun taso	50 % yli vuoden 2002 alun tason	Koneellinen poistoilmavaihto	Koneellinen tulo- ja poistoilmavaihto
Vertailuvaihtoehto: V1. Normitalo 2000	-	-	-	-	-	-	-
V2. Normitalo 2003	ääretön	ääretön	ääretön	ääretön	100	ääretön	25
V3. Matalaenergiatalo	13	15	19	13	10	13	5
V4. Minimiennergiatalo	13	20	28	13	8	13	7

Herkkyystarkastelusta voidaan tehdä seuraavat päätelmät:

1. Minimiennergiatalo on jonkin verran Matalaenergiataloa herkempi reaalikorkokannan vaihteluille.
2. Jos vertailussa on tarpeen käyttää reaalikorkokantaa 4 % tai 6 %, on Matalaenergiatalon tasakustannusaika lyhyempi kuin Minimiennergitalolla.
3. Energian hinnan nousu lisää lievästi Minimiennergiatalon edullisuutta Matalaenergiataloon verrattuna. Molempien tasakustannusajat lyhenevät selvästi.
4. Kokonaispääteelmänä voidaan todeta päätöksentekovertailun olevan varsin stabiilin keskeisten muuttujien erilaisten lähtöarvojen tai epävarman kehityksen suhteen.
5. Seuraavat päätelmät voidaan tehdä keskeisten kustannustekijöiden eli korkokannan ja energian hinnan oleellisten vaihteluiden merkityksestä:
  - Normitalo 2003 on kaikissa tarkastelluissa vaihtoehtoissa elinkaarikustannuksiltaan epäedullisin.
  - Energian hinnan ollessa perustasolla (vuoden 2002 alku) reaalikorkokanta vaikuttaa Matalaenergiatalon ja Minimiennergiatalon keskinäiseen elinkaarikustannuksen suhteeseen siten, että Minimiennergiatalo on edullisin reaalikorolla 2 %, mutta reaalikoroilla 4 % ja 6 % Matalaenergiatalo on edullisin.
  - Reaalikoron ollessa 2 % Minimiennergiatalo on molemmilla energian hintavaihtoehtoilla (vuoden 2000 alun taso ja sitä 50 % korkeampi hinta) edullisin 13 vuoden käytön jälkeen, ja erotus Matalaenergiataloon kasvaa energian hinnan ja tarkasteluajan kasvaessa.

## 4. Mallisuunnitelmia

### 4.1 Tilasuunnitelmia

Tässä raportissa on ratkaisumallit sovitettu seuraaviin kerrostalotyyppeihin:

- lamellitalo
- kulmatalo
- pistetalo
- kaksoispistetalo.

Näiden talotyyppien kerrosten pohjaratkaisujen malleja on esitetty liitteessä A.

### 4.2 Rakenteiden ja talotekniikan yhteistoimintamalleja

**EBES-asuinkerrostalossa** käytettyjä rakenteiden ja talotekniikan yhteistoimintamalleja ovat

Vaaka- ja pystyrakenteiden ontelolaattoja hyödynnettiin ilmanvaihdon ilmakehänä sekä lämpö- ja kylmävarastoina.

- Lattiarakenteita käytettiin yösähköllä tapahtuvan jaksoittaisen lämmityksen yhteydessä lämmön varastointiin ja myöhempään luovutukseen peruslämmön ylläpitoon.
- Ontelolaattakanavistolla vaimennettiin huoneisiin puhallettavan tuloilman lämpötilan vaihtelua, joka johtui ulkoilman lämpötilan vaihtelusta (vältyttiin tarpeettomalta esilämmitykseltä lämmöntalteenoton jälkeen ilmanvaihtokoneella).

**METOP-toimistotalossa** käytettyjä rakenteiden ja talotekniikan yhteistoimintamalleja ovat

- Rakenteet toimivat ilmanvaihdon ilmakehänä sekä lämpö- ja kylmävarastoina.
- Lattia- ja kattorakenteita käytettiin lämpökuormien lämmön varastointiin. Varastoitunut lämpö käytettiin lämmityskaudella peruslämmön ylläpitoon yöllä ja viikonloppuisin.
- Kesällä varastoitunut lämpö poistettiin ulkoilmaa hyödyntävällä yöjäähdytyksellä rakennuksesta ulos.

**MEPI- ja ESPI-matalaenergiapientaloissa** käytettyjä rakenteiden ja talotekniikan yhteistoimintamalleja ovat

- Betonisia lattiarakenteita käytettiin yösähköllä tapahtuvan jaksoittaisen lämmityksen yhteydessä lämmön varastointiin ja myöhempään luovutukseen peruslämmön ylläpitoon.
- Matalaenergiapientalossa tilojen lämmitykseen ei tarvittu lämmitysvesivaraajaa, koska varaamalla lämpöä rakenteisiin lämmityksen yösähkön osuus oli yli 90 %.

### **4.3 Talotekniikan reititykset Arabianrannan suunnittelukohteessa**

#### **4.3.1 Alaslaskukatto**

Lamellikerrostalo on alun perin suunniteltu käyttäen talotekniikan reitityksiin koko asunnon laajuista alaslaskukattoa ja yhtä huoneistokohtaista pystyhormistoa. Esimerkkiratkaisussa alaslaskukattoa ei kuitenkaan tarvita koko asunnon alueella. Huoneistokohtaiset ilmanavat on sijoitettu alaslaskukattoihin märkätiloissa (sauna, kylpyhuone, WC), keittiössä kaapiston päällä ja koko eteisessä. Myös vesijohdot ja sähköjohdot voidaan pääosin sijoittaa alaslaskukattoihin. Viemärit on sijoitettu välipohjalaataston suunnassa asennusonteloihin ja laataston poikkisuunnassa huoneistojen välisen seinän viereen välipohjalaatan syvennykseen märkätilan alueella.

Liitteessä C on esitetty erilaisten lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien reititysratkaisuja.

#### **4.3.2 Raskas ontelolaatta**

Raskasta ontelolaattaa P37 ja P37K voidaan käyttää talotekniikan reitityksiin palvelemaan sekä laataston ala- että yläpuolista tilaa. Laataston yläpuolisten asuntojen vesi-, viemäri-, sähkö-, tieto- ja pölynpoistojohtoja voidaan sijoittaa laatan suunnassa asennusonteloihin ja laatan poikkisuunnassa huoneistojen välisen seinän vieressä välipohjalaatan syvennykseen. Suunnittelussa on ontelolaattojen ontelot piirrettävä pohjapiirustuksiin, jotta tiedetään mihin tarkoitukseen kukin ontelo on suunniteltu. Vastaavasti välipohjan alapuolisten asuntojen johtoreitteinä ja erityisesti ilmanakanavina voidaan käyttää laatan suuntaisia onteloita. Laatan poikkisuunnassa käytetään välipohjan alle sijoitettuja tavanomaisia johtoreittejä ja ilmanakanavia. Ilmanakanavat liitetään asennusonteloihin ilmanakanavien standardimittojen mukaisten timanttikorattujen reikien kautta. Samalla tavalla liitetään tulo- ja poistoilmalaitteet asennusonteloihin. Tulo- ja poistoilmalaitteiden asennusta varten poratut reiät toimivat myös onteloilmanakanavien puhdistusluukkuina.

Liitteessä C on esitetty ilmanvaihtolämmityksen ja viemäreiden ontelolaatan onteloita hyödyntäviä reititysratkaisuja.

#### **4.4 Rakennusmassan lämpötekniset hyödyntämismahdollisuudet Arabianrannan suunnittelukohteessa**

Rakennusmassaa voidaan käyttää lämpökuormien ilmaisenergian hyödyntämisessä. Rakennuksen aikavakio kuvaa rakennuksen kykyä hyödyntää lämpökuormia. Mitä pitempi rakennuksen aikavakio on, sitä parempi on rakennuksen kyky hyödyntää ilmaisia lämpökuormia. Tätä kykyä kuvaa lämpökuormien hyödyntämiskerroin. Tilanteessa, jolloin lämpökuormien suhde rakennuksen lämpöhäviöihin on yhtä suuri, on hyvin kevytrakenteisella rakennuksella (aikavakio 8 h) lämpökuormien hyödyntämiskerroin 0,6. Tällöin lämpökuormista 40 % jää hyödyntämättä lämmityksessä.

Raskasrakenteisessa talossa aikavakio kasvaa voimakkaasti lämmöneristystason parantuessa. Arabianrannan kerrostalokohteessa rakennuksen aikavakiot ovat Normitalo 2000:lla 45 h, Normitalo 2003:lla 60 h, Matalaenergiatalolla 100 h ja Minimiennergiatalolla 140 h. Samalla lämpökuormien hyödyntämiskertoimet ovat tilanteessa, jolloin lämpökuormien suhde rakennuksen lämpöhäviöihin on yhtä suuri, suuruusluokiltaan vastaavasti 0,8, 0,82, 0,88 ja 0,9 eli huomattavasti suurempia kuin hyvin kevytrakenteisellä talolla. Nämä hyödyntämiskertoimet muuttuvat jatkuvasti lämmityskauden aikana, mutta antavat kuvan massan ja lämmöneristystason vaikutuksesta ostettavan lämpöenergian tarpeen vähenemismahdollisuuksiin.



## 5. Yhteenveto

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n ohjeet "RIL 216-2001: Rakenteiden elinkaartekniikka" osoittautuivat varsin käyttökelpoisiksi rakennuskonsepti-tasoisessa tuotekehityksessä sen kaikilla tasoilla: rakennus, osarakennus, moduuli, komponentti.

Tutkimuksessa todettiin, että merkitsevää kehitysaskelta tavoiteltaessa on edullista käyttää elinkaarisuunnittelun menetelmiä laajasti koko rakennuksen rakenne- ja talotekniikkajärjestelmiin, jolloin saadaan sekä toiminnallinen että tuotannollinen optimiratkaisu eri osien ja näkökulmien vuorovaikutuksen ja yhteensovituksen kautta.

INDUCON-esimerkkirakennuksen energiatalousluokkien mukaiset ratkaisumallit esitetään kuvassa 14.

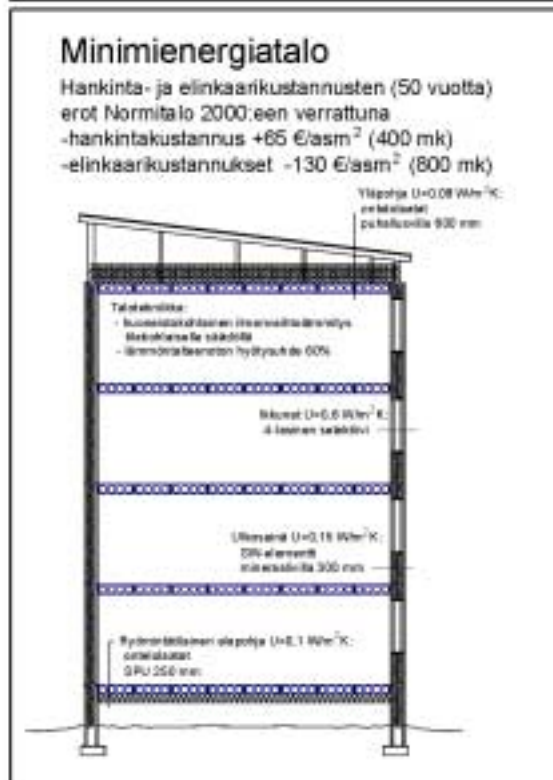
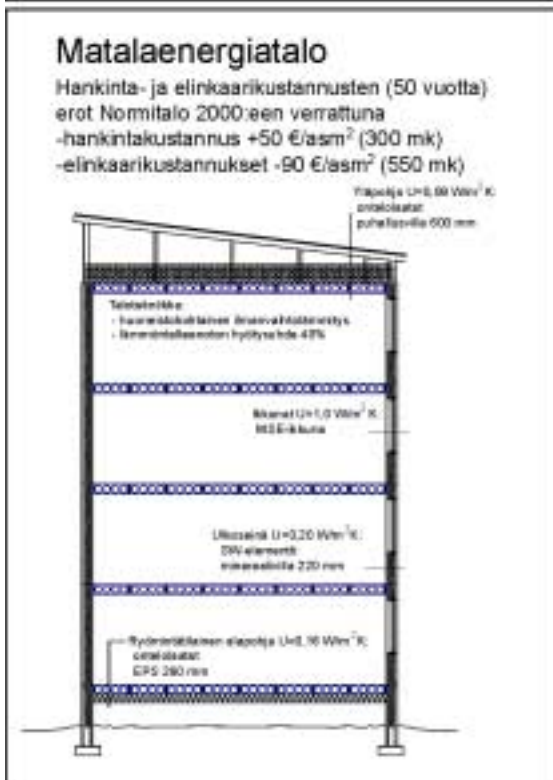
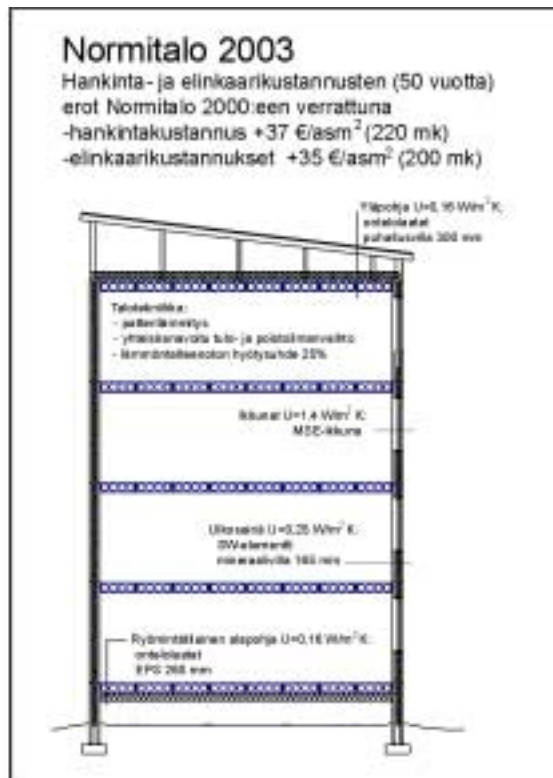
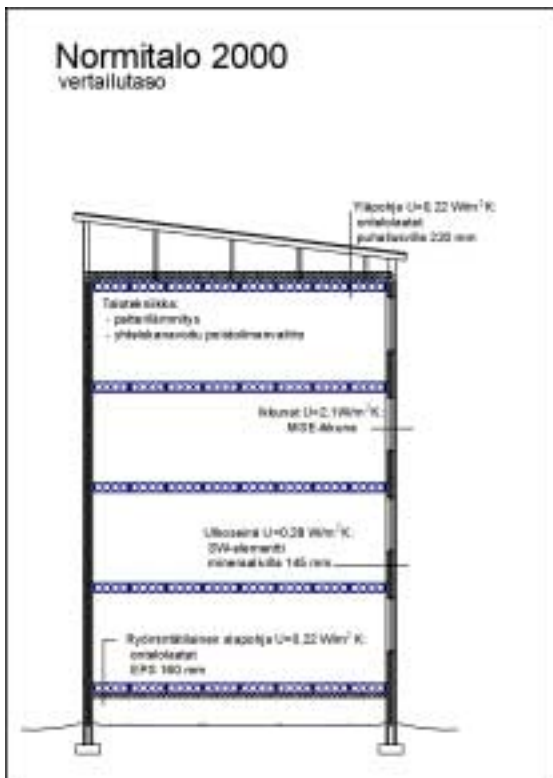
Rakennuksen energiatalousluokkien osalta monitavoitteisen päätöksentekoprosessin loppupäätelmänä on elinkaarilaadun paremmuusjärjestys:

1. Minimiennergiatalo (lämmitysenergian kulutus 25 kWh/asm<sup>2</sup>/a)
2. Matalaenergiatalo (lämmitysenergian kulutus 75 kWh/asm<sup>2</sup>/a)
3. Normitalo 2003 (lämmitysenergian kulutus 100 kWh/asm<sup>2</sup>/a)
4. Normitalo 2000/1985 (lämmitysenergian kulutus 150 kWh/asm<sup>2</sup>/a).

Tulos osoittaa, että elinkaaren aikaisen (suunnittelu-aika 15–50 vuotta) raha- ja luonnon-talouden ja myös muiden vaatimusluokkien kannalta on edullista suunnitella ja rakentaa rakennus huomattavasti nykyiseen (vuoden 2003) normitasoon verrattuna energiataloudellisemmaksi.

Rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen sisältyvät tilojen lämmitysenergian lisäksi käyttöveden lämmitysenergia (n. 80 kWh/asm<sup>2</sup>/a) sekä valaistuksen ja laitteiden sähköenergia (n. 55–60 kWh/asm<sup>2</sup>/a). Näistä vain ilmanvaihto- ja lämmönsiirtolaitteiden vaatima laite-energia on ollut vertailussa mukana. Tämän perusteena on ollut INDUCON-projektin rajaus, jossa käyttövesi ja valaistus jätettiin projektin ulkopuolelle.

Tämän tutkimuksen tulokset palvelevat osallistujayritysten kotimaista ja kansainvälistä tuotekehitystä, ja tätä laajemminkin elinkaarisuunnittelun ja normituksen kehittämistä.



Kuva 14. INDUCON-esimerkkirakennuksen energiatalousluokkien mukaiset ratkaisumallit.

## **Loppusanat**

Julkaisun kirjoittajat kiittävät INDUCON-projektin kotimaisia ja saksalaisia yhteistyökumppaneita luovasta ja miellyttävästä yhteistyöstä ja tärkeästä käytännön asiantuntemuspanoksesta ammatillisesti täysipainoisten tulosten etsinnässä ja varmistamisessa.

## **Lähdeluettelo**

LVI-kortisto 05-10318. Sisäilmaluokitus 2000. 2001.

RIL 216-2001: Rakenteiden elinkaaritekniikka. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry, Helsinki 2001. 301 s.

TAT-RAKENNUSJÄRJESTELMÄ, Raportti 5, Espoo maaliskuu 1989, s. 109–122.

## Kirjallisuutta

Asuintalon ATK-huoltokirja, käsikirja. Rati. Helsinki 1997.

Haahtela, Y. & Kiiras, J. Talonrakennuksen kustannustieto (uudis- ja korjaushinnat). Tampere 2001. 43 s.

Hekkanen, M. Hoitokulujen arviointi. Kiinteistöalan Kustannus Oy. Helsinki 1999. 64 s.

Huoltokirja. Laadintaohjeet ja malli perustajaurakoitsijalle. Rakennusteollisuuden keskusliitto. 2000.

ISO 15686 Buildings – Service life planning. Part 5 – Whole Life Costing. Committee Draft .11.2001. 15 s.

Kaarlehto, T., Metsi, P., Martiskainen, V., Pulakka, S. & Talonpoika, R. Rakennusten elinkaarikustannusten arviointimenetelmät. Loppuraportti 1997. RAKET T608. 34 s. Espoo 1997.

