



## RAKENNUSTIETO >

# Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> [rakennustieto.fi/rk/palvelut](https://rakennustieto.fi/rk/palvelut)

### Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

# Elinkaarikustannusten ja ympäristökuormitusten ohjaus rakennushankkeissa

Arto Saari, tekniikan tohtori  
Laboratorioinsinööri, Teknillinen korkeakoulu  
arto.saari@hut.fi

2

Mitä elinkaarikustannukset ovat? Entä ympäristökuormitukset? Millä rakennushankkeen päätöksillä niihin voidaan vaikuttaa tehokkaasti? Artikkelissani vastaan näihin kysymyksiin ja esittelen uusia työkaluja rakennuksen elinkaarikustannusten ja ympäristökuormitusten hallintaan.

## 1 Mitä elinkaarikustannukset ovat? Entä ympäristökuormitukset?

### 1.1 Elinkaarikustannukset

Voidaksemme tarkastella kiinteistönpidon taloudellisuutta investointivaiheessa, on jo silloin tarkasteltava rakennettavan kiinteistön tulevaa elinkaarta – tai paremminkin vaihtoehtoisia elinkaaritapoja. On tärkeätä huomata, että jo investointivaiheessa tehtävillä valinnoilla voidaan vaikuttaa rakennettavan kiinteistön talouteen. Rakentamisvaiheessa voi olla taloudellista ponnistaa hieman kalliimpaan ratkaisuun, jos ”lisäinvestointiin” voidaan osoittaa maksavan itsensä takaisin. Näiden lisäinvestointien kannattavuus tutkitaan tapauskohtaisilla elinkaaritaloudellisilla laskelmilla.

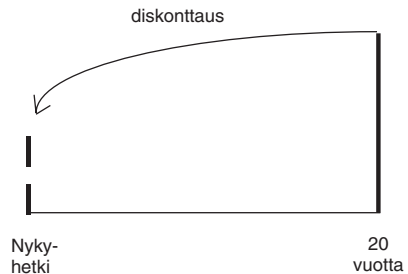
Elinkaaritaloudellisissa laskelmissa tarkastelu kohdistuu aina tulevaisuuteen. Laskelma tehdään valitulle tarkasteluajanjaksolle, eli laskelmassa otetaan huomioon kyseisellä jaksolla syntyvät tuotot ja kustannukset ole sellaisenaan vertailukelpoisia. Mitä lähempänä nykyhetkeä rahasumma saadaan, sitä arvokkaampi se on.

Elinkaaritaloudellisten laskelmien erityispiirre verrattuna muihin taloudellisiin laskelmiin on koron huomioon otto. Investointien vaikutuksethan ulottuvat aina pitkälle aikavälille. Koska raha kasvaa korkoa, eivät eri ajankohtina syntyvät tuotot ja kustannukset ole sellaisenaan vertailukelpoisia. Mitä lähempänä nykyhetkeä rahasumma saadaan, sitä arvokkaampi se on.

Elinkaaritaloudellisissa laskelmissa ennustetaan usein kauaskin tulevaisuuteen. Siksi laskelmiin sisältyy epävarmuutta. Onkin tärkeää suorittaa laskelmalle herkkyysanalyysi, jolla selvitetään miten herkkä laskelman lopputulos on

laskennassa käytettyjen lähtötietojen muuttamiselle. Havainnollinen tapa tutkia laskelman herkkyys on etsiä lähtötietojen kriittiset arvot eli ne arvot, joilla investointi on juuri ja juuri kannattava, tai joilla investointivaihtoehtojen kannattavuusjärjestys juuri ja juuri muuttuu.

Investoinnille on siis tyypillistä tapahtumien eriaikaisuus. Eri ajankohtina syntyvät tapahtumat eivät ole suoraan vertailukelpoisia, koska pääoman omistaja haluaa investointikohteeseen sijoittamalleen rahalle koron. Sen vuoksi reaaliarvoltaan saman suuruinen maksusuoritus on saajalleen arvokkaampi nyt kuin esimerkiksi 20 vuoden päästä. Esimerkin mukainen 20 vuoden päästä tapahtuva suoritus saadaan vertailukelpoiseksi nyt tapahtuvan suorituksen kanssa diskonttaamalla se (kuva 1.).



Kuva 1. Maksutapahtuman diskonttauksen periaate ”suoritus nyt on arvokkaampi kuin reaaliarvoltaan sama suoritus tulevaisuudessa”.

Diskontatun suorituksen arvo on sitä pienempi mitä suurempi pääomalle vaadittu reaalkorko on. Esimerkiksi kun 20 vuoden päästä tapahtuva suoritus 100,00 mk diskontataan nykyhetkeen ja reaalkorko on 4 %, on diskontattu arvo 45,60 mk. Mutta jos reaalkorko onkin 10 %, on diskontattu arvo vain 14,90 mk.

Yllä kuvatussa esimerkissä käytettiin nykyarvomenetelmää. Investoinnin nykyarvo kertoo kuinka paljon investoinnista jää kaikkiaan nettotuottoja sen jälkeen, kun tuottojen summasta

on vähennetty investointikustannusten ja vuotuisen kustannusten summa. Ennen laskemista tuotot ja vuotuiset kustannukset diskontataan arviointihetkeen. Diskonttaustekijä lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$K_N = \sum [K_i * I/(1+r)^i]$$

jossa

$K_n$  = kustannuksen nykyarvo

$K_i$  = kustannus vuonna  $i$

$r$  = valittu korkokanta

$i$  = vuosi, jona kustannus toteutuu

Seuraavassa käydään lyhyesti läpi kolme muuta nykyarvomenetelmälle vaihtoehtoisia investointilaskentamenetelmää.

### Annuiteettimenetelmä

Investointivaihtoehdon annuiteetti kertoo, kuinka paljon investoinnista jää vuosittain nettotuottoja, kun vuosittaisista tuotoista on vähennetty vuosittaiset kustannukset ja investointikustannusten vuosiosuus eli annuiteetti. Tämä saadaan jaksoittamalla investointikustannukset tasan tarkastelujakson vuosille korkovaikutus huomioiden.

