Aalto University
School of Engineering

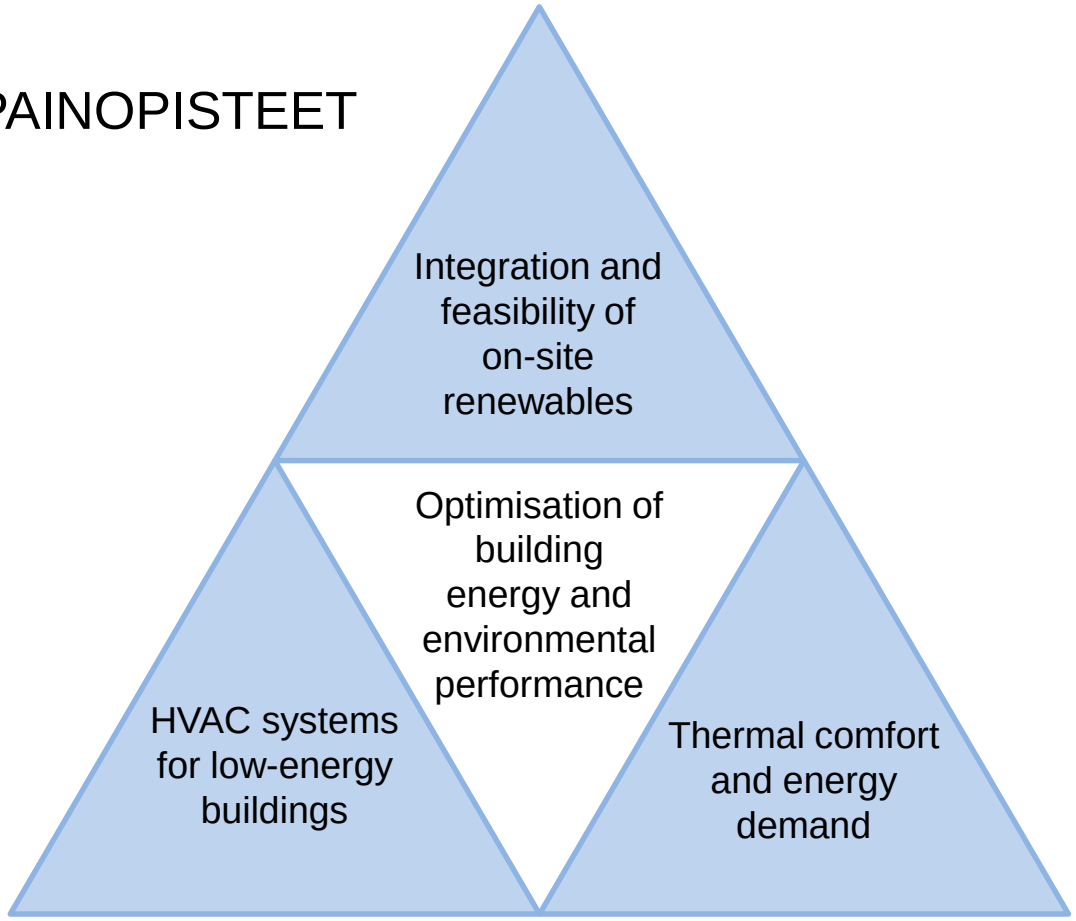
RAKENNUSTEN ENERGIANKÄYTÖN OPTIMOINTI

Kai Sirén
Aalto yliopisto

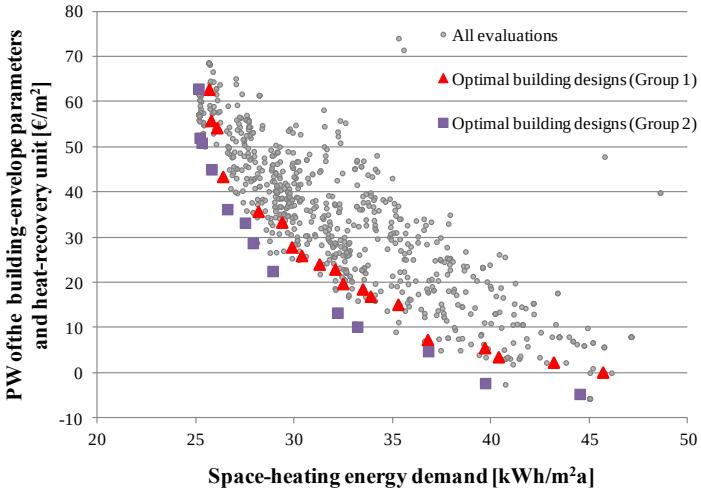
LVI-tekniikan tutkimusryhmä

Henkilökunta	2 Professoria 3 post-doc tutkijaa 1 vieraileva post-doc (Japan) 5 tohtoriopiskelijaa (full time) 7 tohtoriopiskelijaa (part time) 1-3 diplomityöntekijää 3 tekninen henkilökunta 1 hallintohenkilökunta
Laitteistot	Lämpönukke Nollaenergiatalo emulattori Ilmastointi koehuone (rakenteilla)

TUTKIMUKSEN PAINOPISTEET



TARVE OPTIMOINNIN KÄYTÖLLE

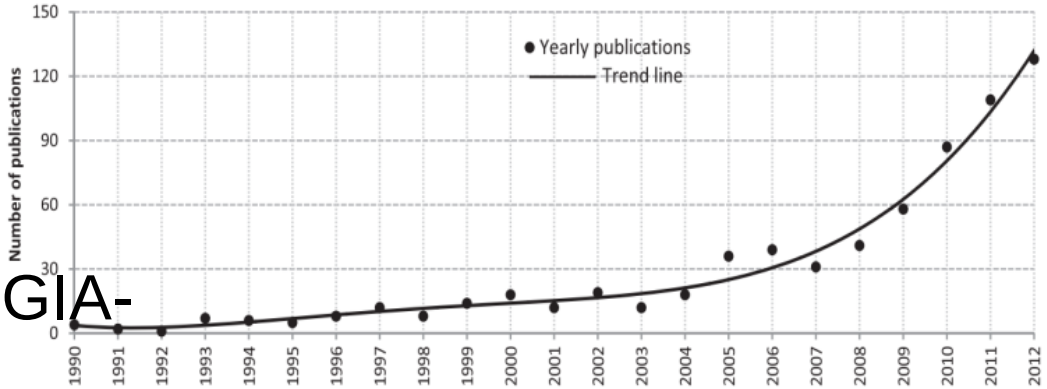


- Energiatehokkuuteen ja kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä on modernissa rakennuksessa suuri määrä (vaippa, talotekniikka-järjestelmät, muut energiajärjestelmät, ajotavat jne.)
- Tavanomainen muutamien vaihtoehtojen vertailu ei välttämättä löydä parhaita ratkaisuja
- Erilaisia vaihtoehtoja on helposti miljoonia tai miljardeja (solution space)
- Optimoinnilla seulotaan esille parhaat vaihtoehdot
- Tehokkaimmillaan suunnittelun alkuvaiheessa

ESIMERKKI PIENTALON OPTIMOINTIONGELMASTA

DESIGN VARIABLE	DESCRIPTION	OPTIONS
U-value of the external wall [W/m^2.K]	From 0.17 to 0.07	16
U-value of the ceiling [W/m^2.K]	From 0.09 to 0.07	8
U-value of the floor [W/m^2.K]	From 0.17 to 0.08	13
Building tightness levels [1/h]	2, 1, 0.5	3
Window type (all with Wood aluminium frame)	Triple Laminated glass (Air gas), Triple Laminated glass (Argon gas), or Quadruple Laminated (Argon gas)	3
Shading type	External blind, horizontal laths, Blind between the outer panes, horizontal laths, Blind between the inner panes, horizontal laths, or Internal blind, horizontal laths	4
Heat Recovery type	Cross-flow heat exchanger, Counter-flow heat exchanger, or Regenerative heat exchanger	3
Cooling options	No cooling, or Small cooling unit	2
Heating system	Direct electricity with electrical radiators (EH), Oil boiler with water radiators (OB), District heating with water radiators (DH), GSHP with floor heating (GSHP)	4
Solar thermal collector area	From 0 to 30 m^2	31
PV collector area	From 0 to 70 m^2	71