Leppänen, P., Pulakka, S., Saari, M. & Viitanen, H. Life-cycle-cost optimised wooden multi-storey apartment building. Nordic Wood, Phase 2, Project P-2. Final Report. Espoo 1999. VTT Research Notes 1994. 73 s.

LVI-kortisto 01-10260. LVIS-laitteiden kunnossapitajaksot, ohjetiedosto. 1996.

Sainio, S. Talotekniikan LCA ja LCC, EVTEK, Suomen Talotekniikan Kehityskeskus Oy, julkaisusarja 10 KLU F, Helsinki 1999.

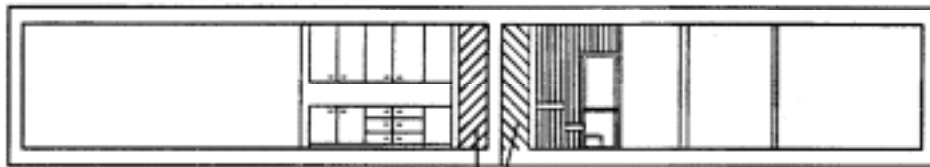
Sarja, A., Leppänen, P., Laine, J., Kiviniemi, M. & Pulakka, S. Finnhouse. Taloudelliset asuinrakennuskonseptit. Espoo 1994. VTT Tiedotteita 1604. 31 s. + liitt. 39 s.

Sarja, A. Integrated Life Cycle Design of Structures. Spon Press, London 2002. 142 s. ISBN 0-415-25235-0.

Suomen Talotekniikan Kehityskeskus Oy. Talotekniikan elinkaaritarkastelut. Helsinki 2001.

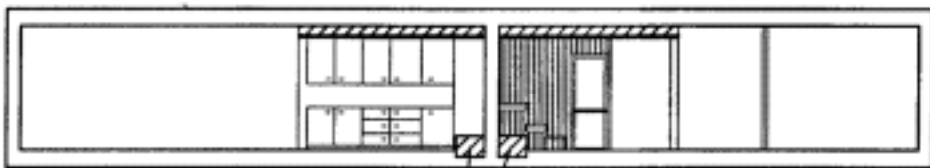
# Liite A: Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja

Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja

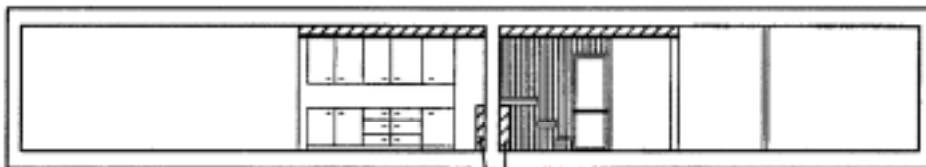


LEIKKAUS a-a

TÄYSKORKEA ASENUSTILA 600mm LEVEÄ



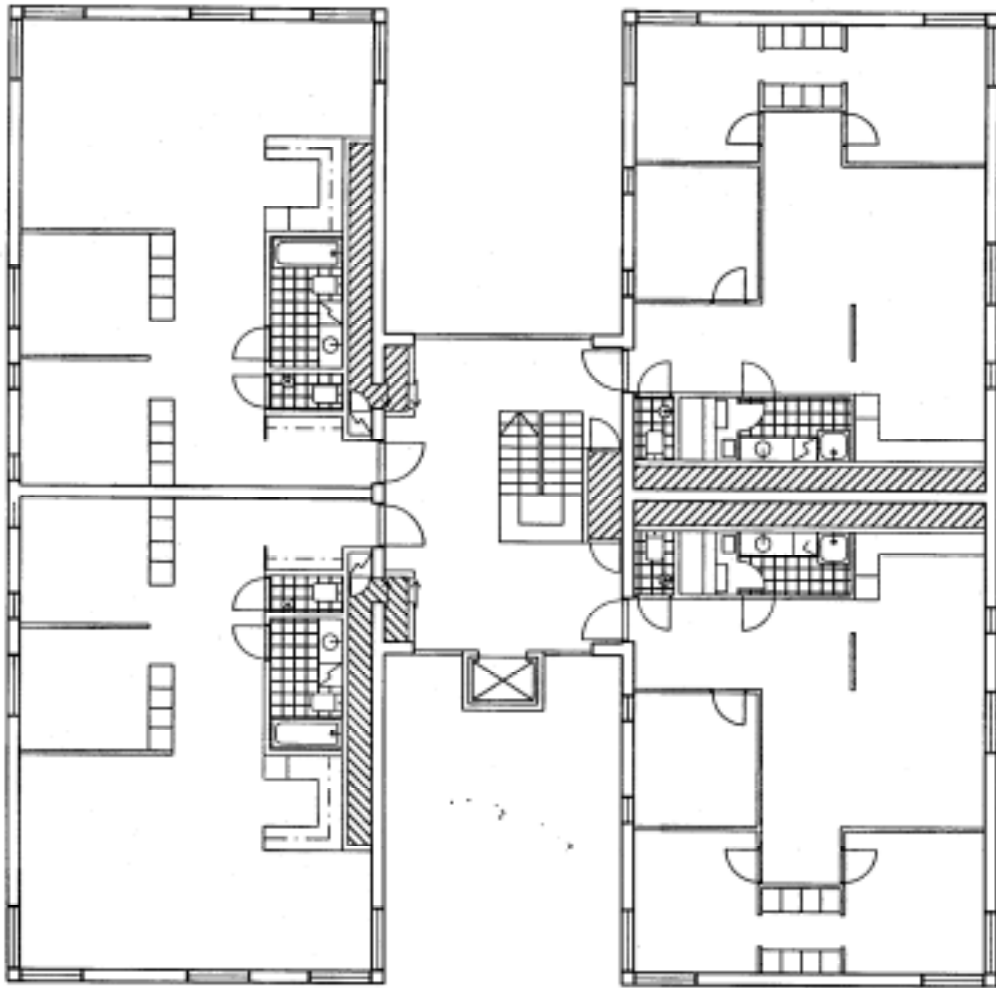
ASENUSPENKKI lev.600MM kork. 300mm



ASENUSSEINÄKE lev. 200mm

ARKKITEHTI  
EEVA HEIKELÄ

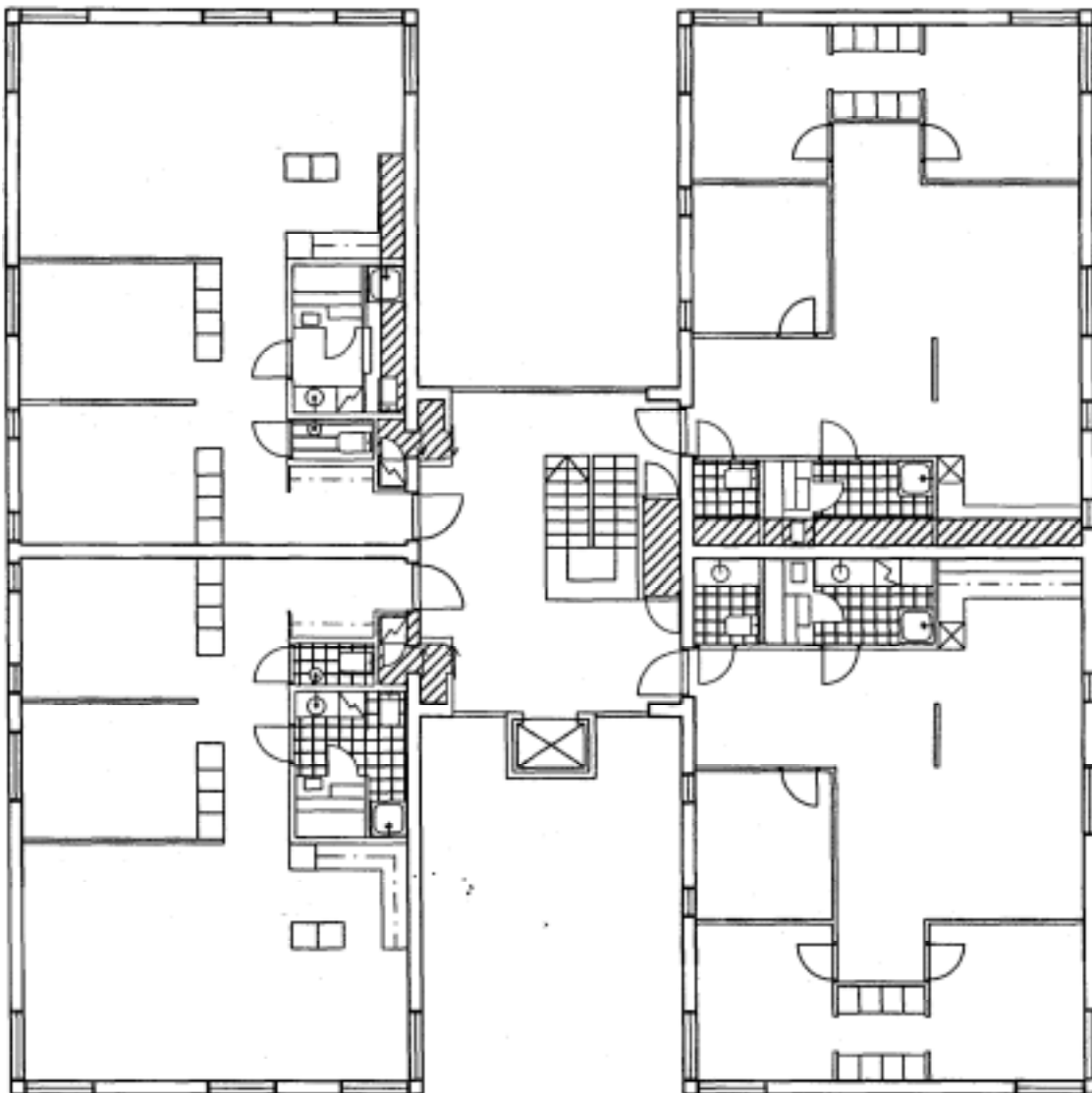
## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja



VAIHTOEHTO 1 KOKOKORKEA ASENNUSTILA

ARKKITEHTI  
EEVA HEIKELÄ

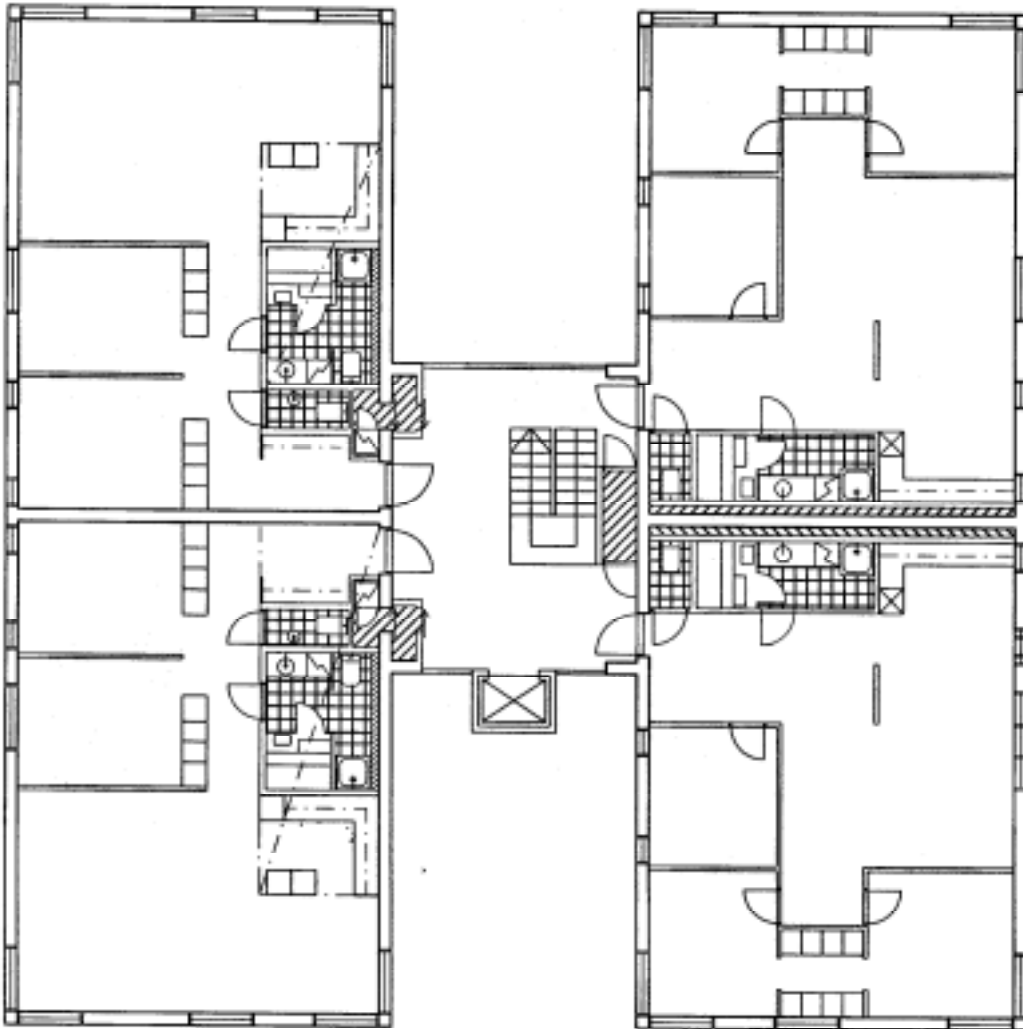
## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja



VAIHTOEHTO 2 "ASENNUSPENKKI" - RATKAISU

ARKKITEHTI  
EEVA HEIKELÄ

## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja

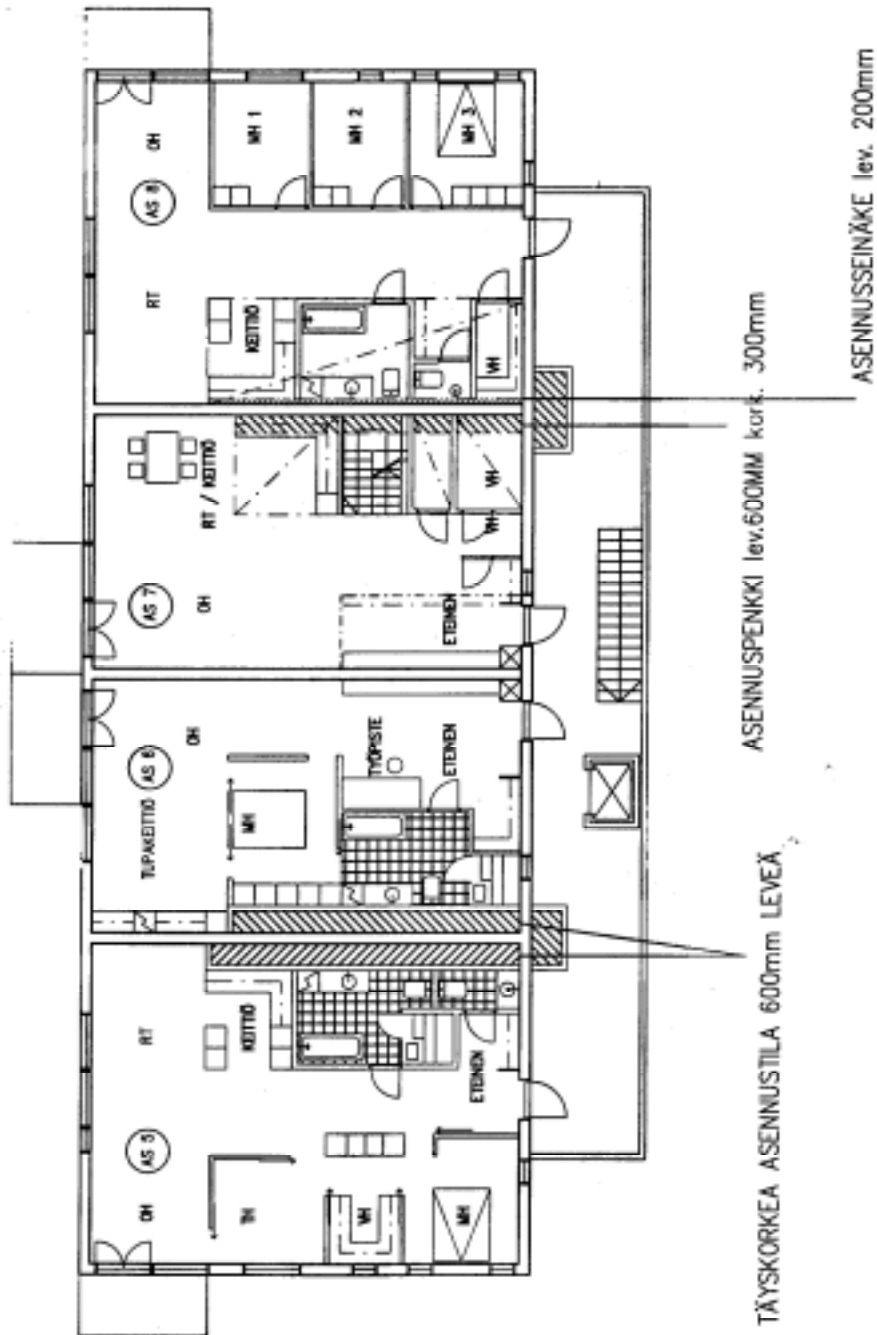


VAIHTOEHTO 3 ASENNUKSEINÄKE - RATKAISU

ARKKITEHTI  
EEVA HEIKELÄ



# Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja



## LAMELLITALO

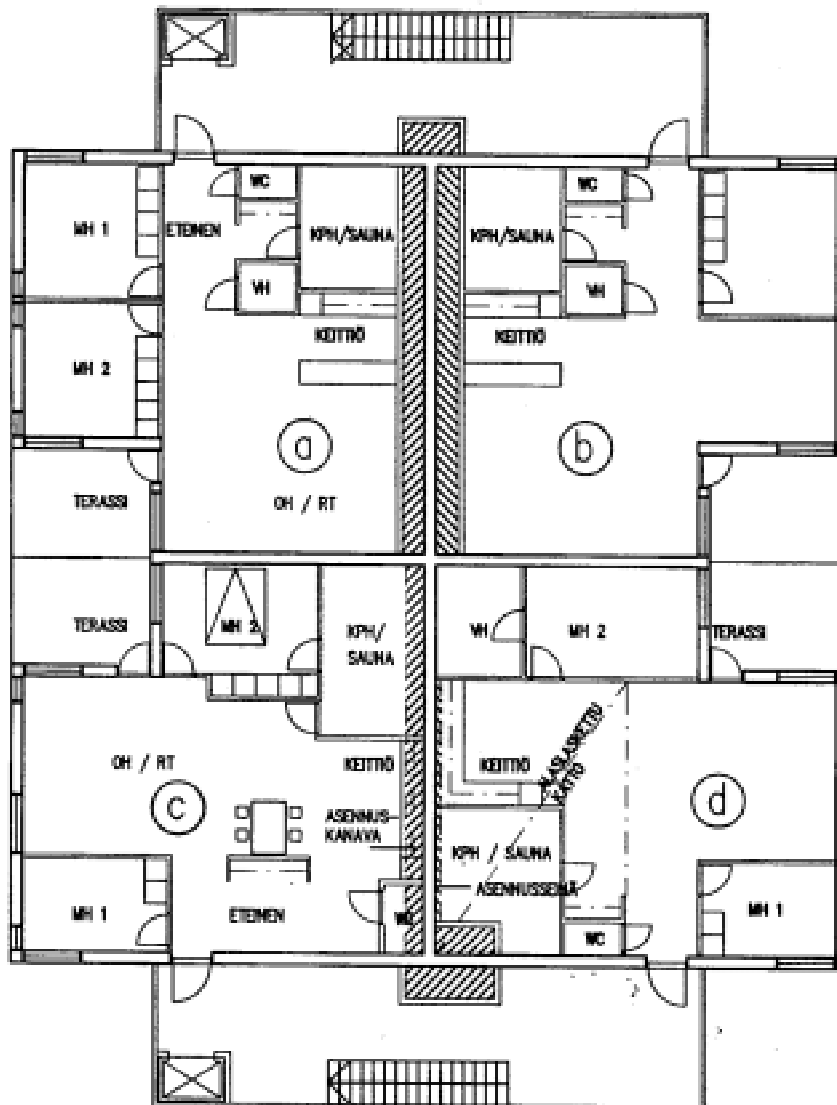
HUONEISTOLALA AS 5 = 97 m<sup>2</sup>, kun kyseessä kokokorkea asennustila (600mm leveä)