### Sisäisen koron menetelmä

Investointivaihtoehdon sisäinen korko kertoo sen korkokannan, jolla investointivaihtoehdon nykyarvo on nolla.

### Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuaika kertoo sen ajan, jonka kuluessa investointi maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuaika saadaan jakamalla investointikustannukset vuotuisilla nettotuotoilla. Takaisinmaksuaika voidaan laskea myös siten, että käytetään tarkasteluhetkeen diskontattuja nettotuottoja. Näin koron vaikutus otetaan huomioon.

Investointilaskelmat ovat olleet käytössä jo pitkään. Niitä on havainnollisesti esitetty esimerkiksi lähteissä [1], [2], [4], [5].

## 1.2 Luonnonvarojen käyttö ja ympäristökuormitus

Luonnonvarojen käytön tulee olla kestävää. Luonnonvaroilla tarkoitetaan luonnon tuotteita tai ilmiöitä, joita ihminen voi hyödyntää raaka-aineiksi, energianlähteiksi tai muilla tavoin. Luonnonvarat voidaan jakaa toisaalta ehtymättömiin, uusiutuviin ja uusiutumattomiin luonnonvaroihin. Myös luonnon kykyä ottaa vastaan ihmisen toiminnasta peräisin olevia ympäristölle haitallisia aineita voidaan pitää eräänlaisena luonnonvarana. Luonnonvarojen käyttö on kestävä, kun se on ekologisesti, taloudellisesti sekä sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävä. Luonnonvarojen käyttö on ekologisesti kestä-

vää, kun turvataan luonnon monimuotoisuus ja luonnon prosessin häiriintymättömyys.

Ihmisten toiminnan aiheuttamat ympäristökuormitukset eivät saa johtaa palautumattomiin haitallisiin ympäristövaikutuksiin.

Ympäristökuormituksella tarkoitetaan tiettyä ympäristöhaittaa aiheuttavien tekijöiden kokonaisuutena jossakin kohteessa. Ympäristökuormitusta laskettaessa voidaan arvioida erilaisten haitallisten tekijöiden määriä, kuten päästöjen ja jätteiden välityksellä ympäristöön leviävien aineiden, yhdisteiden ja materiaalien määrää tai esimerkiksi jonkin ympäristöä kuormittavan ihmisen toiminnan määrää. Ympäristöhaitalla puolestaan tarkoitetaan ympäristöön syntyvää tai syntynyttä epäedullista ominaisuutta, joka vaikeuttaa tai häiritsee siinä tapahtuvia tai tehtäviä toimintoja.

Ihminen aiheuttaa toimintoillaan ympäristövaikutuksia. Ne ovat joko hyödyllisiä, merkityksettömiä tai haitallisia. Ympäristövaikutuksilla tarkoitetaan jonkin tekijän tai joidenkin tekijöiden aiheuttamaa muutosta ympäristössä. Muutoksia aiheuttavat tekijät voivat olla niin yksittäisiä aineita kuin toimintoja tai ilmiöitä. Tuotteen tai toiminnan ympäristövaikutuksia arvioidaan elinkaariarviointimenetelyllä.

Yllä kuvatut ympäristökäsitteet ovat lähteen [12] mukaisia.

## 1.3 Rakennuksen elinkaaren vaiheet

Rakennuksen pitämisestä aiheutuu kustannuksia ja ympäristökuormitusta sen koko elinkaaren ajan.

Rakennuksen elinkaarella syntyy kustannuksia ja kuormitusta:

- rakentamisessa
- käyttövaiheessa (ylläpito, muutokset ja ajanmukaistaminen)
- purkamisessa.

Kustannukset on katettava vuokrilla, vastikkeilla ja muilla käyttökorvauksilla sekä rakennuksen tai sen osien myynnistä saatavilla tuotoilla.

Kiinteistöjen ylläpito muodostuu kiinteistönhoidosta ja kunnossapidosta. Kiinteistönhoito sisältää lämpöenergian, sähköenergian, siivoustoimen, isännöitsijätoimen, huoltomiestoimen, vesi- ja jäteveden, erikoislaitehuollon, jätehuollon sekä vakuutukset ja kiinteistöveron. Kunnossapito aiheutuu sykleittäin toistuvista kunnostus- tai uusimistomenpiteistä, joilla pidetään rakennus ja sen osat toimintakunnossa.

Rakennuksen käyttäjien vaatimukset saattavat muuttua jo rakennuksen elinkaaren alkuvaiheessa tai käyttäjä lähtee ja uusia tulee tilalle erilaisine vaatimuksineen. Käyttäjien tyytyväisyyttä parannetaan esimerkiksi muuttamalla huonejakoa, rakentamalla vesi- ja viemärikalus-

teita, muuttamalla tilan pintarakenteita kosteutta kestäviksi jne.

Rakennukset ovat aina rakentamisaikankohdansa tuotteita. Rakennukset on suunniteltu täyttämään tiettyjen toimintojen tai käyttäjärehyimien tarpeita, esimerkiksi asumiseen, hotellitoimintaan, teollisten tuotteiden valmistustoimintaan jne. Yritysten ja yksittäisten ihmisten odotukset ja arvotukset kuitenkin muuttuvat ajan myötä. Muutokseen vaikuttaa olosuhteiden muuttuminen, esimerkiksi muutokset taloudellisessa tilanteessa tai muutokset alueen rakenteissa. Kun omistaja ei saa kiinteistönpidosta enää tavoittelemaansa voittoa, tai kiinteistöä saatavat tuotot eivät enää kata edes kiinteistönpidosta aiheutuvia kuluja, on rakennus taloudellisesti vanhentunut. Kun rakennus on taloudellisen pitoaikansa lopussa, voi omistaja myydä kiinteistön, muuttaa oleellisesti rakennuksen ominaisuuksia peruskorjaamalla se ajanmukaiseksi, tai hän voi purkaa rakennuksen ja rakentaa tilalle uuden. Kiinteistön taloudellinen pitoaika määräytyy laskennallisesti, ei rakennuksen fyysisen kestoajan perusteella.