ss = 16x8x13x3x3x4x3x2x4x31x71 = 3 x 10^9



RAKENNUSTEN ENERGIA-OPTIMOINNIN PAIKALLINEN KEHITYSHISTORIA

- Ensimmäiset julkaisut (globaalisti) 1990 luvulta
- Algoritmien kehittäminen vauhdittaa sovelluksia (NSGA II)
- Ensimmäiset kokeilut TKKlla 2000-luvun alussa
- Optimointia kehitetään Tekes projektien tuella 2004-2007
- Ensimmäiset kongressijulkaisut TKK 2006
- Ensimmäiset journal julkaisut TKK 2007
- Energiaoptimointia opetetaan DI-tasolla vuodesta 2006
- Ensimmäinen sovellus diplomityössä 2010
- Ensimmäinen väitös energiaoptimoinnin alalta 2012
- Useita diplomitöitä ja tutkimusjulkaisuja 2012-2015

ESIMERKKEJÄ OPTIMOINNIN SOVELLUKSISTA

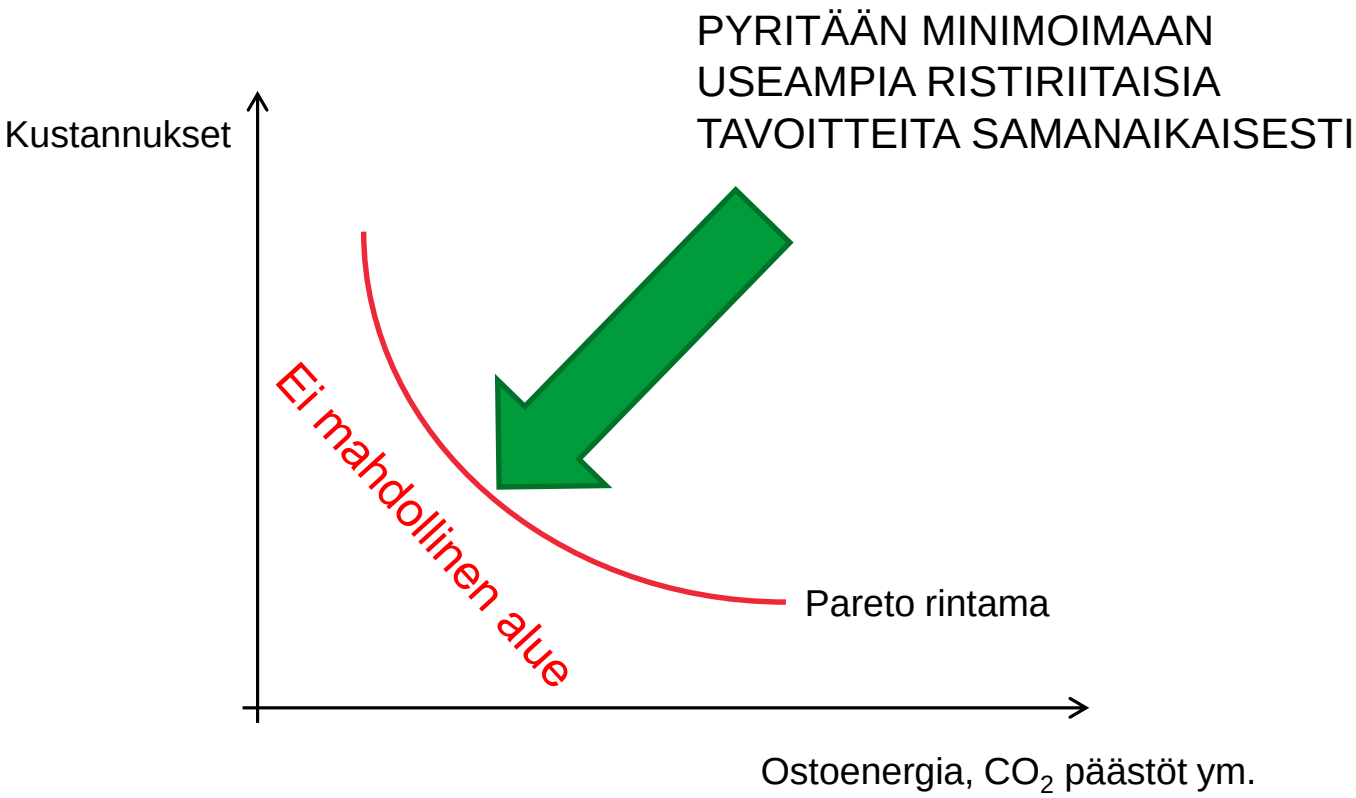
- BES- asuinkerrostalon linjasaneeraus sekä sen yhteydessä tehtävä energiakorjaus (D-työ Tomas Törnblom 2010 / Optiplan)
- LEED kohteen energiasimulointi ja –optimointi (D-työ Markku Salminen 2011 / Skanska)
- Combining simulation and optimisation for dimensioning optimal building envelopes and HVAC systems (Väitös M. Hamdy 2012 / Aalto)
- Palvelinkeskuksen jäähdytysjärjestelmän optimointi (D-työ Petteri Hajanti 2013 / Granlund)
- Energiantuotantojärjestelmien optimointi lähes nollaenergiakerrostalossa (D-työ Mikael Friskopf 2014 / Optiplan)
- Asuikerrostalon maalämpöjärjestelmän optimointi (D-työ Henri Oksanen / ISS-Proko 2015)
- Cost optimal renovation solutions in 1960s apartment buildings(D-työ Tuomo Niemelä /Granlund 2015)