HUONEISTOLALA AS 5 = 104.2 m<sup>2</sup>, kun kyseessä "asennuspenkki"-ratkaisu

HUONEISTOLALA AS 5 = 102.9 m<sup>2</sup>, kun kyseessä asennusseinä ratkaisu

ARKKITEHTI  
EEVA HEIKELÄ

## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja



### PISTETALO

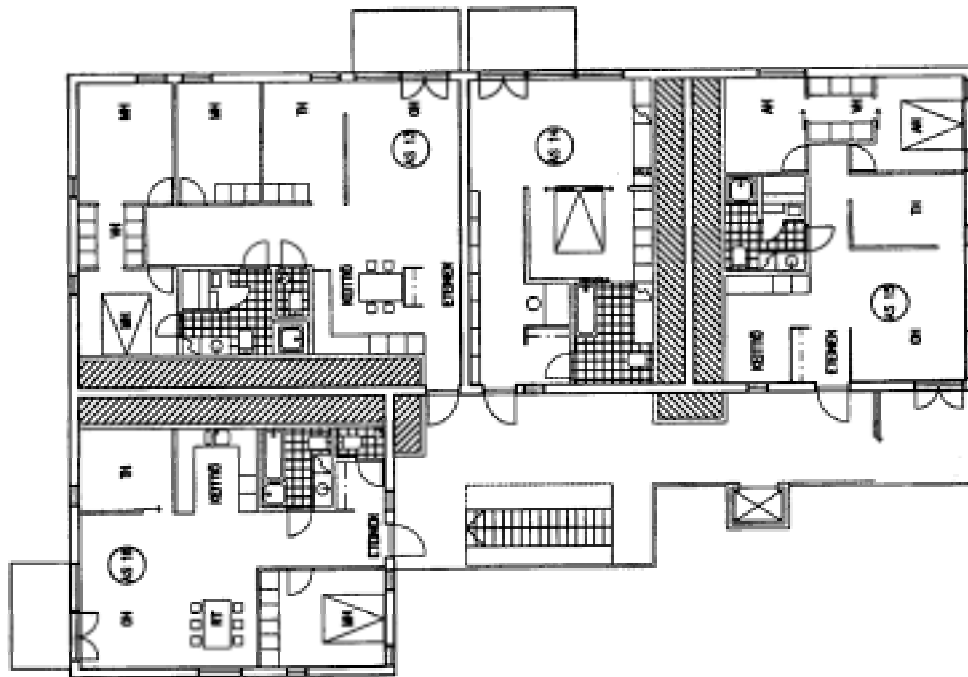
#### HUONEISTOALA

- a) 88.3 m<sup>2</sup> kun käytetään kokokorkeaa 900 mm leveää asenustilaa
- b) 91.4 m<sup>2</sup> kun käytetään kokokorkeaa 600 mm leveää asenustilaa
- c) 97.6 m<sup>2</sup> kun käytetään "asennuspenkkiä" lev. 600mm kork. 300mm
- d) 96.7 m<sup>2</sup> kun käytetään asennuseinäkettä lev. 200mm kork. n 1200mm

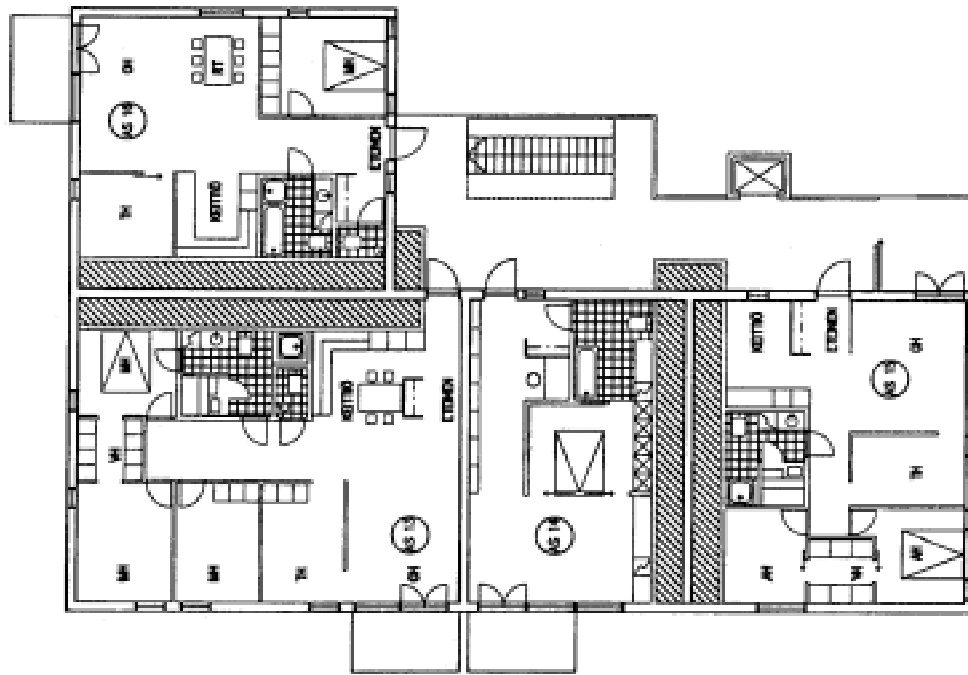
ARKKITEHTI  
EEVA HEIKELÄ



# Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja

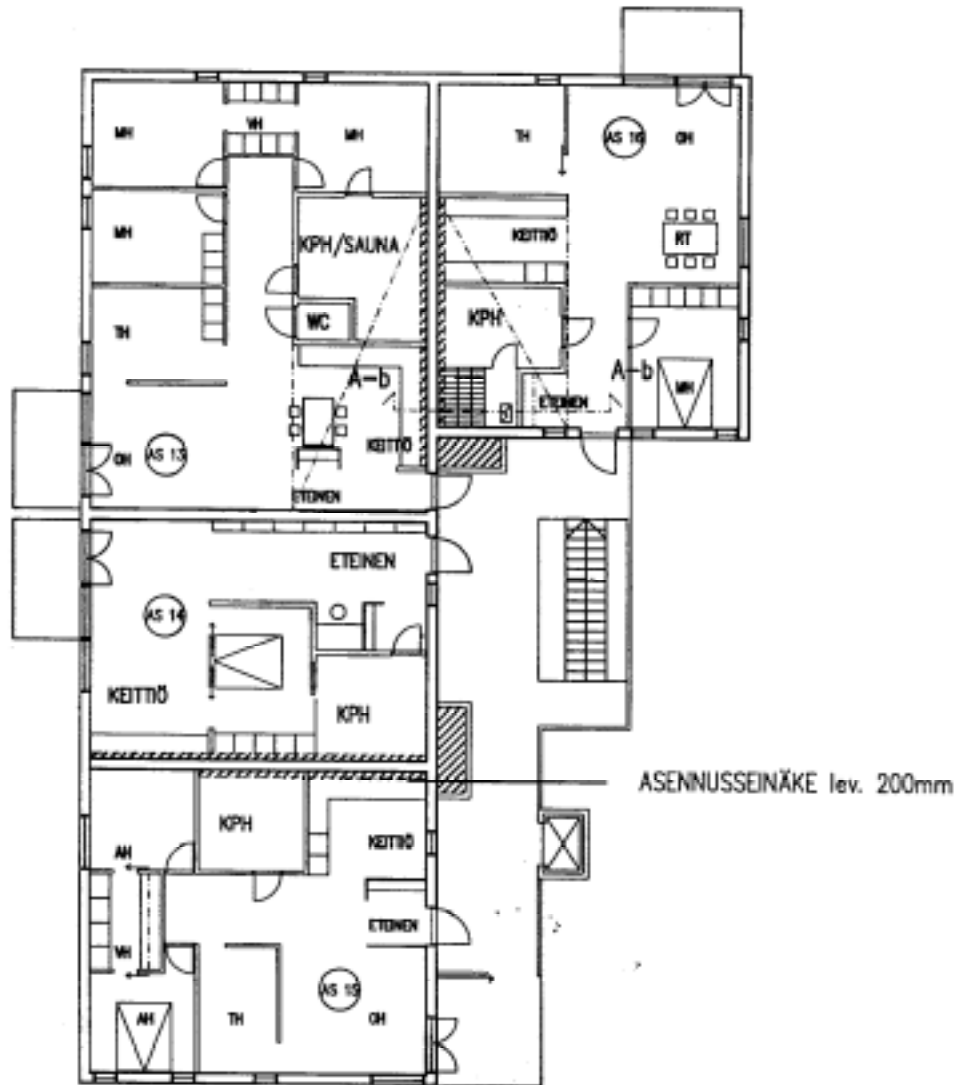


ARKKITEHTI  
EEVA HEIKKILÄ



KULMATALO

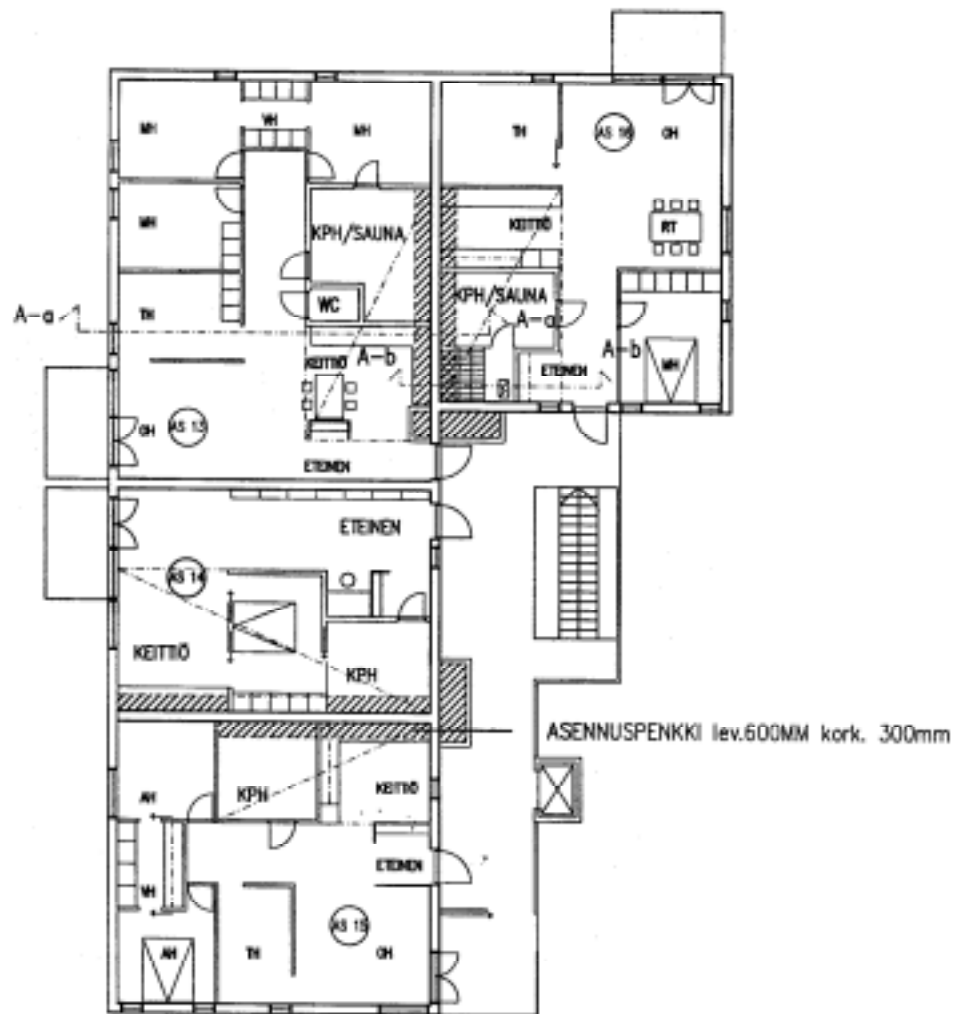
## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja



KULMATALO

ARKKITEHTI  
EEVA HEIKELÄ

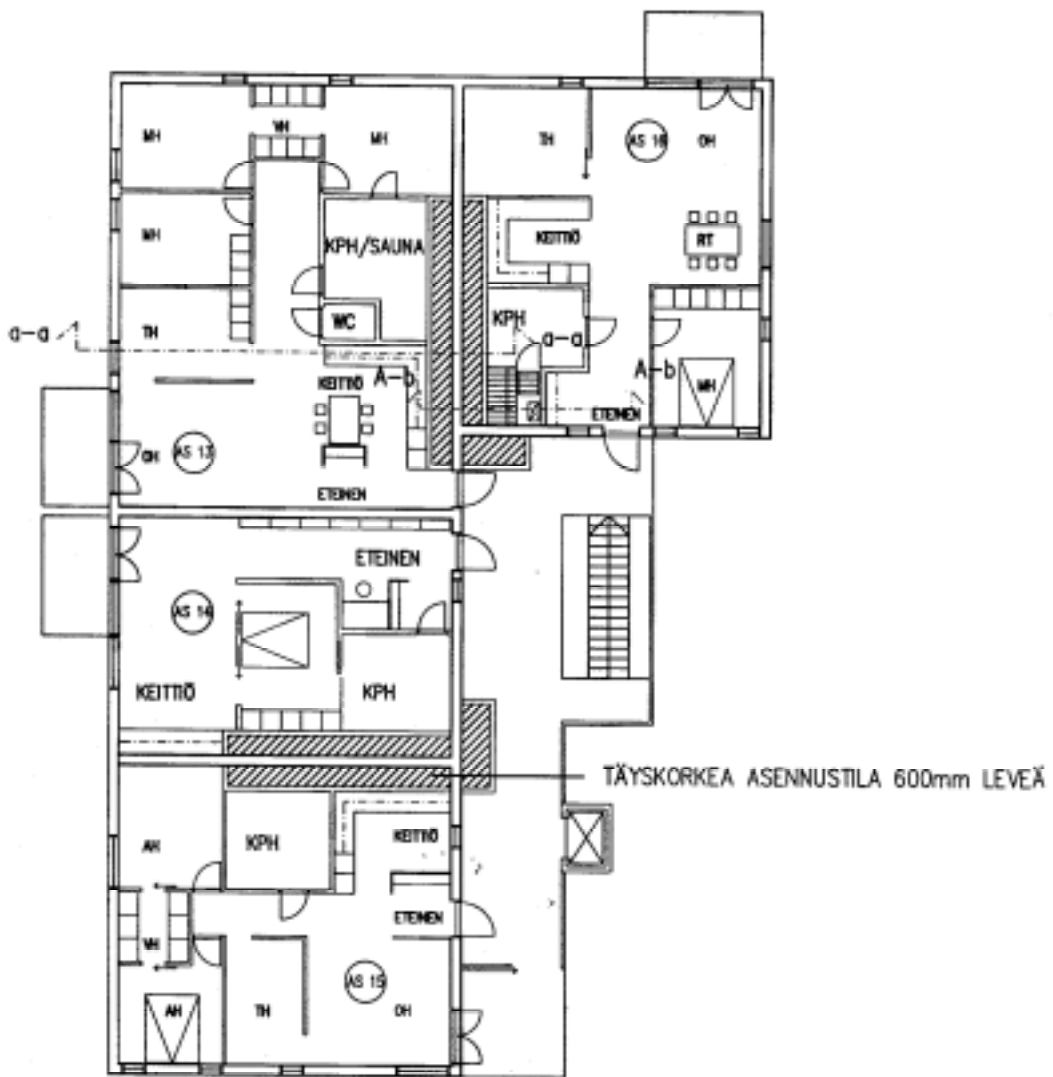
## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja



KULMATALO

ARKKITEHTI  
EEVA HEIKELÄ

## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja



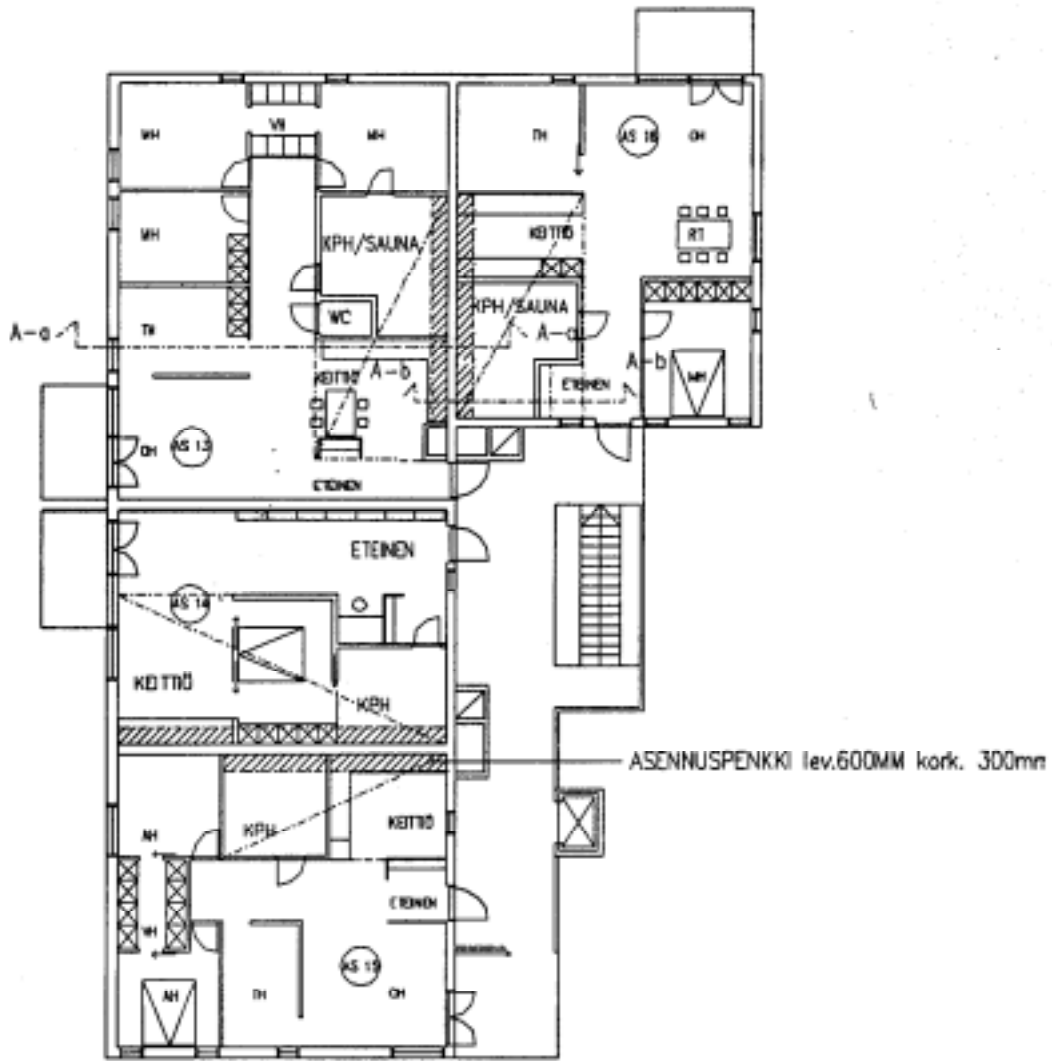
KULMATALO

ARKKITEHTI  
EEVA HEIKELÄ





**Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja**

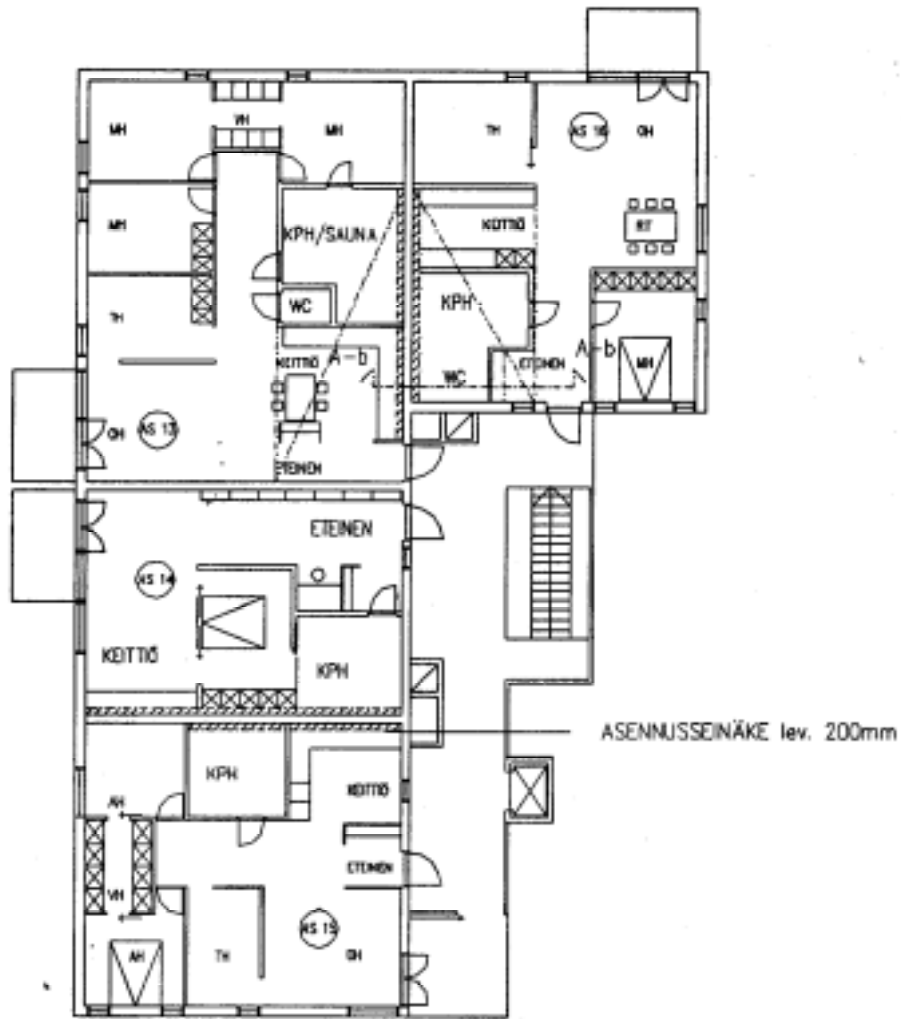


KULMATALO



ARKKITEHTI  
EEVA HEIKELÄ

## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja



KULMATALO



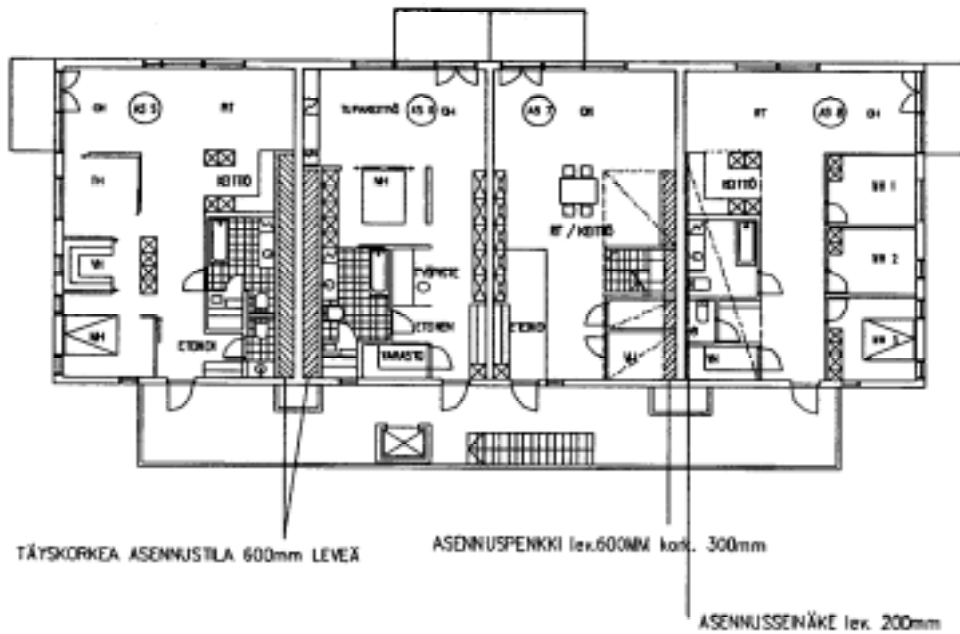
LEikkaus a-a

LEikkaus a-b

ASENNUSSEINÄKE lev. 200mm

ARKKITEHTI  
Eeva HEIKELÄ

## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja



### LAMELITALO

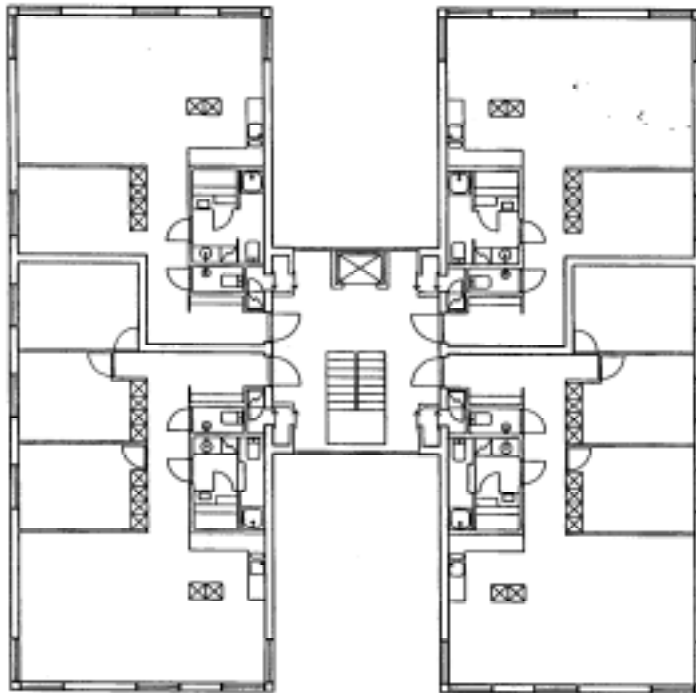
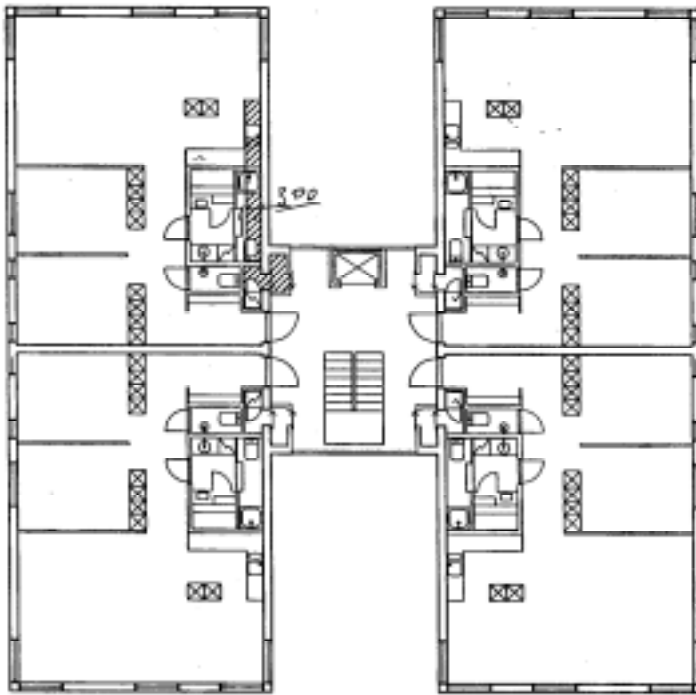
HUONEISTOLALA AS 5 = 97 m<sup>2</sup>, kun kyseessä kokokorkea asennustila (600mm leveä)

HUONEISTOLALA AS 5 = 104.2 m<sup>2</sup>, kun kyseessä "asennuspenkki"-ratkaisu

HUONEISTOLALA AS 5 = 102.9 m<sup>2</sup>, kun kyseessä asennuseinä ratkaisu

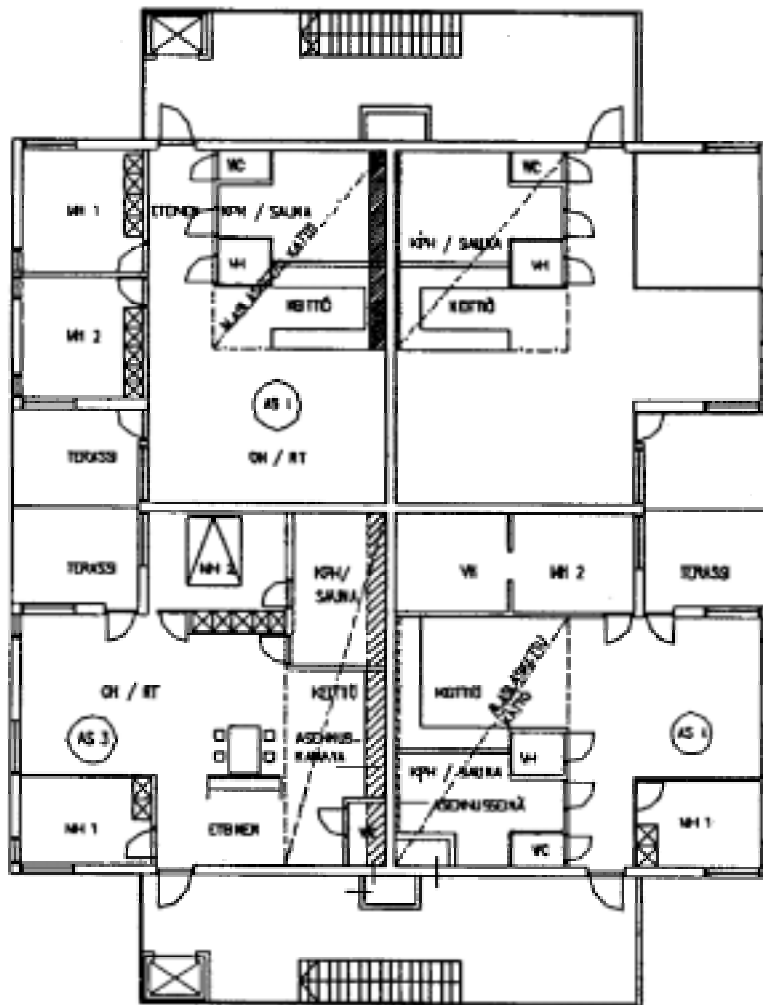
ARKKITEHTI  
EEVA HEIKELÄ

## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja



ARKKITEHTI  
EEVA HEIKELÄ

## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja



### HUONEISTOALA

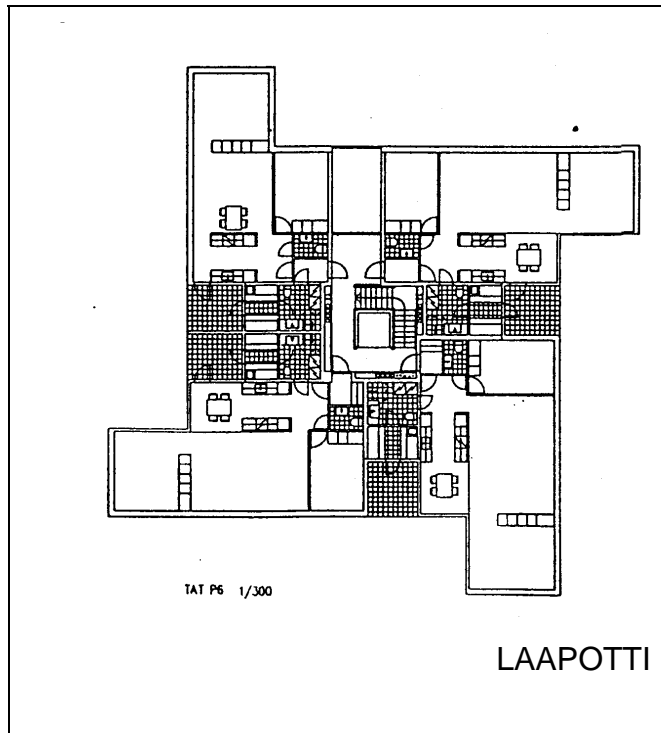
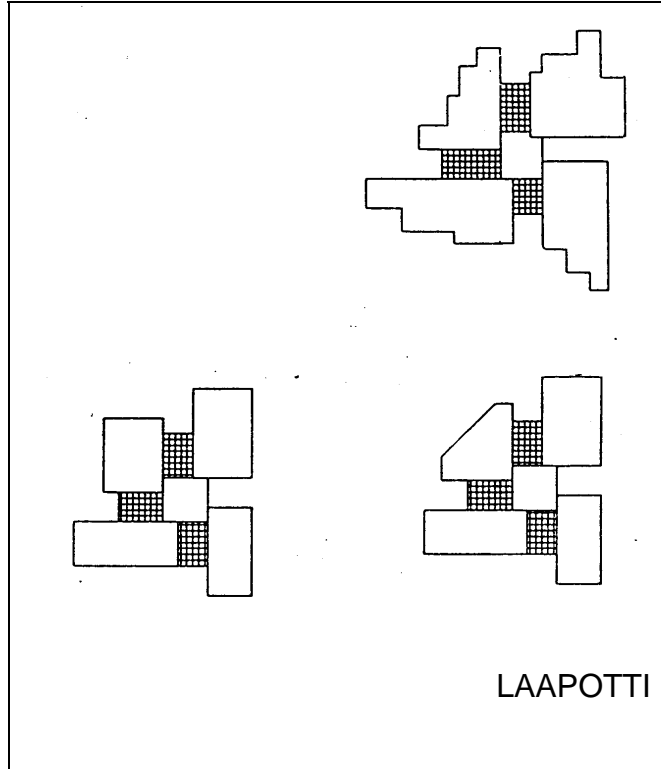
- 91.4 m<sup>2</sup> kun käytetään kokokorkeaa 900 mm leveää asennustilaa
- 91.4 m<sup>2</sup> kun käytetään kokokorkeaa 600 mm leveää asennustilaa
- 97.6 m<sup>2</sup> kun käytetään "asennuspenkkiä" lev. 600mm kork. 300mm
- 96.7 m<sup>2</sup> kun käytetään asennuseinäkettä lev. 200mm kork. n 1200mm

ARKKITEHTI  
EEVA HEIKELÄ

## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja

### TAT-ASUINRAKENNUKSEN RATKAISU ESIMERKKEJÄ

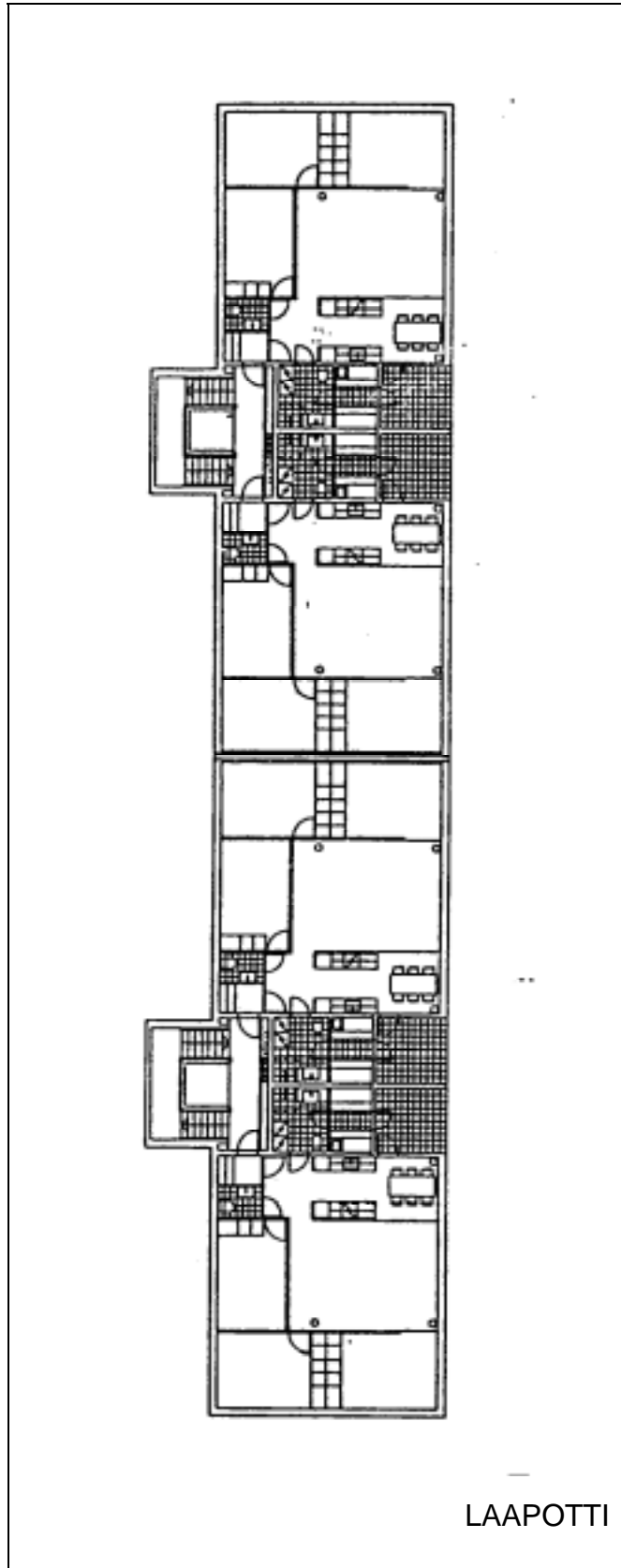
Esimerkkejä pistetaloratkaisuista, joissa asuntojen ulkotilat ja märät, raskaasti rakennetut tilat on sijoitettu asuntojen väliin "eristysvyöhykkeeksi". Kytöntätapa sallii täysin erilaisten asuntoratkaisujen kytkemisen toisiinsa. Asunnot voidaan suunnitella riippumattomina toisistaan kun installointi toteutetaan TAT-periaatteella.