## 2 Ohjausmenettelyn kulku

Tutkimuksissa [8] ja [10] on kehitetty uusi käytännönläheinen menettelytapa ohjata talonrakennushankkeessa rakennettävien rakennusten elinkaarella syntyviä ympäristövaikutuksia ja kokonaiskustannuksia. Kehitetystä menettelystä hankkeen ohjauksen pääpaino on rakennushankkeen suunnitteluvaiheissa.

Hankesuunnitteluvaiheessa asetetaan ekologiset ja kokonaistaloudelliset tavoitteet. Luonnon- ja työpiirustusvaiheessa puolestaan valmistetaan tavoitteissa pysyminen. Sekä tavoitteen asettelussa että suunnitteluratkaisujen arvioimisessa tarkastellaan päätösten ja valintojen vaikutusta rakennuksen tulevaan elinkaaraan.

Tavoitteet asetetaan rakennuskustannuksille sekä käytönaikaiselle energian kulutukselle. Tavoite rakennuskustannuksille asetetaan tavoitehintamenettelyllä [3] ja käytönaikaiselle energian kulutukselle tavoitemenekkimenettelyllä [6]. Tavoitemenekkimenettely on uusittu asuinrakennusten osalta keväällä 2000 [7].

Rakennuskustannusten hyväksyttävyyttä tarkastetaan luonnon- ja työpiirustusvaiheissa määrittämällä hankkeelle suunnitelmien mukaiset rakennuskustannukset käyttäen rakennusosa-arviomenettelyä [3]. Luonnon- ja työpiirustusvaiheessa tarkastetaan myös, että suunnitelmien mukainen rakennus on ominaisuuksiltaan sellainen, ettei energian kulutuksen tavoitemenekki ylitä. Lähteessä [6] on esitetty menettely lämmitysenergian tarpeen tarkastamiseksi.

Miksi energian kulutuksen ohjaus on nostettu näin tärkeään asemaan?

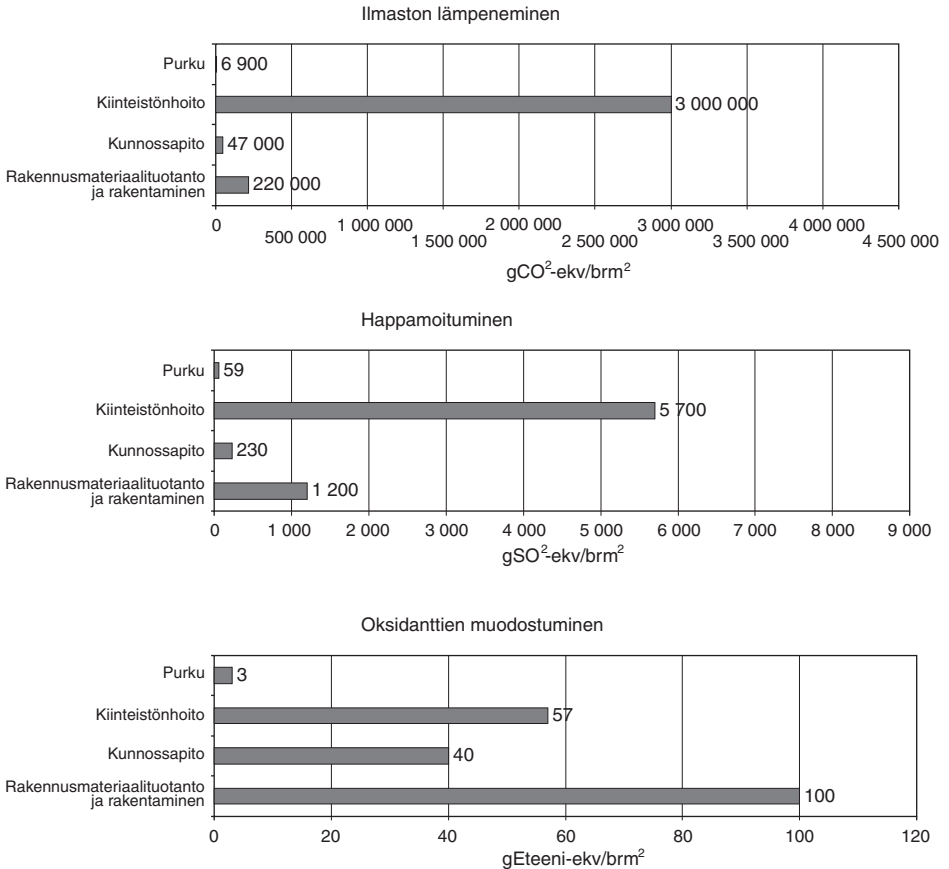
Vallitsevalla rakentamistavalla rakennettaessa rakennuksen elinkaarellaan aiheuttamista ilmastovaikutuksista tulee yli 90 % rakennuksen energian käytöstä (kuva 2.). Rakennusten lämmitykseen käytetty energia muodostaa merkittävän osan Suomessa käytetystä energiasta. Vuonna 1998 se oli Tilastokeskuksen mukaan 23 %.

## 3 Rakennuksen energian kulutuksen tavoitemenekkimenettely

Tavoite energian kulutukselle asetetaan tavoitemenekkimenettelyllä [6], [7]. Energiankulutuksen tavoitemenekkimenettely on viritetty siten, että sen antamien kulutuslukujen mukainen rakennus täyttää juuri ja juuri rakentamismääräykset vaipan k-arvojen sekä ilmanvaihdon ohjearvojen osalta. Samoin, jotta rakennuksen energiankulutus ei ylitä menettelyn antamia kulutuslukuja, on rakennuksen vaipan osien, erityisesti ulkoseinien, ikkunoiden ja ulko-ovien, suhteelliset määrät oltava kohtuullisia. Oleellista menetelmässä on, että sen kulutuslukujen taustalla olevan rakentamistavan ominaisuudet tunnetaan täsmällisesti. Jos rakentamismääräyksiä kiristetään rakennuksen energiankulutussominaisuuksien osalta, voidaan tavoitemenekkimenettely muuttaa vastaamaan täsmällisesti uusia vaatimuksia.