MONITAVOITEOPTIMOINNIN TAVOITTEITA

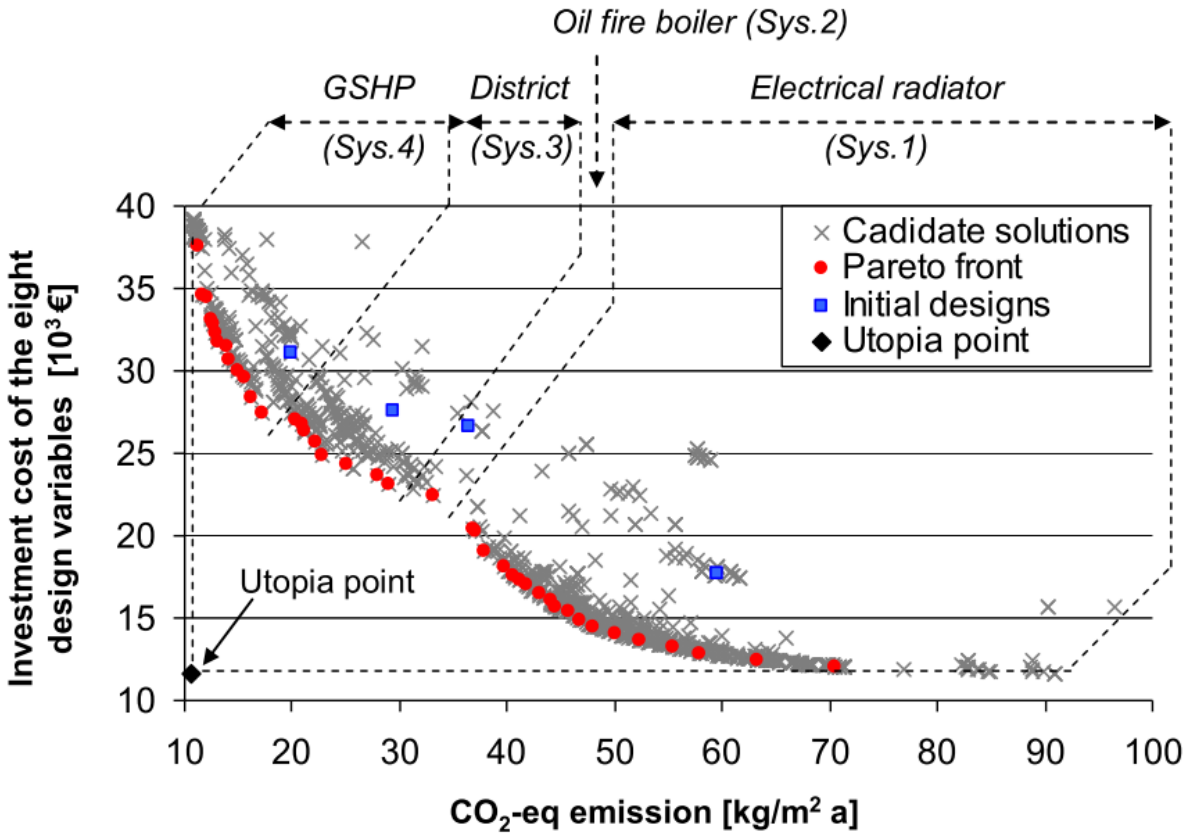
1) Suorituskyky
   - Ostoenergia
   - E-luku
   - Kokonaisenergia (ostoenergia + materiaalit)
   - CO2 päästöt
   - Sisäolosuhteet (lämpötila, PPD)