Esimerkki edellä esitetystä periaatteesta

## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja

TAT-ASUINRAKENNUKSEN RAT-  
KAISU ESIMERKKEJÄ

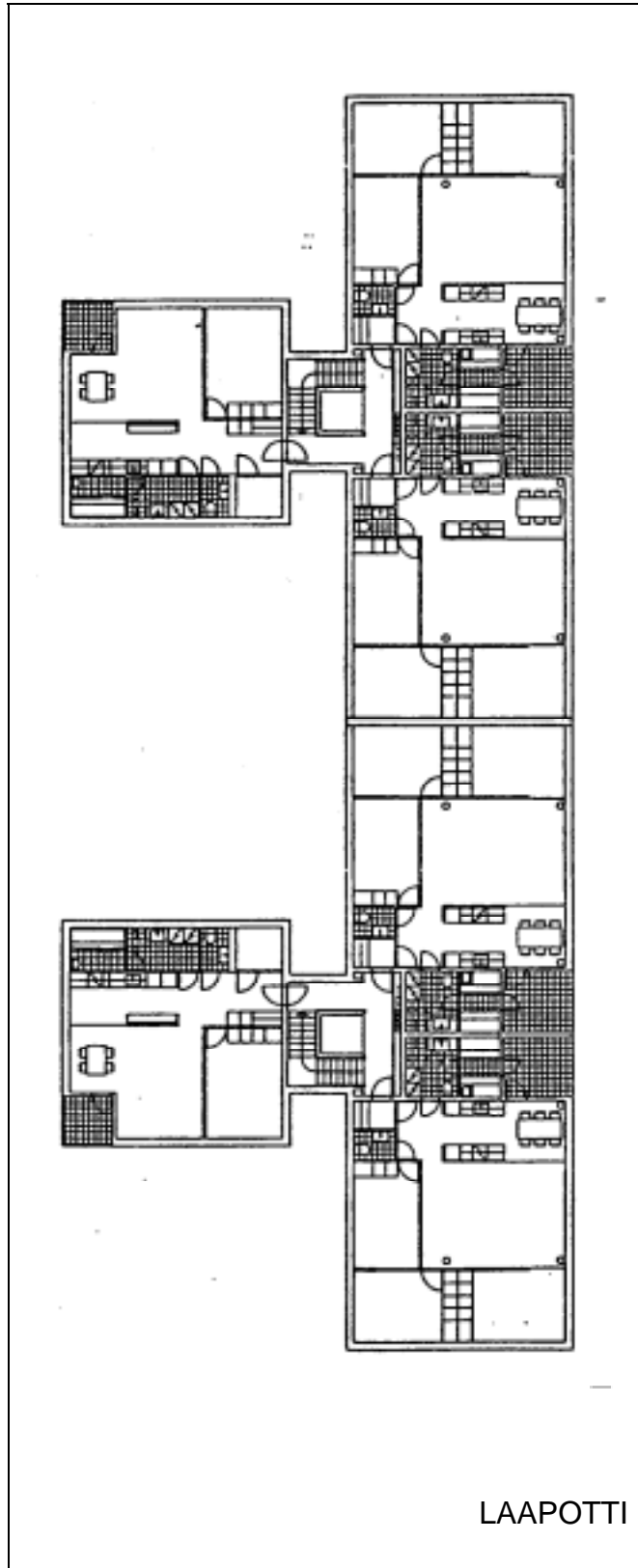


Lamellitaloesimerkki

LAAPOTTI

## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja

TAT-ASUINRAKENNUKSEN RAT-  
KAISU ESIMERKKEJÄ



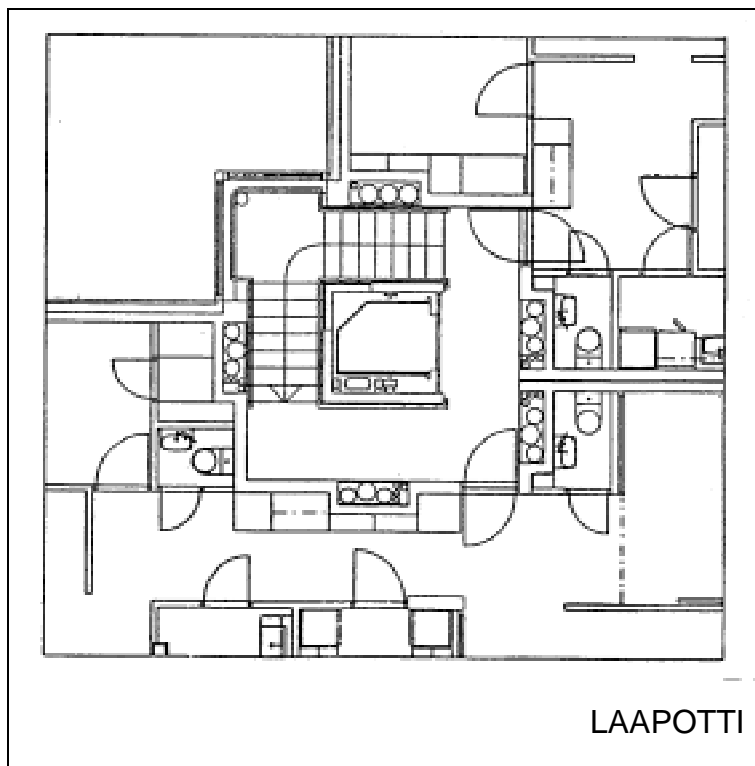
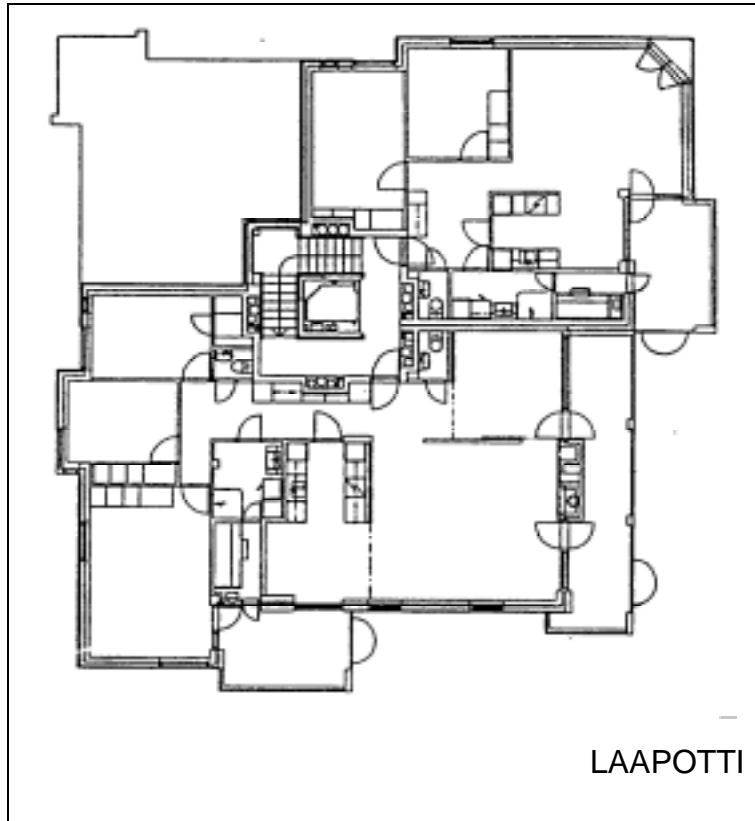
Lamellitaloesimerkki, jossa on to-  
teutettu edellä esitettyjä suunnittelu-  
periaatteita



## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja

### TAT-ASUINRAKENNUKSEN RATKAISU ESIMERKKEJÄ

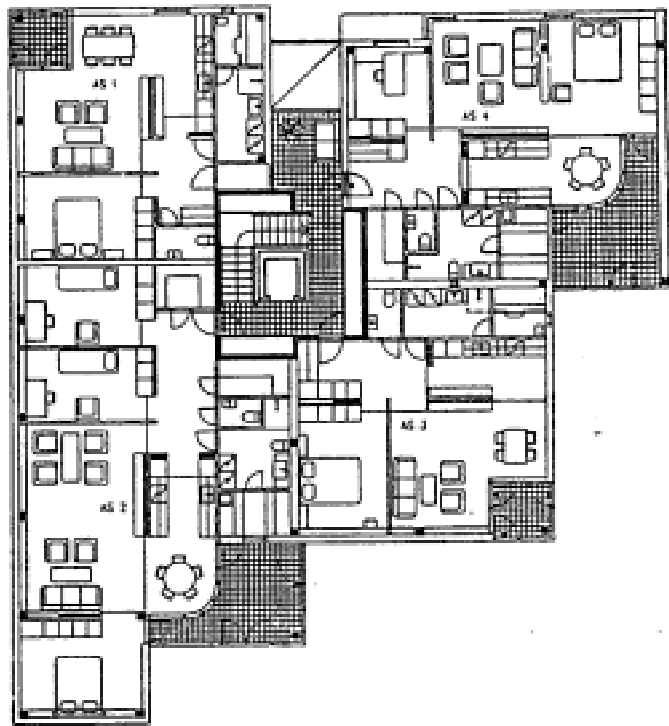
TAT-asuinrakenuksen toteutettu esimerkki As Oy Westendin-portti, Rakennuskunta Haka. Eri kerroksissa on erilaisia pohjaratkaisuja. Installaatiot vedetty porrashuoneeseen. Äänieristys halkaistuvin kantavin seinin.



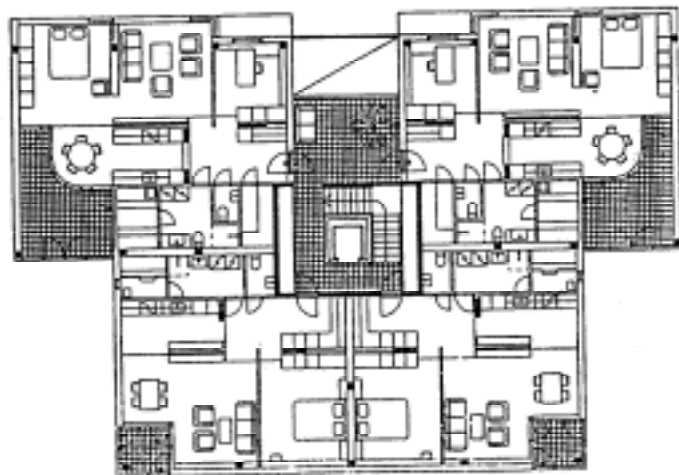
## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja

### TAT-ASUINRAKENNUKSEN RATKAISU ESIMERKKEJÄ

TAT-koetalon lamelli, jossa pystynousut on sijoitettu porrashuoneen seiniin. Installaatioiden vaakavedot on sijoitettu korotettuun lattiaan eteisessä, hygieniatiloissa ja säilytystiloissa. Tasoerot asunnossa on sijoitettu tilavaikutelmaa korostaviin paikkoihin.



LAAPOTTI

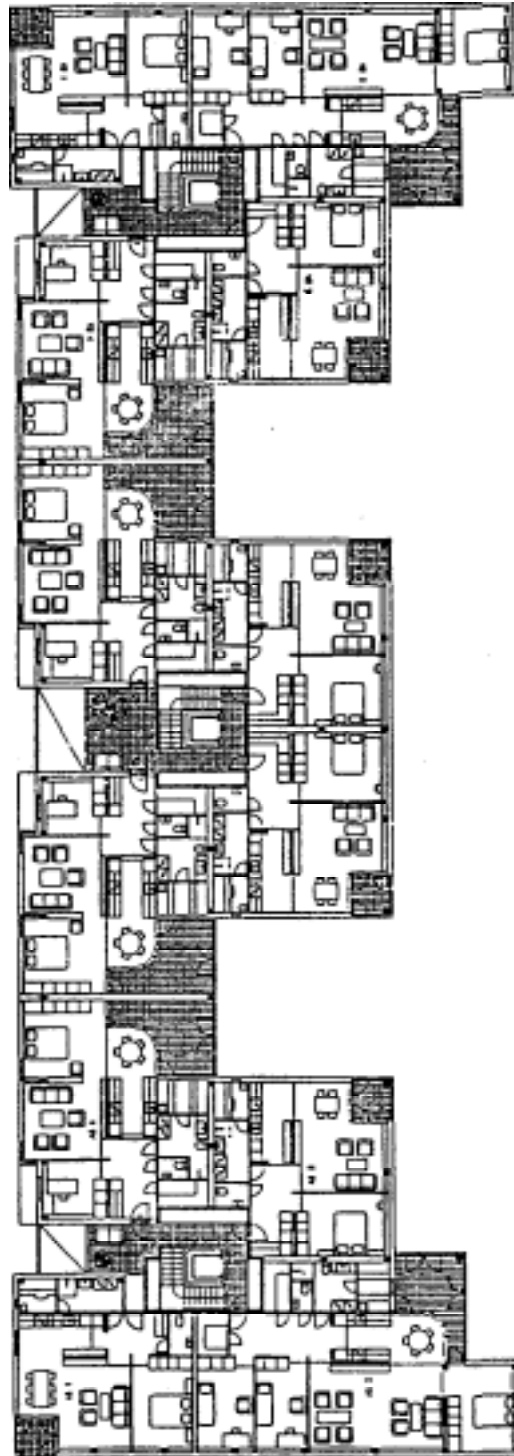


Vastaava välilamelli

LAAPOTTI

## Yleiset reititysvaihtoehdot ja niiden malliratkaisuja

TAT-ASUINRAKENNUKSEN  
RATKAISU ESIMERKKEJÄ



TAT-koetalo "asuinkerrostalo  
keskustaan", TAT-asunnot,  
asennusjärjestelmät ja puo-  
lilämpimät parvekkeet.

LAAPOTTI

## Liite B: Ilmanvaihtolämmityksen esimerkkikaavioita

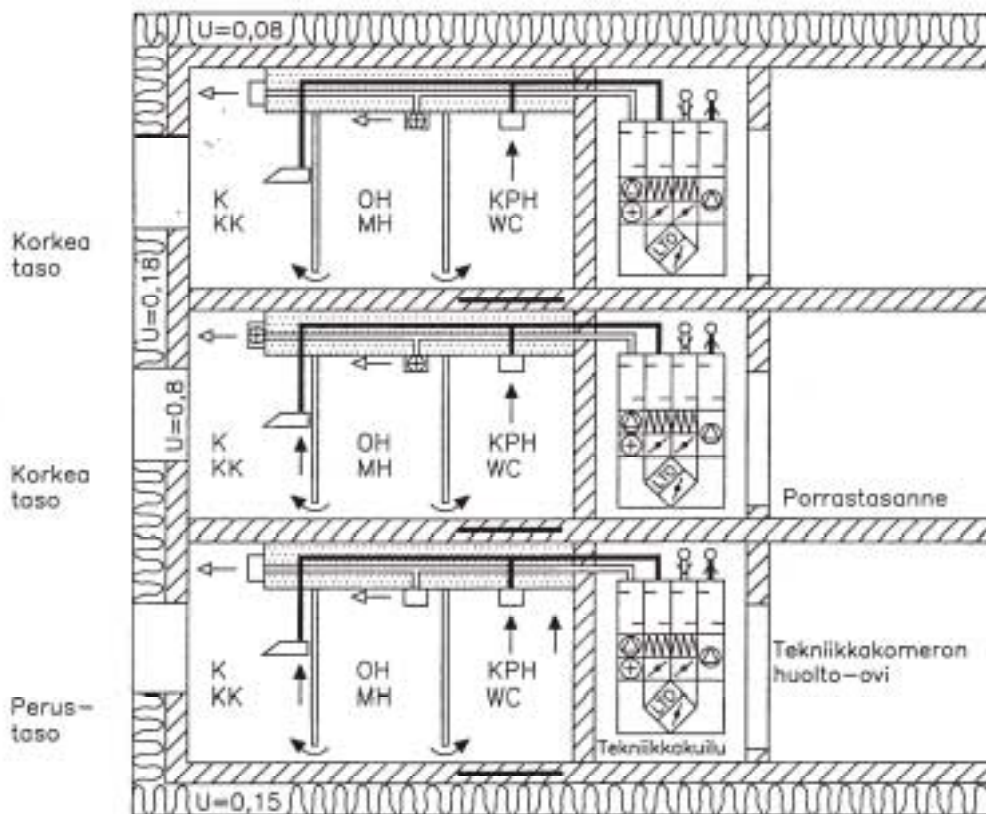
HUONEISTOKOHTAINEN ILMANVAIHTOLÄMMITYS,  
JÄTEILMAN SEINÄPUHALLUS

Laatutase voidaan valita huoneisto- ja/tai huonekohtaisesti

Merkkien selitykset

	puhallin		lämmityspatteri
	suodatin		äänenvaimennus
	virtaussäädin		lämmöntalteenotto
	lattialämmitys		tilavaraus