Nyt uusittu asuinrakennusten tavoitemenekkimenettely [7] on kolmiosainen. Ensimmäisessä osiossa määritetään hankkeelle tilaohjelman mukaiset energiankulutustavoitteet (kuva 3.). Tavoitemenekkimenettelyn toisessa osiossa korotetaan tai alennetaan tilaohjelman mukaisia tavoitteita rakentamispaikkaan liittyvien olosuhdetekijöiden mukaan, lähinnä kaavavaatimusten ja maantieteellisen sijainnin osalta (kuva 4.).

Ympäristön kannalta on suotavaa, että rakennuttaja tavoittelee alempaa lämmitysenergian kulutustasoa kuin mihin vallitsevan tavan mukaisella rakentamismääräykset juuri ja juuri ylittävällä rakentamisella päästään. Usein tällaisten tavoitteiden saavuttaminen edellyttää lisäinvestoimista rakenteisiin tai rakennuksen järjestelmiin kuten paksuimpiin ulkoseinärakenteisiin, lämmöntalteenoton rakentamiseen jne. Lisäinvestoinnit nostavat yleensä rakennuskustannuksia ja usein myös elinkaarikustannuksia. Tavoitemenekkimenettelyn kolmannessa osiossa alennetaan energiankulutustavoitetta energiansäästöön tähtäävillä investoinneilla aikaansaatavien vuotuisten säästöjen verran (kuva 5.).



Kuva 2. Asuinkerrostalon ympäristöseloste. Kohteen aiheuttama ilmaston lämpeneminen, happamoituminen sekä oksidanttien muodostuminen elinkaaren vaiheittain. Laskelmien tarkasteluajanjakso on 50 vuotta. Lähde: [9].

TAVOITEMENEKKILASKELMA – KÄYTÖNAIKAINEN ENERGIAN KULUTUS

ASUINRAKENNUKSET

Rakennushankkeen nimi ja osoite		Lämmitystarveluku (°C vrk)
Esimerkkihanke, Kerrostalokohde, 3 krs		4220
Laatija ja päiväys	Suunnitteluvaihe	Bruttoala, brm <sup>2</sup>
Arto Saari 10.4.2000	Hankesuunnittelu	2234

1 TILAHOJELMAN MUKAINEN ENERGIALASKELMA

Tilanimike	Pinta-ala m <sup>2</sup>	Luku- määrä kpl	Pinta-ala yhteensä m <sup>2</sup>	Mitoitusilmanvaihto		Normaali		Valaistus- teho W/m <sup>2</sup>	Lämmitys- energia kWh/m <sup>2</sup> /a	Sähkö- energia kWh/m <sup>2</sup> /a
				Tehostettu l/s	h/vk	l/s	h/vk			
<b>Asunnot (kokoluokka, asm<sup>2</sup>)</b>										
35 asm <sup>2</sup>	34	5	170,0	35	28	16	140	20	162	11
45 asm <sup>2</sup>	45	4	180,0	35	28	17	140	20	167	9
55 asm <sup>2</sup>	55	6	330,0	35	28	23	140	20	157	9
75 asm <sup>2</sup>	72,5	8	580,0	45	28	31	140	20	161	9
85 asm <sup>2</sup>	84	5	420,0	48	28	36	140	20	168	9
			0,0		28		140			
			0,0		28		140			
			0,0		28		140			
			0,0		28		140			
			0,0		28		140			
			0,0		28		140			
<b>Asunnot yhteensä</b>		<b>28</b>	<b>1680,0</b>							
<b>Yhteistilat</b>				<b>l/s/m<sup>2</sup></b>		<b>l/s/m<sup>2</sup></b>				
saunaosasto										
löylyhuone			10	2	35	2	133	5	337	24
pesuhuone			12	3	35	3	133	10	1225	43
pukuhuone			15	2	35	3	133	10	337	41
wc-tila, vaatimaton			4	10	35	0,38	133	10	421	89
eteinen			3	0,38	35	0,38	133	10	103	30
talopesula			15	1	45	1	123	10	419	95
kuivaushuone			20	2	45	2	123	10	337	50
irtaimistovarasto/VSS			45	0,38	168			10	103	21
ulkovälinevarasto			50	0,38	168			10	103	21
lastenvaunuvvarasto			60	0,38	168			10	103	21
rivitalon asuntovarasto			0	0,38	168			10	165	21
kerhotila			35	1	28	1	140	10	193	37
talovarasto			0	0,38	168			10	103	21
siivouskomero			6	0,38	28	0,38	140	20	129	44
<b>Yhteistilat yhteensä</b>			<b>275</b>							
<b>Liiketilat ja tekniset tilat</b>										
porrashuone, 5 m <sup>2</sup> /asunto, 2...6 kerrosta			0	0,38	168			15	103	41
kellarikäytävä, m <sup>2</sup> /tila			40	0,38	168			15	103	41
tekninentila, 2 % asuinlasta			0	0,38	168			15	103	34
<b>Liiketilat ja tekniset tilat yhteensä</b>			<b>40</b>							
<b>Yhteensä</b>			<b>1995</b>					<b>19</b>	<b>170</b>	<b>13</b>
<b>TILAHOJELMAN MUKAINEN ENERGIALASKELMA YHTEENSÄ (1)</b>								<b>kWh/s/a</b>	<b>338927</b>	<b>26156</b>
								<b>kWh/s/asm<sup>2</sup>/a</b>	<b>202</b>	<b>16</b>

Ilmanvaihdon tarkisteet

Mitoitus ilmanvaihto

1419 l/s

0,84 l/s/asm<sup>2</sup>

Toiminnallinen viikoittainen ilmanvaihto

1046 l/s

0,62 l/s/asm<sup>2</sup>

TKK Rakentamistalouden laboratorio/ Arto Saari

Kuva 3. Asuinrakennusten energiankulutuksen tavoitemenekkimenettely. Hankekohtaisen esimerkkilaskelman osio 1: tilaohjelman mukainen tavoitemenekki. Lähde:[7].