2) Kustannukset
   - Investointikustannukset
   - Elinkaarikustannukset
   - Tuotetun energian hinta (LCOE)
   - Investoinnin takaisinmaksuaika

MONITAVOITEOPTIMOINNIN PERIAATE



MONITAVOITEOPTIMOINNIN TULOS



CASE RENOVATION

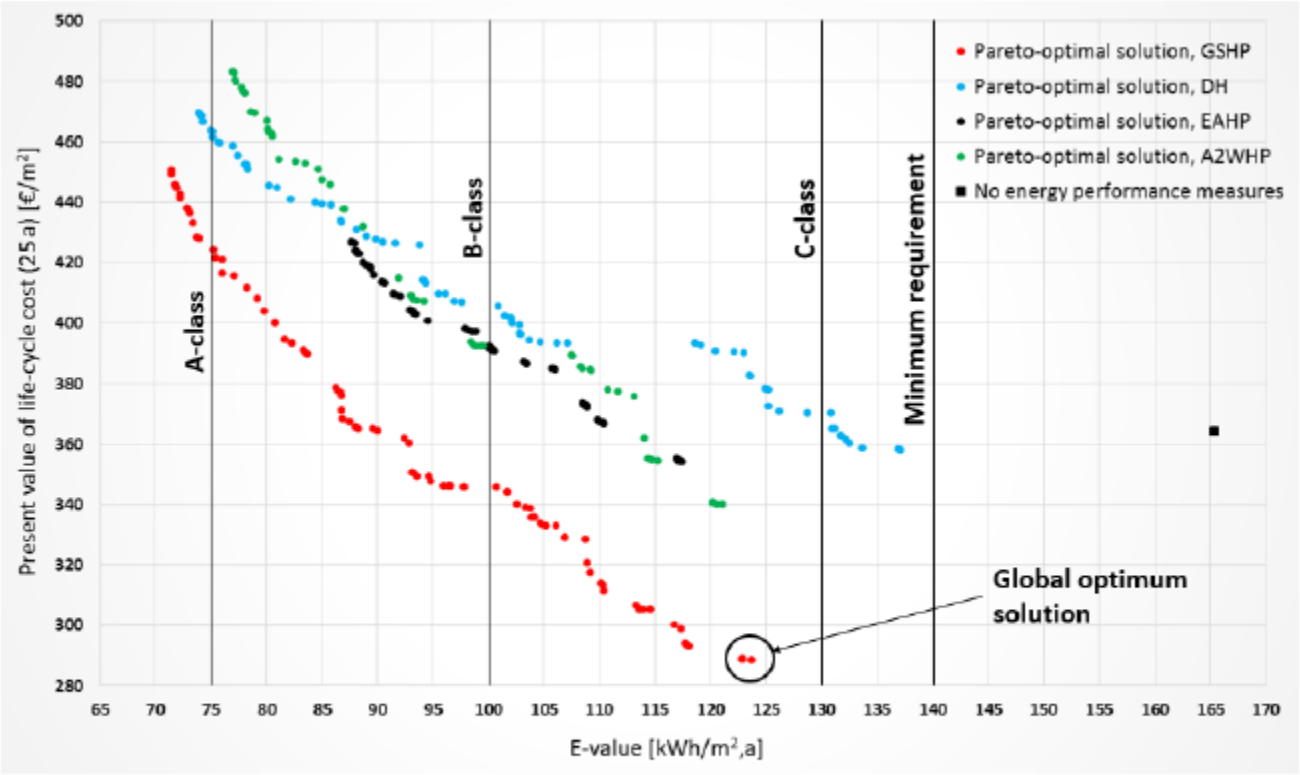