U lämmönläpäisykerroin,  $W/m^2K$



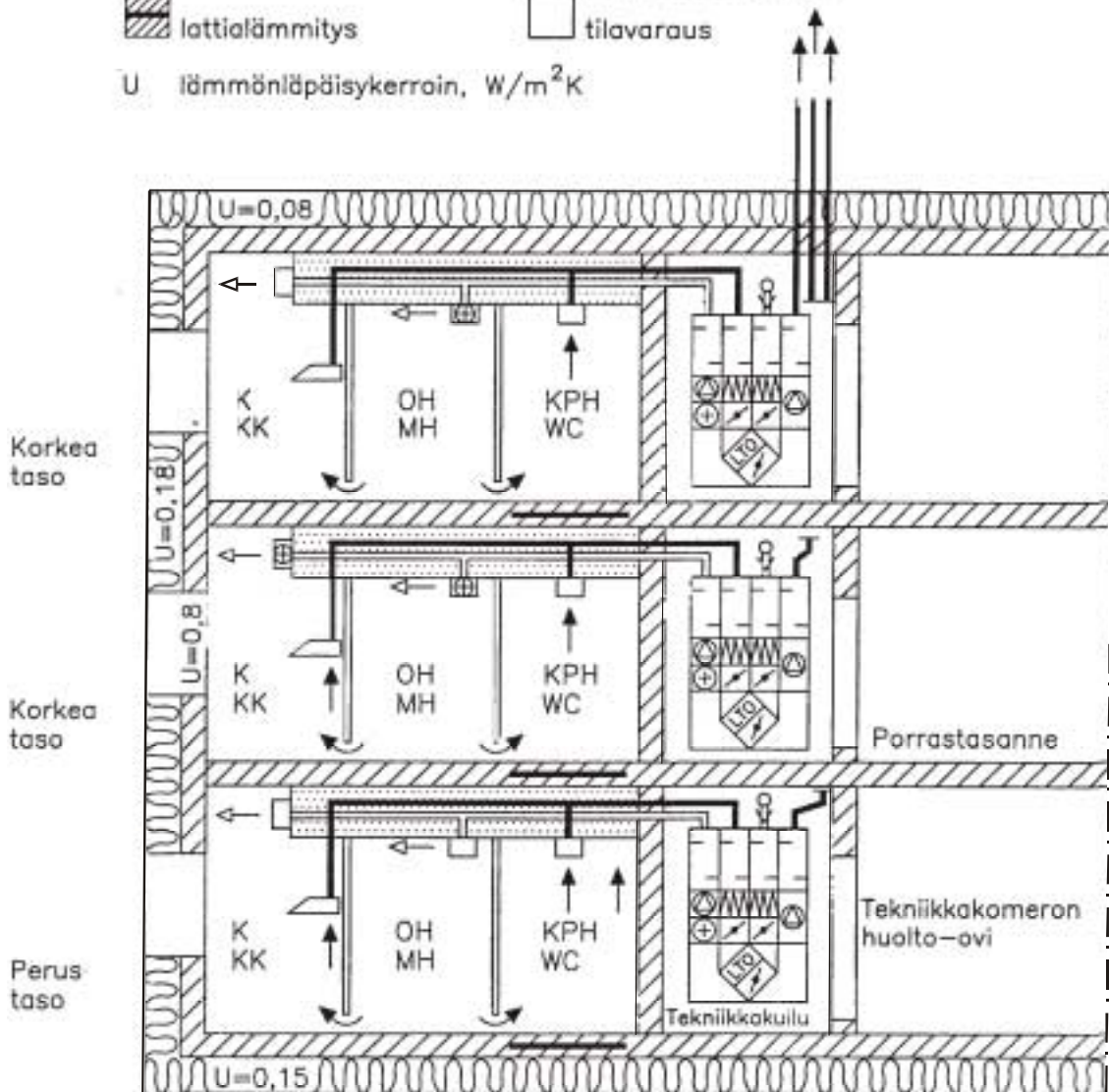
Matalaenergiatalossa ei tarvita ikkunoiden alla lämmityspattereita. Lämmitys voidaan hoitaa edullisimmin ilmanvaihtolämmityksellä. Kustannuksia lisäämällä voidaan käyttää ilmanvaihtolämmityksen tilalla pintalämmitystä (lattia, katto, seinä) tai patterilämmitystä. Lämmityspatterit voidaan sijoittaa vapaasti huoneeseen, esimerkiksi kalustepatteri.

HUONEISTOKOHTAINEN ILMANVAIHTOLÄMMITYS,  
KATOLLE ERILLISKANAVOITU JÄTEILMA  
Laatutaso voidaan valita huoneisto- ja/tai huonekohtaisesti

Merkkien selitykset

	puhallin		lämmityspatteri
	suodatin		äänenvaimennus
	virtaussäädin		lämmöntalteenotto
	lattialämmitys		tilavaraus

U lämmönläpäisykerroin,  $W/m^2K$











Matalaenergiatalossa ei tarvita ikkunoiden alla lämmityspattereita. Lämmitys voidaan hoitaa edullisimmin ilmanvaihtolämmityksellä. Kustannuksia lisäämällä voidaan käyttää ilmanvaihtolämmityksen tilalla pintalämmitystä (lattia, katto, seinä) tai patterilämmitystä. Lämmityspatterit voidaan sijoittaa vapaasti huoneeseen, esimerkiksi kalustepatteri.

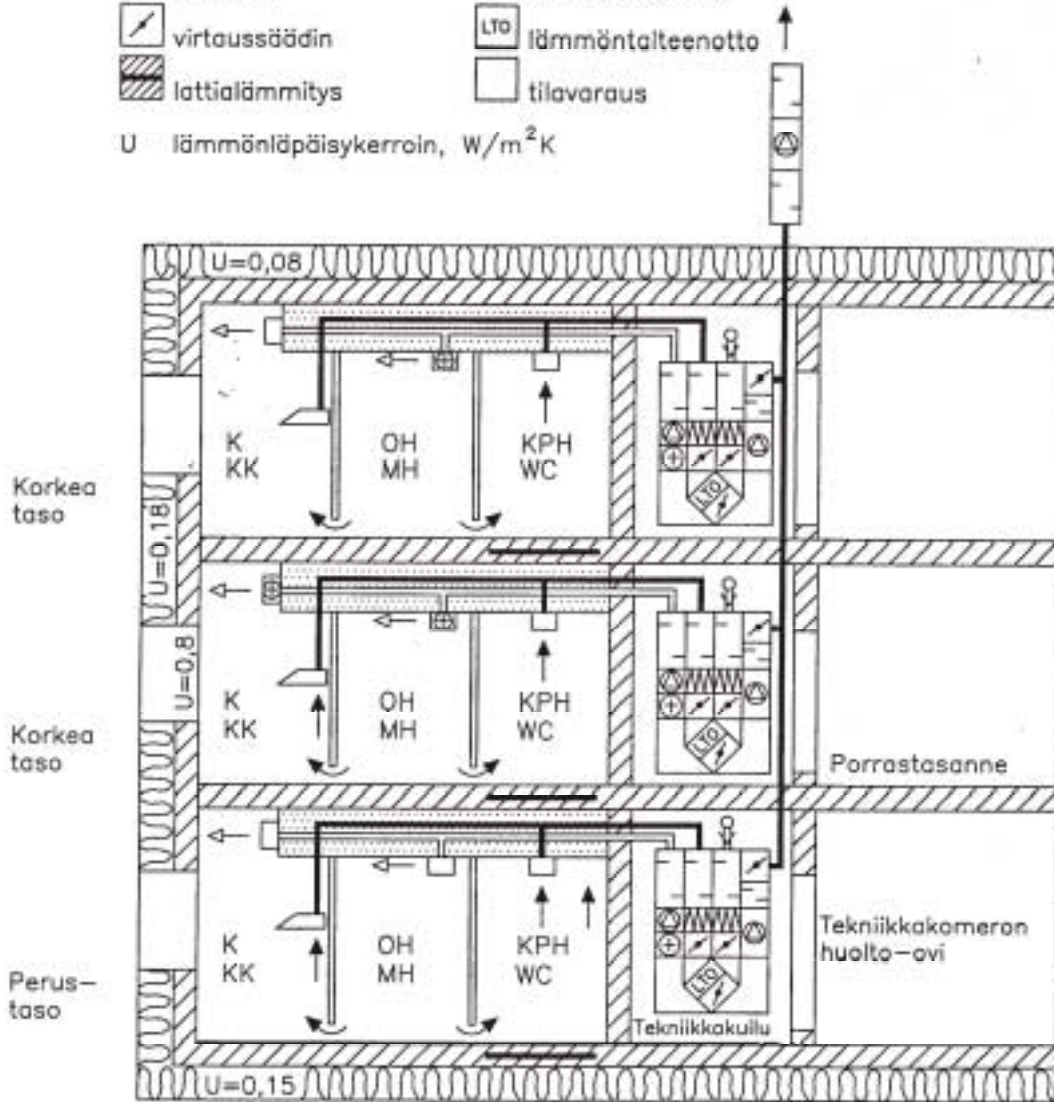
HUONEISTOKOHTAINEN ILMANVAIHTOLÄMMITYS,  
KATOLLE YHTEISKANAVOITU JÄTEILMA

Laatutaso voidaan valita huoneisto- ja/tai huonekohtaisesti

Merkkien selitykset

	puhallin		lämmityspatteri
	suodatin		äänenvaimennus
	virtaussäädin		LTO lämmöntalteenotto
	lattialämmitys		tilavarauksen

U lämmönläpäisykerroin,  $W/m^2K$



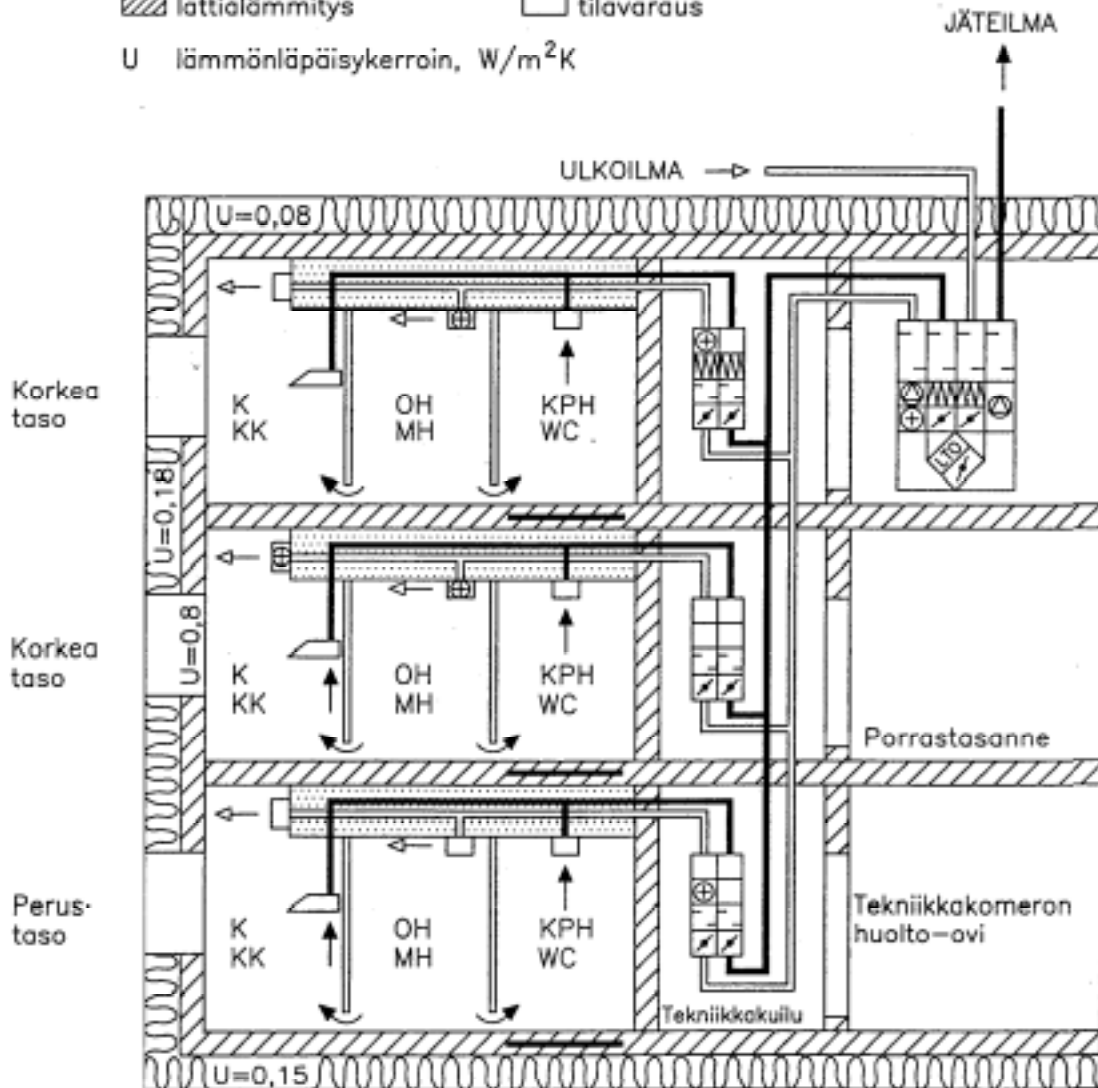
Matalaenergiatalossa ei tarvita ikkunoiden alla lämmityspattereita. Lämmitys voidaan hoitaa edullisimmin ilmanvaihtolämmityksellä. Kustannuksia lisäämällä voidaan käyttää ilmanvaihtolämmityksen tilalla pintalämmitystä (lattia, katto, seinä) tai patterilämmitystä. Lämmityspatterit voidaan sijoittaa vapaasti huoneeseen, esimerkiksi kalustepatteri.

RAKENNUS- TAI PORRASKOHTAINEN ILMANVAIHTOLÄMMITYS  
Laatutase voidaan valita huoneisto- ja/tai huonekohtaisesti

Merkkien selitykset

	puhallin		lämmityspatteri
	suodatin		äänenvaimennus
	virtaussäädin		LTO lämmöntalteenotto
	lattialämmitys		tilavaraus

U lämmönläpäisykerroin,  $W/m^2K$



Matalaenergiatalossa ei tarvita ikkunoiden alla lämmityspattereita. Lämmitys voidaan hoitaa edullisimmin ilmanvaihtolämmityksellä. Kustannuksia lisäämällä voidaan käyttää ilmanvaihtolämmityksen tilalla pintalämmitystä (lattia, katto, seinä) tai patterilämmitystä. Lämmityspatterit voidaan sijoittaa vapaasti huoneeseen, esimerkiksi kalustepatteri.

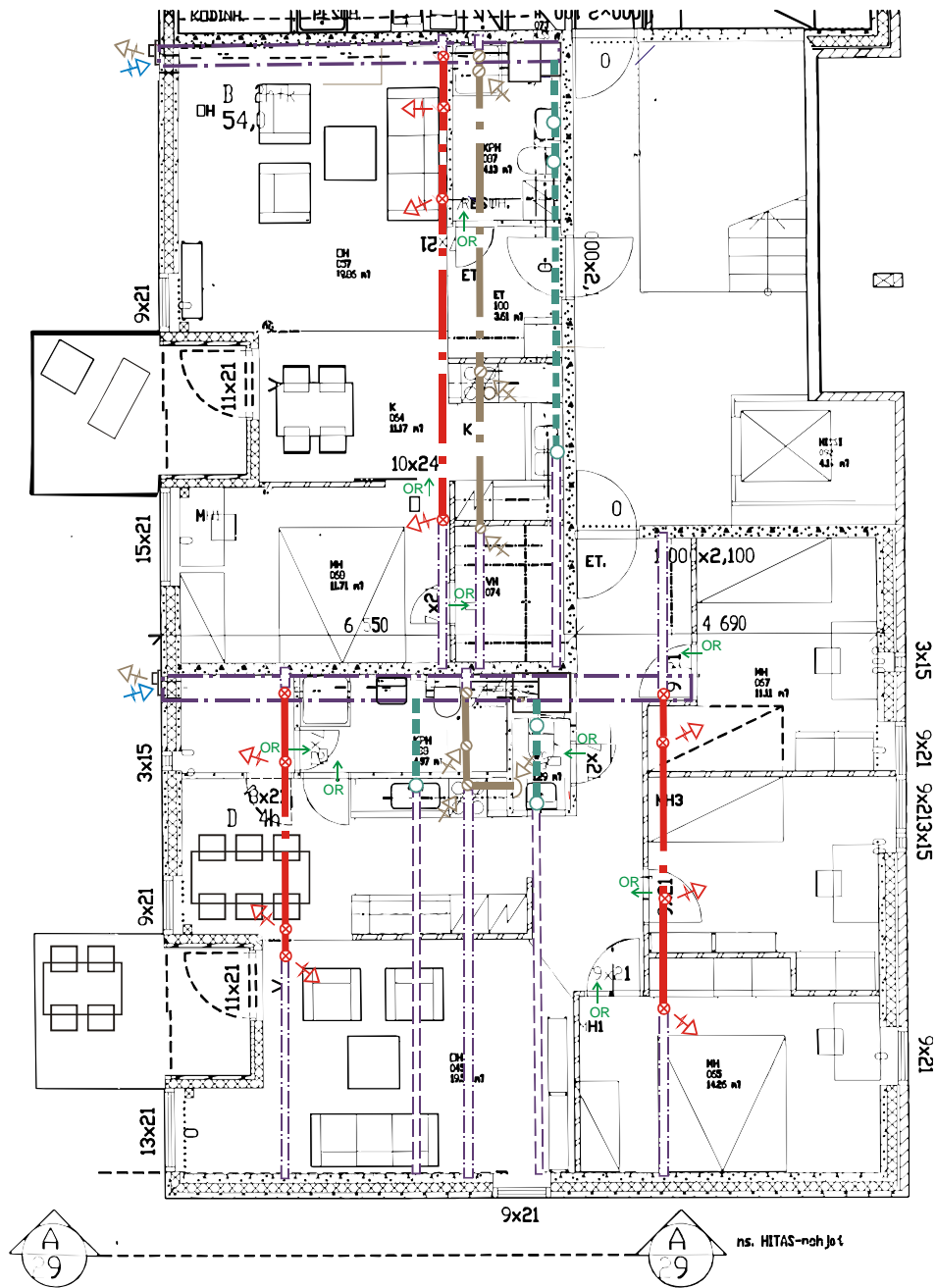
# Liite C: Talotekniikan reititysmalleja

Arabianrannan suunnittelukohteen esimerkkihuoneistojen reititykset

**INDUCON: Matalaenergia- ja Minimienergiatalo (vaihtoehto 1)**

Huoneistokohtainen ilmanvaihtolämmitys

- Ulkoilman sisäänotto ilmanvaihtolämmitykseen ja jäteilman ulospuhallus ulkoseinällä
- Ei huoneistojen välisiä ilmahormistoja, ei paloeristettyjä ilmakanavia eikä palopeltejä
- Huoneistokohtaiset välipohjalaatastion poikisuuntaiset ilmakanavat märkätilojen alaslaskukatoissa ja välipohjalaatastion ontelot toimivat ilmakanavina ja viemärien reitteinä
- Huoneistoissa vain yksi lämpöputkinousu