2

2 KOROTTAVAT TAI ALENTAVAT OLOSUHDETEKIJÄT

Kaavavaatimukset	k-arvo	tilaohjelman mukainen m <sup>2</sup> /brm <sup>2</sup>	(v.-95) kaavan mukainen m <sup>2</sup> /brm <sup>2</sup>	ero m <sup>2</sup> /brm <sup>2</sup>	kWh/brm <sup>2</sup> /a	Lämmitysenergia kWh/a	Sähköenergia kWh/a		
	W/m <sup>2</sup> /K								
Alapohja	0,22	0,330	0,330	0,000	0	0	8714		
ulkoseinä	0,28	0,600	0,600	0,000	0				
yläpohja	0,22	0,330	0,330	0,000	0				
ikkunat	1,75	0,090	0,090	0,000	0				
ulko-ovet	1,75	0,032	0,032	0,000	0				
hissi		kpl/brm <sup>2</sup>							
yhteensä	3000	0,000	0,0013	0,001	0				
Maantieteellinen sijainti					kerroin			kWh/a	
Lämmitystarvelukuun=		4220 °C vrk		0				0	
OLOSUHDETEKIJÄT YHTEENSÄ (2)					kWh/a			0	8714
					kWh/asm <sup>2</sup> /a	0	5		
YHTEENSÄ (1+2)					kWh/a	Lämmitysenergia 338927	Sähköenergia 8714		
					kWh/asm <sup>2</sup> /a	202	21		

TKK Rakentamistalouden laboratorio/ Arto Saari  
10.4.2000

Kuva 4. Asuinrakennusten energiankulutuksen tavoitemenekkimenettely. Hankekohtaisen esimerkkilaskelman osio 2: korottavat tai alentavat olosuhdetekijät. Lähde: [7].

3 ENERGIANSÄÄSTÖIMENPITEET

Toimenpiteet	kWh/a	kWh/a
Asetetaan tavoitteeksi 20% alempi lämmitysenergian kulutustaso kuin tavoitemenekkitaso	-67785	
yhteensä	-67785	0
Lämmitystarvelukuun=		kerroin
4220 °C vrk		0
ENERGIANSÄÄSTÖIMENPITEET YHTEENSÄ (3)		kWh/a
		-67785
ENERGIALASKELMAT YHTEENSÄ (1+2+3)		Lämmitysenergia 271142
		kWh/a
		161
		Sähköenergia 34870
		21

TKK Rakentamistalouden laboratorio/ Arto Saari 10.4.2000

Kuva 5. Asuinrakennusten energiankulutuksen tavoitemenekkimenettely. Hankekohtaisen esimerkkilaskelman osio 3: energiansäästöimenpiteet. Lähde: [7]

4 Ekologis-taloudelliset vertailut

Rakennuskustannusten ja rakennuksesta aiheutuvien ympäristökuormitusten välillä vallitsee riippuvuusia. Voidaan karkeasti todeta: mitä suurempi talo rakennetaan sitä suuremmat ovat rakennuskustannukset, ylläpitokustannukset sekä ympäristökuormitukset. Rakennussuunnitelman yleisratkaisun osalta rakennuskustannusten ohjaus huolehtii omalta osaltaan myös ylläpidon taloudellisuudesta sekä ympäristövaikutuksista. Mutta on myös sellaista suunnitteluratkaisujen aiheuttamaa vaihtelua ympäristökuormituksissa, josta rakennuskustannusten ohjaus ei huolehdi, esimerkiksi poistoilman lämmöntalteenotossa (LTO). Tällöin

hän rakennuskustannukset lisääntyvät, mutta lämmöntarve ja sitä kautta ympäristökuormitukset vähenevät.

Tutkimuksissa [8] ja [10] on kehitetty myös analyysimenetelmä, jolla voidaan analysoida edellä kuvattun LTO-esimerkin kaltaisia ekologis-taloudellisia valintatilanteita eli vertailla valittun rakennusosan ja järjestelmän vaihtoehtoisten suunnitteluratkaisujen ekologialoudellisuutta. Kehitetty menetelmä on luonteeltaan arvoanalyysi.

- Analyysin kulku on pääpiirteissään seuraava:
- rajataan tarkasteltava kohde
  - valitaan tarkasteluajanjakso
  - kuvataan vaihtoehtoiset ratkaisut
  - arvioidaan vaihtoehtojen elinkaarikustannukset ja ympäristökuormitukset

- arvotetaan kustannukset ja kuormitukset antamalla niille painokertoimet
- lasketaan vaihtoehdoille vertailuluvut, jotka kuvaavat vaihtoehtojen paremmuusjärjestyksen.

## 5 Esimerkkejä rakennusosaratkaisujen ekologistaloudellisista vertailuista

Seuraavassa esitetään kaksi esimerkkiä ekologisesti-taloudellisista vertailuanalyseistä [11].

### Esimerkki 1. Ulkoseinien ekologistaloudellisen vertailu

#### Tutkittavat rakennetyypivaihtoehdot

Tarkastelun kohteena ovat Helsingin Viikkiin suunniteltujen pienkerrostalojen ulkoseinät. Tutkitaan neljän ei-kantavan ulkoseinätyypin vaikutusta elinkaaritalousuuteen ja niiden ympäristövaikutukset. Vaihtoehdot A ja C edustavat vallitsevaa rakentamistapaa. Vaihtoehdot B ja D ovat lämmöneristävyydeltään parempia kuin Suomen Rakentamismääräyskokoelma vaatii.