Figure 32. Pareto-optimal solutions in the 1960s apartment building, life-cycle cost presented.

CASE RENOVATION

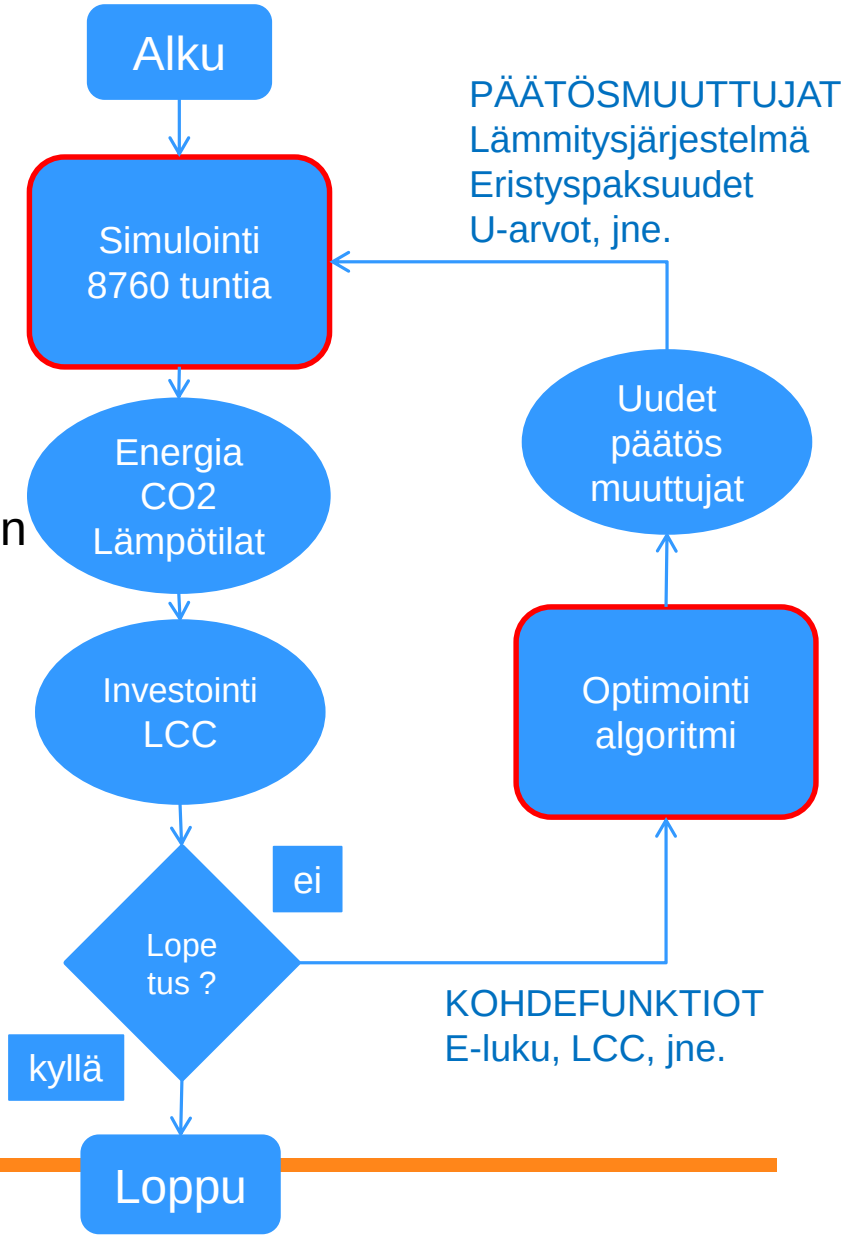
Table 31. Recommendable energy performance renovation measures in the 1960s apart ment buildings.