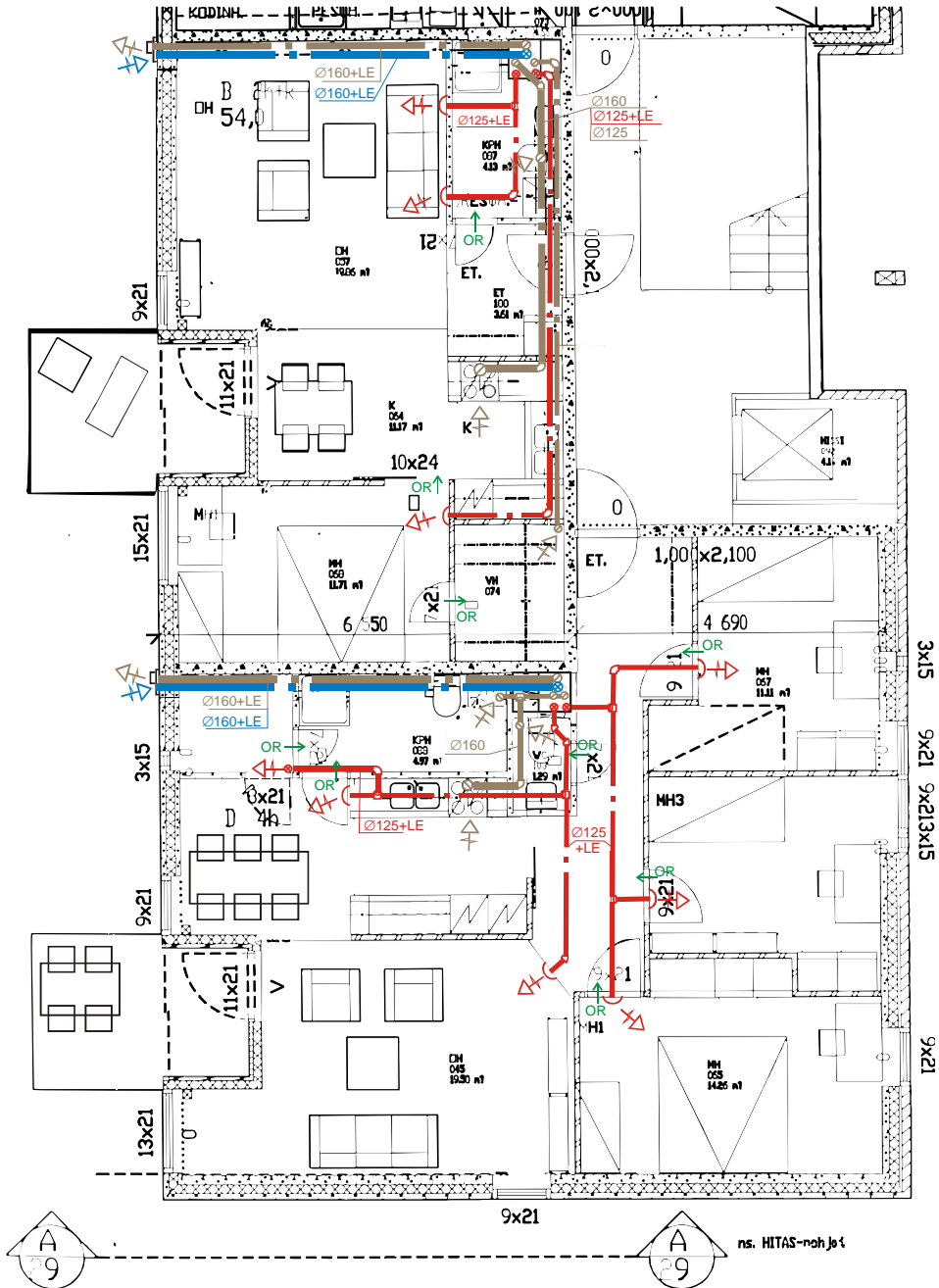


## Arabianrannan suunnittelukohteen esimerkkihuoneistojen reititykset

### INDUCON: Matalaenergia- ja Minimienergiatalo (vaihtoehto 2)

#### Huoneistokohtainen ilmanvaihtolämmitys

- Ulkoilman sisäänotto ilmanvaihtolämmitykseen ja jäteilman ulospuhallus ulkoseinällä
- Huoneistokohtaiset ilmakanavat märkätilojen ja eteisen alaslaskukatoissa ja keittiön kaapistojen päällä
- Ei huoneistojen välisiä ilmahormistoja, ei paloeristettyjä ilmakanavia, esim. palopeltejä
- Huoneistoissa vain yksi lämpöputkinousu

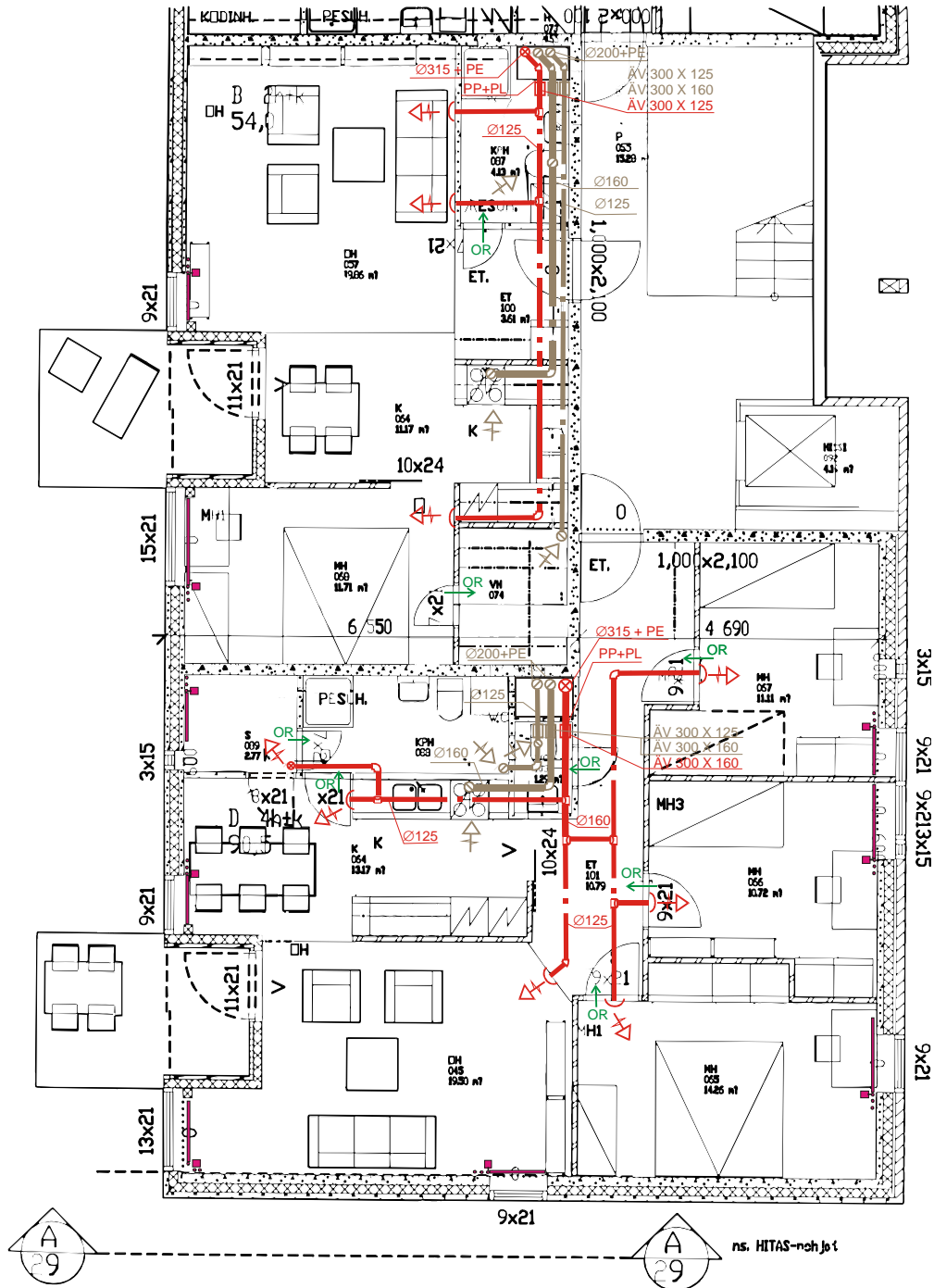


## Arabianrannan suunnittelukohteen esimerkkihuoneistojen reititykset

### INDUCON: Normitalo 2003

#### Koneellinen tulo- ja poistoilmavaihto, patterilämmitys

- Ulkoilman sisäänotto ilmanvaihtokoneeseen ja jäteilman ulospuhallus katolla
- Talonkorkuiset huoneistojen väliset ilmahormistot ja paloeristetyt tulo- ja poistoilmakanavistot palopelteilneen
- Ilmanvaihdon konehuoneet katolla
- Huoneistojen ilmanavat märkätilojen ja eteisen alaslaskukatoissa ja keittiön kaapistojen päällä
- Huoneistoissa lämpöputkinousuja ulkoseinillä ja lämmityspatterit ikkunoiden alla

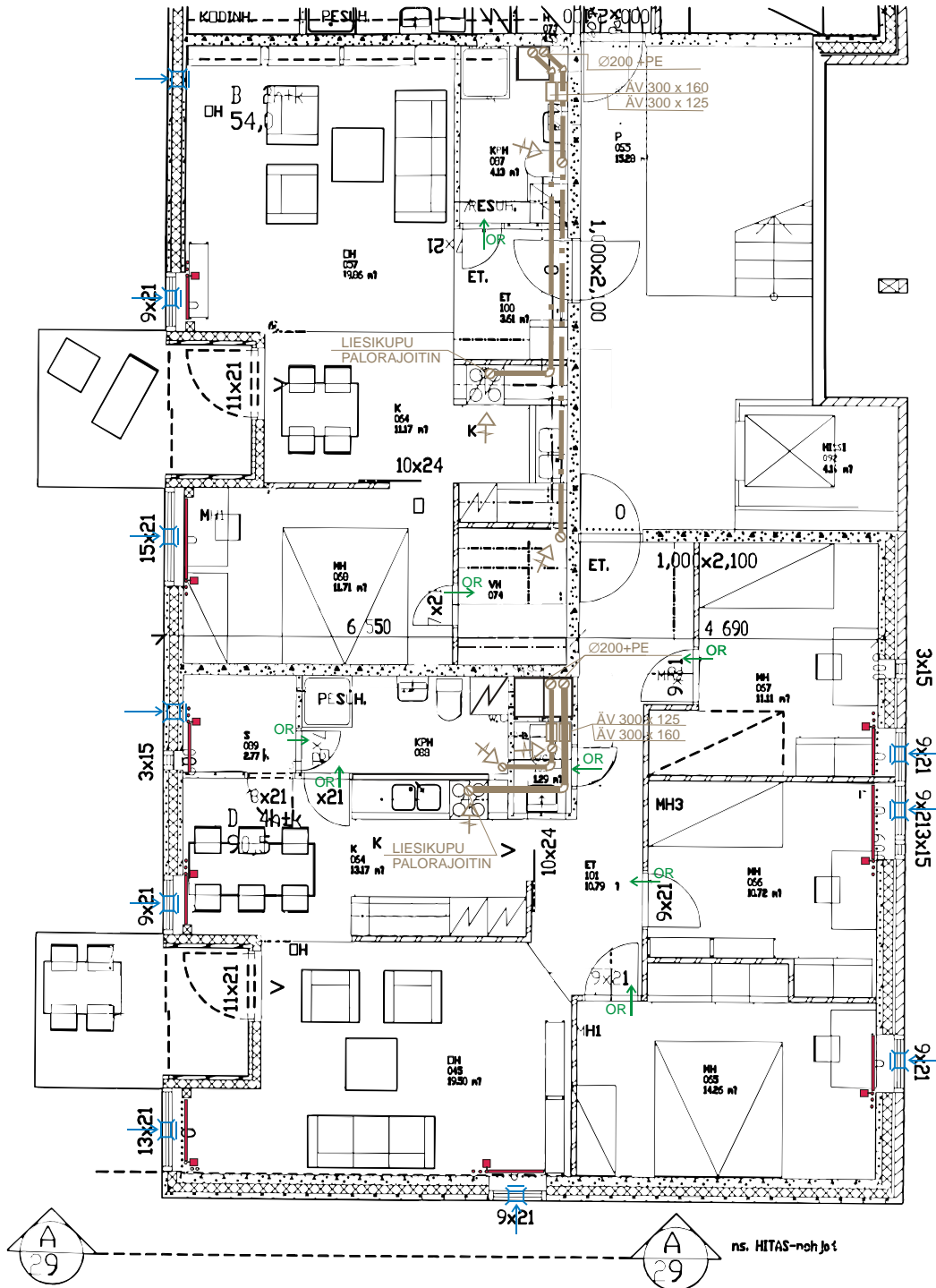


## Arabianrannan suunnittelukohteen esimerkkihuoneistojen reititykset

### INDUCON: Normitalo 2000

Koneellinen poistoilmanvaihto ulkoilmaventtiilein, patterilämmitys

- Kylmän ulkoilman sisäänotto huoneeseen ulkoseinän ulkoilmaventtiileistä ja jäteilman ulospuhallus katolla
  - Talonkorkuiset huoneistojen väliset poistoilmahormistot ja paloeristetyt poistoilmakanavistot
  - Poistoilmapuhaltimet katolla
  - Huoneistojen poistoilmakanavat märkätilojen alaslaskukatoissa ja keittiön kaapistojen päällä
- Huoneistossa useita lämpöputkinousuja ulkoseinillä ja suuritehoiset lämmityspatterit ikkunoiden alla



# Liite D: Kustannuslaskentataulukoita

Taulukko 1. Hankinta- ja elinkaarikustannusten laskentataulu.

Aikaväli $t$ : 10, 25, 50, 100 v Laskentakorkokanta $i$ : 0, 2, 4  Talotyyppi: Normitalo 2003, Matalaenergiatalo, Minimiennergiatalo) Kaukolämpöhinta :				HANKINTA JA UUSHANKINTA			HUOLTO			KÄYTTÖ	YHTEENSÄ (Nykyarvo $P = HA + UH + HU + EN$ )  $A = P \frac{i(1+i)^t}{(1+i)^t - 1}$	
Kustannuserojen Kohdentuminen	Yksikkö	Määrä	Käyttökä v	Hankintakustannusero €/yks	Hankintakustannusero (HA) €	Uushankinnan kustannusero (UH)	Kustannusero €/kerta	Huoltoväli v	Huoltokustannus: Nykyarvoero (HU)	Energiakustannusero (EN)	Nykyarvoero (P) €	Vuosikustannusero (A) €/v
<b>RAKENNETEKNIikka</b> <i>Rakennusosat</i> Alapohjarakenteet Ulkoseinärakenteet Yläpohjarakenteet Ikkunat Ulko- ja parvekeovet Alakatot <i>Muut rakennetekniset erot</i> Rakennusaikainen kuivatus Talotekniikasta johtuvat rakennustyöt Patteriverkoston poisjäämisen säästövaikutukset												
<b>TALOTEKNIikka</b> Ilmanvaihto-osat Sähköosat Putkiosat Liittymismaksut												
<b>RAKENNUKSEN KÄYTTÖ</b> Lämpöenergia Sähköenergia												
<b>MUUT TEKIJÄT</b> Tilapäismajoitus Rahoituskustannus												
<b>KOKONAIS-KUSTANNUS</b> Rakennusta kohden Asuinneliömetriä kohden												

Taulukko 2. **INDUCON: Normitalo 2003. Arabianrannan Normitalo 2003:n hankinta- ja elinkaarikustannuserot Normitalo 2000:een verrattuna.**

Aikaväli t. 50 Laskentakorkokanta i 2 % Talotyyppi: Normitalo 2003 Kaukolämpöhinta €/MWh/v (mk/v) : 34,5 (207)				HANKINTA JA UUSHANKINTA (tarveaineiden hankinta sekä työt arvonlisäveroineen)			HUOLTO			KÄYTTÖ	YHTEENSÄ (Nykyarvo P = H + B + C + D) $A = P \frac{i(1+i)^t}{(1+i)^t - 1}$	
Kustannuserojen kohdentuminen	Yksikkö	Määrä	Käyttöikä v	Hankintakustannusero mk/yks	Hankintakustannusero (H) mk	Uushankinnan kustannusero (B) mk	Kustannusero mk/kerta	Huoltoväli v	Huoltokustannus: Nykyarvoero (C) mk	Energiakustannus-ero (D) mk	Nykyarvoero (P) mk	Vuosikustannusero (A) mk/v
<b>RAKENNETEKNIikka</b>					<b>+310000</b>	<b>+64000</b>					<b>+374000</b>	<b>+13500</b>
Rakennusosat	m <sup>2</sup>	792	100	+60	+48000						+48000	+1500
Alapohjarakenteet	m <sup>2</sup>	3669	100	+15	+55000						+55000	+1800
Ulkoseinärakenteet	m <sup>2</sup>	868	100	+15	+13000						+13000	+500
Yläpohjarakenteet	m <sup>2</sup>	500	40	+85	+43000	0		10	0		+43000	+1400
Ikkunat	m <sup>2</sup>	119	40	+85	+11000	0		10	0		+10000	+400
Ulko- ja parveke- ovent	m <sup>2</sup>	250	30	+230	+58000	+64000					+122000	+3900
Alakatot												
Muut rakennetekni- set erokustannukset												
Rakennusaikainen kuivatus	Erä		100		+125000						+125000	+4000
Talotekniikasta johtuvat rakennus- työt												
Patteriverkoston poisjäämisen säästövaikutukset												
<b>TALOTEKNIikka</b>					<b>+489000</b>	<b>+556000</b>			<b>+120000</b>		<b>+1165000</b>	<b>+37000</b>
Ilmanvaihto-osat	Ur.		30		+440000	+484000	+40 000	20	+80000		+1004000	+31900
Sähköosat	Ur.		30		+25000	+28000	+500	1	+25000		+78000	+2500
Putkiosat	Ur.		45		+40000	+44000	+5 000	15	+15000		+99000	+3100
Liittymismaksut	Erä		100		-14000						-16000	-500
<b>RAKENNUKSEN KÄYTTÖ</b>												
Lämpöenergia											-1200000	-24000
Sähköenergia											-2050000	-41000
											+850000	+17000
<b>MUUT TEKIJÄT</b>												
Rahoituskustannus											+400000	
											+400000	
<b>KUSTANNUSERO YHTEENSÄ</b>												
Rakennusta kohden					<b>+799000</b>	<b>+620000</b>			<b>+120000</b>	<b>-1200000</b>	<b>+739000</b>	<b>+26500</b>
Asuinneliömetriä kohden					<b>+220</b>	<b>+170</b>			<b>+33</b>	<b>-330</b>	<b>+210</b>	<b>+7</b>

*Taulukko 3. INDUCON: Matalaenergiatalo. Arabianrannan Matalaenergiatalon hankinta- ja elinkaarikustannuserot Normitalo 2000:een verrattuna.*

Aikaväli t. 50 Laskentakorkokanta i 2 % Talotyyppi: Matalaenergiatalo Kaukolämpöhinta €/MWh/v (mk/v) : 33,5 (202)				HANKINTA JA UUSHANKINTA (tarveaineiden hankinta sekä työt arvonlisäveroineen)			HUOLTO			KÄYTTÖ	YHTEENSÄ (Nykyarvo P = H + B + C+D) $A=P \frac{i(1+i)^t}{(1+i)^t - 1}$	
Kustannuserojen kohdentuminen	Yksikkö	Määrä	Käyttöikä	Hankintakustannus mk/yks	Hankintakustannus (H) mk	Uushankinnan kustannus (B) mk	Kustannus mk/kerta	Huoltoväli v	Huollokustannus: Nykyarvo (C) mk	Energia- kustannus (D) mk	Nykyarvo (P) mk	Vuosikustannus (A) mk/v
<b>RAKENNETEKNIikka</b>					<b>584000</b>	<b>+64000</b>					<b>+648000</b>	<b>+20900</b>
Rakennusosat	m <sup>2</sup>	792	100	+60	+48000						+48000	+1500
Alapohjarakenteet	m <sup>2</sup>	3202	100	+50	+160000						+160000	+5100
Ulkoseinä rakenteet	m <sup>2</sup>	868	100	+60	+52000						+52000	+1900
Yläpohjarakenteet	m <sup>2</sup>	967	30	+210	+203000			10	0		+203000	+6500
Ikkunat ja ikkunaseinät	m <sup>2</sup>	119	30	+110	+13000			10	0		+13000	+400
Ulko- ja parvekeovet	m <sup>2</sup>	250	30	+230	+58000	+64000					+122000	+3900
Alakatot												
Muut rakennetekniset erokustannukset	Erä		100		+50000						+50000	+1600
Rakennusaikainen kuivatus	Erä		100		+100000						+100000	+3200
Talotekniikasta johtuvat rakennustyöt	Erä		100		-100000						-100000	-3200
Patteriverkoston pois jäämisen säästövaikutukset												
<b>TALOTEKNIikka</b>					<b>+492000</b>	<b>+578000</b>			<b>+90000</b>		<b>+1160000</b>	<b>+36900</b>
Ilmanvaihto-osat	Ur.		30		+830000	+913000	+70000	20	+140000		+1883000	+59900
Sähköosat	Ur.		30		+27000	+30000	500	1	+25000		+82000	+2600
Putkiosat	Ur.		45		-330000	-365000	-25000	15	-75000		-770000	-24500
Liittymismaksut	Erä		100		-35000						-35000	-1100
<b>RAKENNUKSEN KÄYTTÖ</b>											<b>-4000000</b>	<b>-83000</b>
Lämpöenergia											-4500000	-93000
Sähköenergia											+500000	+10000
<b>MUUT TEKIJÄT</b>											<b>+300000</b>	
Tilapäismajoitus											-200000	
Rahoituskustannus											+500000	
<b>KUSTANNUSERO YHTEENSÄ</b>												
Rakennusta kohden					<b>+1073000</b>	<b>+642000</b>			<b>+90000</b>	<b>-4150000</b>	<b>-2027000</b>	<b>-25200</b>
Asuinneliömetriä kohden					<b>+300</b>	<b>+180</b>			<b>+25</b>	<b>-1150</b>	<b>-570</b>	<b>-7</b>

Taulukko 4. **INDUCON: Minimiergitalo.** Arabianrannan Minimiergitalon hankinta- ja elinkaarikustannuserot Normitalo 2000:een verrattuna.