Tutkittavat ulkoseinätyypit:

- Rapattu tiili, mineraalivilla 175 mm, puurunko,  $k = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Rapattu tiili, mineraalivilla 205 mm, teräsohutlevyrunko,  $k = 0,19 \text{ m}^2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Lautaverhous, mineraalivilla 175 mm, puurunko,  $k = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Lautaverhous, mineraalivilla 205 mm, teräsohutlevyrunko,  $k = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$

#### Elinkaaritoutta parantavien lisäinvestointien arviointi

Tarkasteluajanjaksoksi valitaan 50 vuotta ja pääomalle asetetaan 4 % reaalikorko. Rakennusta lämmitetään kaukolämmöllä, jonka polttoainejakauma vastaa Suomen kaukolämmöntuotannon keskimääräistä polttoainejakaumaa vuonna 1998. Lämmitysenergian hintana käytetään 0,165 mk/kWh. Rakentamisen ja kunnossapidon kustannukset määritettiin rakennusosarviomenetelmällä (Taku-1998, kustannukset esitetään tasossa heinäkuu 1999). Kunnossapitojaksoina käytetään lähteen [6] tietoja.

Kunnossapitotoimenpiteinä tehdään remontit 12, 25 ja 38 vuoden kuluttua rakentamisesta. Ensimmäinen (12 v) ja kolmas remontti (38 v) sisältää seuraavat toimenpiteet:

- lautaverhouksen maalaus
- rappauksen kunnostus.

Toinen remontti (25 v) sisältää seuraavat toimenpiteet:

- lautaverhouksen uusiminen
- rappauksen uusiminen.

VAIHTOEHTO A. rapattu tiili mineraalivilla 175 puurunko $k = 0,28 \text{ m}^2\text{K/W}$	kaksikerrosrappaus 8 mm kalkkikiekkatiili NKH muurauslaasti M 100/600 muuraussiteet, ruostumaton teräs 4 mm tuulensuoja 12 mm lämmöneristys 50 mm koolaus 50 x 50 mm k600 lämmöneristys 125 mm kantava runko 50 x 125 k600 höyrynsulku 0,2 mm rakennuslevy 13 mm
VAIHTOEHTO B. rapattu tiili mineraalivilla 205 teräsohutlevyrunko $k = 0,19 \text{ m}^2\text{K/W}$	kaksikerrosrappaus 8 mm kalkkikiekkatiili NKH muurauslaasti M 100/600 muuraussiteet, ruostumaton teräs 4 mm tuulensuoja 12 mm lisälämmöneristys 50 mm lämmöneristys 50 mm Teromoranka C175 k600 lämmöneristys 125 mm höyrynsulku 0,2 mm rakennuslevy 13 mm
VAIHTOEHTO C. Lautaverhous mineraalivilla 175 puurunko $k = 0,28 \text{ m}^2\text{K/W}$	ulkomaali ulkoverhouslauta koolaus 22 x 100 k600 tuulensuoja 12 mm lisälämmöneristys 50 mm lämmöneristys 50 mm kantavarunko 50 x 125 k600 lämmöneristys 125 mm höyrynsulku 0,2 mm rakennuslevy 13 mm
VAIHTOEHTO D. Lautaverhous mineraalivilla 205 teräsohutlevyrunko $k = 0,19 \text{ m}^2\text{K/W}$	ulkomaali ulkoverhouslauta koolaus 22 x 100 k600 tuulensuoja 12 mm lisälämmöneristys 50 mm lämmöneristys 50 mm Teromoranka C175 k600 lämmöneristys 125 mm höyrynsulku 0,2 mm rakennuslevy 13 mm

Kuva 6. Vertailtavien ulkoseinätyyppien tuoterakenteet. Lähde: [11].

Vaihtoehtojen elinkaarikustannukset vaihtoehtoinen on esitetty taulukossa 1.

Paremmen eristävyyden omaavat seinävaihtoehdot B ja D ovat rakennuskustannuksiltaan niin paljon kalliimpia, etteivät ne saavuta hoitokustannusten säästöistä huolimatta vaihtoehtoja A ja C 50 vuoden tarkasteluvälillä. Vaihtoehtojen A ja C välinen erotus aiheutuu A:n kalliimmasta julkisivuratkaisusta. Elinkaaritalouslaidellisesti edullisin ratkaisu on vaihtoehto C.



*Ympäristövaikutuksia vähentävien lisäinvestointien arviointi*

Määritetään seinätyyppien ekologis-taloudellinen arvojärjestys. Tässä arvoon vaikuttavat sekä elinkaarikustannukset ja ympäristövaikutukset. Molempien aleneminen parantaa arvoa.

Arvonanalyysi on suoritettu Kepner-Tregoe -tyyppisellä painotetulla pistearvomenetelmällä. Tässä vaihtoehtojen hyvytydet on normitettu pisteasteikolle 0-100 (100 = huonoin tulos).

Arvoon vaikuttavat tekijät ja niiden painot ovat:

- 1. Elinkaarikustannukset paino 50 %
- 2. Uusiutumattomien rakennusmateriaalien käyttö paino 5 %
- 3. Ilmaston lämpeneminen (CO<sub>2</sub>-ekv.) paino 25 %
- 4. Happamoituminen (SO<sub>2</sub>-ekv.) paino 10 %
- 5. Oksidanttien muodostuminen (eteeni-ekv.) paino 10 %

Tässä käytetyt painot ovat esimerkin luonteisia. Arvoanalyysin tulokset on esitetty taulukossa 2.

Analyyysin tulokset kertovat, että vaihtoehto D on tutkituista vaihtoehtoista ekologis-taloudellisesti paras. Samoin voidaan todeta, että sekä tiili- että lautavuoratussa ulkoseinävai-

toehdossa paksumman lämmöneristeen sisältävä ratkaisu on ekologis-taloudellisesti arvokkaampi kuin ohuemman eristeen omaavat ratkaisut. Siten kohteelle on perusteltua hyväksyä paksumpieroistusten ulkoseinien ja ohuempieroistusten seinien rakennuskustannusten erotuksen verran korkeampi budjetti. Kohteen asuinala on 5046 as-m<sup>2</sup> ja ei-kantavien seinien pinta-ala on yhteensä 2940 m<sup>2</sup>. Kohteen ei-kantavista ulkoseinistä suunnitelmien mukaan 83 % on rapattua ja 17 % lautaverhottua. Seinävaihtoehdon A rakennuskustannukset ovat 0,27 mk/us-m<sup>2</sup>/as-m<sup>2</sup>, B:n 0,30 mk/us-m<sup>2</sup>/as-m<sup>2</sup>, C:n 0,15 mk/us-m<sup>2</sup>/as-m<sup>2</sup>, ja D:n 0,18 mk/us-m<sup>2</sup>/as-m<sup>2</sup>. Siten rakennuskustannusten budjetti voi olla 88 mk/as-m<sup>2</sup> [2940 x [0,83 x (0,30-0,27) + 0,17 x (0,18-0,15)]] korkeampi, jos ei-kantaviksi ulkoseiniksi valitaan lämmöneristävyydeltään paremmat vaihtoehdot B ja D.