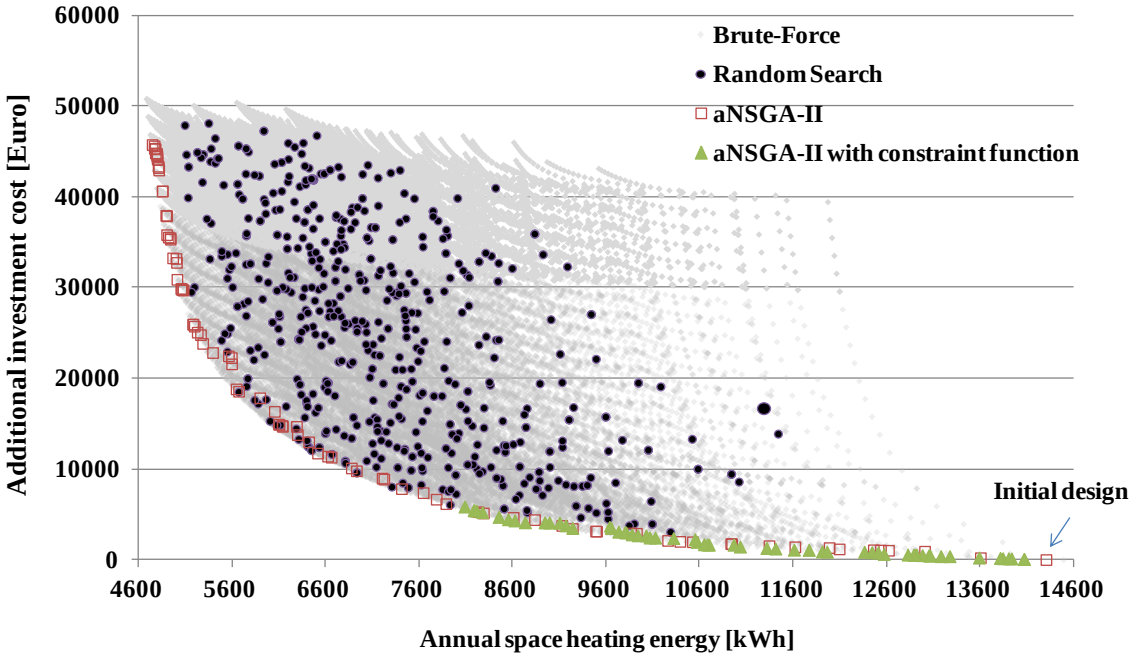
Energy performance target level, E-value [kWh/m²,a]	Main heating system	1	2	3	4	5	6	LCC [€/m²]	IC [€/m²]
140 (minimum requirement)	GSHP	94	170	0	250	2.5	No	289	150
130 (C-class)	GSHP	94	170	0	250	2.5	No	289	150
120	GSHP	130	160	0	400	2.5	No	294	161
110	GSHP	150	170	0	350	1.0	No	318	199
100 (B-class)	GSHP	70	160	0	150	2.5	Yes	346	251
90	GSHP	73	170	0	250	1.0	Yes	366	288
75 (A-class)	GSHP	70	170	150	350	1.0	Yes	428	383

1 = power output of the heat pump system, [kW]
2 = area of PV-panels, [m²]
3 = thickness of additional thermal insulation of external walls, [mm]
4 = thickness of additional thermal insulation of roof, [mm]
5 = window replacement, U-value, [W/m² K]
6 = renovation of ventilation system
LCC = present value of life-cycle cost, 25 years, [€/m²]
IC = investment cost, [€/m²]

MONITAVOITEOPTIMOINNIN LASKENTAYMPÄRISTÖ

- Optimointiin tarvitaan tyypillisesti joitakin satoja simulointeja
- Simulointi käyttää 90-99% ajoajasta
- Simulointimalli pyritään pitämään mahdollisimman yksinkertaisena





Multi Objective Building Optimisation tool

MOBO

http://ibpsa-nordic.org/tools.html