Aikaväli t. 50 Laskentakorkokanta i. 2 % Talotyyppe: Minimiergitalo Kaukolämpöhinta €/MWh/v (mk/v) : 32 (195)				HANKINTA JA UUSHANKINTA			HUOLTO			KÄYTTÖ	YHTEENSÄ (Nykyarvo P = H + B + C+D) $A=P \frac{i(1+i)^t}{(1+i)^t -1}$	
Kustannuserojen kohdentuminen	Yksikkö	Määrä	Käyttöikä v	Hankinta-kustannusero mk/yks	Hankintakustannusero (H) mk/	Uus-hankinnan kustannusero (B) mk	Kustannusero mk/kerta	Huoltoväli v	Huoltokustannus: Nykyarvo-ero © mk	Energiakustannus-ero (D) mk	Nykyarvoero (P) mk	Vuosikustannus-ero (A) mk/v
<b>RAKENNETEKNIikka</b>					<b>866000</b>	<b>+64000</b>					<b>+930000</b>	<b>+29700</b>
<i>Rakennusosat</i>												
Alapohjarakenteet	m <sup>2</sup>	792	100	+160	+127000						+127000	+4000
Ulkoseinäarakenteet	m <sup>2</sup>	3202	100	+100	+320000						+320000	+10200
Yläpohjarakenteet	m <sup>2</sup>	868	100	+60	+52000						+52000	+1700
Ikkunat ja ikkunaseinät	m <sup>2</sup>	967	30	+250	+241000						+241000	+7700
Ulko- ja parvekeovet	m <sup>2</sup>	119	30	+150	+18000						+18000	+600
Alakatot	m <sup>2</sup>	250	30	0	+58000	+64000					+122000	+3900
<i>Muut rakennetekniset erokustannukset</i>												
Rakennusaikainen kuivatus	Erä		100		+50000						+50000	+1600
Talotekniikasta johtuvat rakennustyöt	Erä		100		+100000						+100000	+3200
Patteriverkoston pois jäämisen säästövaikutukset	Erä		100		-100000						-100000	-3200
<b>TALOTEKNIikka</b>					<b>+499000</b>	<b>+600000</b>			<b>+90000</b>		<b>+1189000</b>	<b>+38100</b>
Ilmanvaihto-osat	Ur.		30		+850000	+935000	+70000	20	+140000		+1925000	+61200
Sähköosat	Ur.		30		+27000	+30000	500	1	+25000		+82000	+2600
Putkiosat	Ur.		45		-330000	-365000	-25000	15	-75000		-770000	-24500
Liittymismaksut	Erä				-48000						-48000	-1200
<b>RAKENNUKSEN KÄYTTÖ</b>												
Lämpöenergia										-5450000	-5450000	-113000
Sähköenergia										-5800000	-5800000	-120000
										+350000	+350000	+7000
<b>MUUT TEKIJÄT</b>												
Tilapäismajoitus											+400000	
Rahoituskustannus											-200000	
											+600000	
<b>KUSTANNUSERO YHTEENSÄ</b>												
Rakennusta kohden					+1365000	+664000			+90000	-5450000	-2931000	-45500
Asuinneliömetriä kohden					+380	+180			+25	-1500	-800	-13



Tekijä(t) Sarja, Asko, Laine, Juhani, Pulakka, Sakari & Saari, Mikko			
Nimeke <b>INDUCON-rakennuskonsepti</b>			
<p><b>Tiivistelmä</b> Talonrakennuksen haasteena ovat monipuolistuneet ja korostuneet vaatimukset: elinkaaritalous, toiminnallisuus ja toimivuus pitkäikäisessä ja muuttuvassa käytössä, energiatalous, terveellisyys, turvallisuus, viihtyisyys, ympäristö, ekologia ja kulttuuritekijät. Samalla paine kustannusten alentamiseen rakentamisen työn ja pääoman tuottavuutta parantamalla on lisääntynyt.</p> <p>Tämän tutkimuksen tavoitteena on ollut vastata edellä kuvattuihin vaatimuksiin tuottamalla vaihtoehtoisia rakennuskonsepteja, joita käyttäen voidaan valmistaa yksilöllisesti suunniteltuja sekä käyttäjien, omistajien ja yhteiskunnan pitkäikäisiä tarpeita vastaavia ja elinkaarilaadun suhteen optimoituja asuin- ja toimistorakennuksia.</p> <p><b>Rakennuskonsepti on monistettavissa oleva</b> ja dokumentoitu suunnittelu- ja rakentamistapa, jonka tuloksena syntyy määritellyt vaatimukset täyttäviä yksilöllisiä rakennuksia. Monistettavuus edellyttää, että on olemassa vakiotuotannossa olevat avaintuotteet ja suunnitteluohjeet, joilla yksittäiset rakennukset voidaan suunnitella.</p> <p>INDUCON-rakennuskonseptin kehittäminen on kohdistettu seuraaviin tekijöihin:</p> <p><b>luokiteltu elinkaarilaatu</b> (toimintolaatu / tilojen ja ominaisuuksien muunneltavuus / terveellisyys / ekologia: energiatalous, päästöminimointi / ääneneristys) sekä</p> <p><b>teollisen tuotannon etujen hyödyntäminen uudella tasolla</b> (uudet rakennuskonseptit ja suunnittelumalleja, yksinkertaistus ja osien vähentäminen, esivalmistuksen viimeistelyasteen kohottaminen sekä laitteistojen ja rakenteiden yhteistoiminta ja yhteensovitus).</p> <p>Lopputuloksena esitetään rakennusten luokiteltuja ominaisuusmäärittelyjä, eri ominaisuuksia vastaavat tuoteratkaisut, suunnitteluperiaatteet, suunnitteluprosessin kuvaus sekä suunnittelumenetelmien kuvaus ja esimerkkejä, joihin kuuluvat rakenne- ja talotekniikan reititysperiaatteet, sisäilmaston terveellisyys- ja viihtyisyystekijöiden määrittely ja luokittelu, elinkaaren rahatalouden ja luonnontalouden laskelmat ja elinkaarioptimointi ja elinkaari pohjainen monitavoitteisen päätöksenteon menetelmä. Lisäksi esitetään liitteinä mallisuunnitelmia ja sovelluksia Arabianrannan suunnittelukohteeseen.</p> <p><b>Rakennuksen energiatalousluokkien osalta</b> monitavoitteisen päätöksentekoprosessin loppupäätelmänä RIL 216 - 2001:n mukaisen elinkaarilaadun paremmuusjärjestys:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Minimiennergiatalo (tilojen lämmitysenergian kulutus 25 kWh/asm<sup>2</sup>/a)</li> <li>2. Matalaenergiatalo (tilojen lämmitysenergian kulutus 75 kWh/asm<sup>2</sup>/a)</li> <li>3. Normitalo 2003 (tilojen lämmitysenergian kulutus 100 kWh/asm<sup>2</sup>/a)</li> <li>4. Normitalo 2000, Suomen rakentamismääräysten mukainen vuosina 1985–2002 (tilojen lämmitysenergian kulutus 150 kWh/asm<sup>2</sup>/a).</li> </ol> <p>Rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen sisältyvät lämmitysenergian lisäksi käyttöveden lämmitysenergia (n. 80 kWh/asm<sup>2</sup>/a) sekä valaistuksen ja laitteiden sähköenergia (n. 55–60 kWh/asm<sup>2</sup>/a). Näistä vain ilmanvaihto- ja lämmönsiirtolaitteiden vaatima laiteenergia on ollut vertailussa mukana. Tämän perusteena on ollut INDUCON-projektin rajaus, jossa käyttövesi ja valaistus jätettiin projektin ulkopuolelle.</p> <p>Tulokset palvelevat osallistujayritysten kotimaista ja kansainvälistä tuotekehitystä ja tätä laajemminkin elinkaarisuunnittelun ja normituksen kehittämistä.</p>			
Avainsanat construction concept, service life, life cycle, optimizing, energy, utilization, functionality, environment, decision making, economic analysis, buildings, lifetime			
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Lämpömiehenkuja 3, PL 1804, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6163-5 (nid.) 951-38-6164-3 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Projektinnumero ROSU00566	
Julkaisu-aika Elokuu 2003	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 66 s. + liitt. 35 s.	Hinta B
Projektin nimi Industrialised Construction INDUCON		Toimeksiantaja(t) Addtek Research & Development Oy Ab (v. 2003 alkaen Consolis Technology), YIT Rakennus Oy, Parma Betonila Oy, Vallox Oy	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404, faksi (09) 456 4374	



Author(s) Sarja, Asko, Laine, Juhani, Pulakka, Sakari & Saari, Mikko			
Title <b>INDUCON building concept</b>			
Abstract <p>The new and stronger requirements: lifetime economy, functionality in use and in changes of use, technical lifetime performance, energy efficiency, healthy, safety, ecology and local culture, are serving a challenge for the building technology. Additionally the pressure towards decreasing the construction costs with the increase of productivity of the work and capital is increased.</p> <p>The objective of this research work has been to respond the challenges described above with creating alternative <b>building concepts</b>, which could allow production of individually designed apartment and office buildings, including methodology and methods to <b>optimise the building concepts and individual buildings</b> in relation to the <b>lifetime quality</b>. <b>Building concept</b> is a repeatable and documented way of design and construction, which can result in individual buildings with an optimised and high <b>lifetime quality</b>. <b>Lifetime quality</b> is the capability of a building to fulfil the requirements of the users, owners and society during entire design period of the building.</p> <p><b>The INDUCON building concept</b> is focused on the following issues:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Classified and optimised lifetime quality</b> (incl. the viewpoints of functionality, performance, economy, ecology and culture), and</li> <li>- the realisation of <b>industrial production</b> on an advanced level (incl. new models of building design and construction, simplification of building systems and products, decrease of the number of parts of buildings, improvement of finishing of the prefabricated components and modules, and improving the interaction and compatibility of structures and building service systems).</li> </ul> <p>As a result are presented:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- systematised and classified definitions of performance properties of buildings</li> <li>- corresponding specifications of building systems, modules and components</li> <li>- design principles, process descriptions</li> <li>- examples (incl. Routings of technical building services, specification and classification of the health and comfort properties of indoor air, calculations of lifetime economy and ecology, and methodology and methods of lifetime optimisation and decision-making)</li> </ul> <p>As a case is presented a design, economic and ecological optimisation and multiple attribute decision-making of an experimental building .</p> <p>As a specific issue is resulted the ranking of lifetime economy as a function of energy economy. The ranking starting from the best one was the following:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Minimum energy house ( annual consumption of space heating energy = 25 kWh/living area m<sup>2</sup>)</li> <li>2. Low energy house ( annual consumption of space heating energy = 75 kWh/living area m<sup>2</sup>)</li> <li>3. Standard house, Finnish energy standard 2003 ( annual consumption of space heating energy = 100 kWh/living area [m<sup>2</sup>])</li> <li>4. Standard house, Finnish energy standard 1985-2002 ( annual consumption of space heating energy = 150 kWh/living area m<sup>2</sup>)</li> </ol> <p>This result shows, that it is economic, from the viewpoint of lifetime economy in the design period 15 to 50 years to build buildings with much higher energy efficiency than the current standard level.</p>			
Keywords construction concept, service life, life cycle, optimizing, energy, utilization, functionality, environment, decision making, economic analysis, buildings, lifetime			
Activity unit VTT Building and Transport, Lämpömiehenkuja 3, P.O.Box 1804, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6163-5 (soft back ed.) 951-38-6164-3 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Project number ROSU00566	
Date August 2003	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 66 p. + app. 35 p.	Price B
Name of project Industrialised Construction INDUCON		Commissioned by Addtek Research & Development Oy Ab (Consolis Technology), YIT Rakennus Oy, Parma Betonila Oy, Vallox Oy	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/inf/pdf/">http://www.vtt.fi/inf/pdf/</a> )		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	

## VTT TIEDOTTEITA – RESEARCH NOTES

VTT RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka – VTT BYGG OCH  
TRANSPORT – VTT BUILDING AND TRANSPORT

- 2166 Kääriäinen, Hannu, Tulla, Kauko & Vähäsöyrinki, Erkki. Öljysäiliöiden suojarakenteiden kunto ja kunnonhallinta. CISTERI-projekti. 2002. 33 s. + liitt. 22 s.
- 2167 Tapio, Juha, Häkkänen, Helinä, Pajunen, Kirsi, Kaitanen, Susanna & Mäkinen, Tapani. Sakkolainsäädännön uudistamisen vaikutukset ylinopeusrangaistuksiin, ajonopeuksiin ja liikenneturvallisuuteen. 2002. 36 s. + liitt. 7 s.
- 2168 Ojanen, Tuomo & Salonvaara, Mikael. Kuivumiskykyiset ja sateenpitävät rakenteet. 2002. 66 s. + liitt. 3 s.
- 2170 Mikkola, Kati & Riihimäki, Markku. Omakotitalorakentajien valmius ympäristöystävällisiin rakentamistapoihin. 2002. 53 s. + liitt. 2 s.
- 2177 Mäkelä, Kari, Laurikko, Juhani & Kanner, Heikki. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt. LIISA 2001.1 -laskentajärjestelmä. 2002. 63 s. + liitt. 42 s.
- 2179 Heikkinen, Jorma, Heinonen, Jarkko, Vuolle, Mika, Laine, Tuomas & Liljeström, Kimmo. Toimistorakennusten hybridi-ilmanvaihto. 2002. 113 s.
- 2181 Paloposki, Tuomas, Myllymäki, Jukka & Weckman, Henry. Luotettavuusteknisten menetelmien soveltaminen urheiluhallin poistumisturvallisuuden laskentaan. 2002. 53 s. + liitt. 13 s.
- 2185 Nummelin, Johanna. Recent trends in European real estate research. 2003. 41 p.
- 2075 Häkkänen, Helinä, Britschgi, Virpi, Sirkiä, Ari & Kanner, Heikki. Nuorten aikomus hankkia ajokortti. Toinen, uudistettu painos, 2003. 74 s. + liitt. 6 s.
- 2191 Lahdenperä, Pertti & Koppinen, Tiina. Kannustavat maksuperusteet rakennushankkeessa. Osa 1. Kansainvälinen kartoitus. 2003. 140 s.
- 2194 Kurkela, Juha, Kivinen, Tapani, Westman, Veli-Matti & Kevarinmäki, Ari. Suurten maatalosrakennusten puurunkoratkaisut. Esivalmistetut rakennejärjestelmät. 2003. 116 s. + liitt. 39 s.
- 2195 Koota, Jaana. Market review and study of success characteristics in construction companies. Case: United States. 2003. 41 p. + app. 6 p.
- 2197 Koskela, Lauri & Koskenvesa, Anssi. Last Planner -tuotannonohjaus rakennustyömaalla. 2003. 82 s. + liitt. 20 s.
- 2198 Ilomäki, Sanna-Kaisa. Kehitysryhmätyöskentely organisaation oppimisen välineenä. Tapaustutkimus tietojärjestelmän käytönaikaisesta kehittämisestä. 2003. 76 s. + liitt. 7 s.
- 2200 Andstén, Tauno, Keski-Rahkonen, Olavi & Myllymäki, Jukka. Bursting potential of portable fire extinguishers at elevated temperatures. 2003. 36 p. + app. 8 p.
- 2202 Hietaniemi, Jukka, Hakkarainen, Tuula, Huhta, Jaakko, Jumppanen, Ulla-Maija, Kouhia, Ilpo, Vaari, Jukka & Weckman, Henry. Ontelotilojen paloturvallisuus. Ontelopalojen leviämisen katkaiseminen. 2003. 168 s. + liitt. 52 s.
- 2206 Sarja, Asko, Laine, Juhani, Pulakka, Sakari & Saari, Mikko. INDUCON-rakennuskonsepti. 2003. 66 s. + liitt. 35 s.

Tätä julkaisua myy	Denna publikation säljs av	This publication is available from
VTT TIETOPALVELU	VTT INFORMATIONSTJÄNST	VTT INFORMATION SERVICE
PL 2000	PB 2000	P.O.Box 2000
02044 VTT	02044 VTT	FIN-02044 VTT, Finland
Puh. (09) 456 4404	Tel. (09) 456 4404	Phone internat. + 358 9 456 4404
Faksi (09) 456 4374	Fax (09) 456 4374	Fax + 358 9 456 4374