*Herkkyystarkastelu*

Jos elinkaarikustannuksia painotetaan 50 %:n sijaan 75 %:lla, saavuttaa elinkaarikustannuksiltaan edullisempi, mutta ympäristövaikutuksiltaan huonompi vaihtoehto C vaihtoehdon D (taulukko 3.).

Taulukko 1. Ulkoseinien elinkaarikustannusten nykyarvot (mk/us-m<sup>2</sup>). Lähde: [11].

Vaihtoehto	Rakennuskustannukset mk/us-m <sup>2</sup>	Kunnossapitokustannukset mk/us-m <sup>2</sup>	Hoitokustannukset mk/us-m <sup>2</sup>	Purkukustannukset mk/us-m <sup>2</sup>	Yhteensä mk/us-m <sup>2</sup>
A	1340	140	120	20	1620
B	1530	140	80	20	1770
C	740	180	120	15	1060
D	920	180	80	15	1200

Taulukko 2. Ulkoseinien ekologis-taloudellinen vertailu. Lähde: [11].

Vaihtoehto	Elinkaari-kust. mk/us-m <sup>2</sup>	Normittettu	Mater. uusiutum. kg/us-m <sup>2</sup>	Normittettu	CO <sub>2</sub> -ekv kg/us-m <sup>2</sup>	Normittettu	SO <sub>2</sub> -ekv kg/us-m <sup>2</sup>	Normittettu	Eteeni-ekv g/us-m <sup>2</sup>	Normittettu	Painotettu normitettu luku	Järjestys
Paino	50		5		25		10		10			
A	1620	92	257	97	763	100	1,5	100	28	100	96	4
B	1770	100	264	100	551	72	1,1	73	23	82	89	3
C	1050	59	16	6	717	94	1,4	93	28	100	73	2
D	1200	68	21	8	502	66	1	67	22	79	65	1

Taulukko 3. Herkkyystarkastelu. Elinkaarikustannusten painotus 75 %. Lähde: [11].

Vaihtoehto	Elinkaari-kust. mk/us-m <sup>2</sup>	Normittettu	Mater. uusiutum. kg/us-m <sup>2</sup>	Normittettu	CO <sub>2</sub> -ekv kg/us-m <sup>2</sup>	Normittettu	SO <sub>2</sub> -ekv kg/us-m <sup>2</sup>	Normittettu	Eteeni-ekv g/us-m <sup>2</sup>	Normittettu	Painotettu normitettu luku	Järjestys
Paino	75		3		12		5		5			
A	1620	92	257	97	763	100	1,5	100	28	100	94	4
B	1770	100	264	100	551	72	1,1	73	23	82	94	3
C	1050	59	16	6	717	94	1,4	93	28	100	66	1
D	1200	68	21	8	502	66	1	67	22	79	66	1

**Esimerkki 2. Kylpyhuoneen pintamateriaalien ekologis-taloudellinen vertailu**

*Tutkittavat rakennetyypivaihtoehdot*

Tarkastelun kohteena ovat Viikkiin suunniteltujen pienkerrostalojen kylpyhuoneiden lattioiden ja seinien pintamateriaalit. Tutkitaan kolmen eri ratkaisun vaikutusta elinkaaritalousuuteen ja niiden ympäristövaikutukset.

Tutkittavat vaihtoehdot ovat:

- A. Lattiassa on muovimatto ja seinissä muovitapetti
- B. Lattiassa on muovimatto ja seinissä keraaminen laatta
- C. Lattiassa ja seinissä on keraaminen laatta

*Elinkaaritaloutta parantavien lisäinvestointien arviointi*

Tarkasteluajanjaksoksi valittiin 50 vuotta ja pääomalle asetetaan 4 % reaalikorko. Rakentamisen ja kunnossapidon kustannukset määritettiin rakennusosa-arviomenettelyllä (Taku-1998,

kustannukset esitetään tasossa heinäkuu 1999). Kunnossapitojaksoina käytettiin lähteen [6] tietoja.

Kunnossapitotoimenpiteet ovat:

- muovimatto ja -tapetti uusitaan tarkasteluajanjakson aikana kolmesti
- keraamiset laatat uusitaan tarkasteluajanjakson aikana kerran.

Vaihtoehtojen elinkaaren kustannukset on esitetty taulukossa 4.

Elinkaaritaloudellisesti edullisin vaihtoehto on A (muovimatto/-tapetti), jonka rakennuskustannukset ovat huomattavasti muita vaihtoehtoja vähäisemmät.

*Ympäristövaikutuksia vähentävien lisäinvestointien arviointi*

Määritetään tutkittavien kylpyhuoneen pintamateriaalien ekologis-taloudellinen arvojärjestys. Menettelytapa on sama kuin esimerkissä 1. Arvoanalyysin tulokset on esitetty taulukossa 5.

Analyysin tulokset kertovat, että tutkituista vaihtoehdoista elinkaaritalousuuteen vaihtoehto A (muovimatto/-tapetti) on myös ekologis-taloudellisesti paras. Ympäristövaikutusten suurempi painotus ei muuta tilannetta vaihtoehtojen B ja C eduksi, sillä niissä uusiutumattomat materiaaliominaisuudet ovat lähes kymmenkertaiset vaihtoehtoon A verrattuna.

Analyysissä ei ole otettu huomioon pinnoitteista mahdollisesti aiheutuvia haitallisia emissioita huoneilmaan.

*Herkkyystarkastelu*

Tutkitaan laaditun analyysin herkkyyden muovimaton ja -tapetin uusimisjakson suhteen. Jotta vaihtoehtojen ekologis-taloudellisuuden järjes-

VAIHTOEHTO A.	homogeeninen muovimatto homogeeninen muovitapetti liima
VAIHTOEHTO B.	homogeeninen muovimatto keraaminen laatta kiinnitys- ja saumaustaasti liima
VAIHTOEHTO C.	keraaminen laatta kiinnitys- ja saumaustaasti vesieriste

Kuva 7. Tutkittavat kylpyhuoneen pintamateriaalit. Lähde: [11].

Taulukko 4. Pintamateriaalien elinkaarikustannusten nykyarvot (mk/KPH-m<sup>2</sup>). Lähde: [11].

Vaihtoehto	Rakennuskustannukset mk/kph-m <sup>2</sup>	Kunnossapitokustannukset mk/kph-m <sup>2</sup>	Hoitokustannukset mk/kph-m <sup>2</sup>	Purkukustannukset mk/kph-m <sup>2</sup>	Yhteensä mk/kph-m <sup>2</sup>
A	770	890	0	0	1650
B	1500	620	0	0	2150
C	1900	600	0	0	2500

Taulukko 5. Pintamateriaalien ekologis-taloudellinen vertailu. Lähde: [11].

Vaihtoehto	Elinkaari-kust.-m <sup>2</sup>	Normi-tettu	Mater. uusiutum. kg/us-m <sup>2</sup>	Normi-tettu	CO <sub>2</sub> -ekv kg/us-m <sup>2</sup>	Normi-tettu	SO <sub>2</sub> -ekv kg/us-m <sup>2</sup>	Normi-tettu	Eteeni-ekv g/us-m <sup>2</sup>	Normi-tettu	Painotettu Järjes-normitettu tys luku
Paino	50		5		25		10		10		
A	1660	66	42	14	110000	100	340	85	120	100	77 1
B	2130	85	265	85	95000	86	400	100	45	38	82 2
C	2500	100	310	100	77000	70	370	93	29	24	84 3

Taulukko 6. Herkkyystarkastelu: kunnossapitoimenpiteiden vaikutus kylpyhuoneen pintarakenteiden ekologis-taloudellisuuteen. Lähde: [11].

Vaihto- ehto	Elinkaari-Normi- kust. mk/us-m <sup>2</sup>	Normi- tettu	Mater. uusiuutum. kg/us-m <sup>2</sup>	Normi- tettu	CO <sub>2</sub> -ekv kg/us-m <sup>2</sup>	Normi- tettu	SO <sub>2</sub> -ekv kg/us-m <sup>2</sup>	Normi- tettu	Eteeni- ekv g/us-m <sup>2</sup>	Normi- tettu	Painotettu Järjes- normitettu tys luku	
Paino	50		5		25		10		10			
A	2000	80	53	17	140000	100	420	100	160	100	86	2
B	2200	88	270	87	100000	71	420	100	52	33	79	1
C	2500	100	310	100	77000	55	370	88	29	18	79	1

tys muuttuisi, pitää muovimatto ja -tapetti uusia neljä kertaa elinkaaren aikana laatoituksen kunnossapitoimenpiteiden pysyessä samana (taulukko 6).

Nyt muovimaton ja -tapetin ympäristövaikutukset ovat merkittävästi suuremmat kuin keraamisella laatalalla. Siten muovipinnoitteiden alhaisemmista elinkaarikustannuksista huolimatta vaihtoehdot B ja C tulevat ekologis-taloudellisesti paremmiksi kuin vaihtoehto A. Vaihtoehto B on elinkaarikustannuksiltaan C:tä taloudellisempi, kun taas vaihtoehto C on ympäristövaikutuksilla mitaten parempi kuin B.

## LÄHTEET

- [1] Aho, T., Investointilaskelmat, Vaasa 1982.
- [2] Etelälähti, P. Kangaspunta, M. & Wallin, J., Investointi- ja pääomakustannusten laskenta, Vap-kustannus, Valtiokonttori, Helsinki 1992.
- [3] Haahtela, Y. & Kiiras, J., Talonrakennuksen kustannustieto 1999, Rakennustieto Oy, Helsinki.
- [4] Honko, J., Investointien suunnittelu ja tarkkailu, 5. painos, WSOY, Porvoo 1979.
- [5] Hyartt, J, Saari, A., Rakennusosien ja järjestelmien elinkaaren kustannusten laskenta, Teknillinen korkeakoulu, Rakennetieteiden laitos, Rakentamistalous, Raportti 118, Otaniemi, 1993.
- [6] Kiinteistöjen ylläpidon kustannustieto 1992: Hoito- ja kunnossapitokustannukset sekä elinkaaren kustannuslaskelmat, Teknillinen korkeakoulu, Rakennetieteiden laitos, Rakentamistalous, Raportti 119, Otaniemi, 1993.
- [7] Saari, Arto, Asuinrakennusten energiankulutuksen tavoittemenekkimenettely 2000, Teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laboratorion raportteja, Espoo, luonnos 3.2.2000.
- [8] Saari, Arto, Elinkaarikustannusten ja ympäristökuormitusten ohjaus asuntotuotannossa: Menettelytapakuvaus, Teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laboratorion raportteja, Espoo, luonnos 3.2.2000.
- [9] Saari, Arto, Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet, Rakennustieto Oy, Helsinki, julkaistaan vuonna 2000.
- [10] Saari, Arto, Ympäristökuormitusten ohjaus talonrakennushankkeissa: Liike- ja palvelurakennukset, Teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laboratorion raportteja 188, Espoo 2000
- [11] Saari, Arto & Mäkelä, Jukka, Rakennusosien ja järjestelmien ekologis-taloudellinen vertailu, Teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laboratorion raportteja, Espoo, luonnos 7.2.2000.
- [12] Ympäristösanansto: Ympäristöalan keskeiset käsitteet ja termit, Tekniikan sanastokeskus, TSK 27, Gummerus, Helsinki, 1998.