TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL

Euroopa Liit
Euroopa Sotsiaalfond

Eesti tuleviku heaks

Liginullenergiahoone ehitusmaksumuse kujunemine ja kontroll

Ergo Pikas; Martin Thalfeldt;
prof. Jarek Kurnitski; prof. Roode Liias

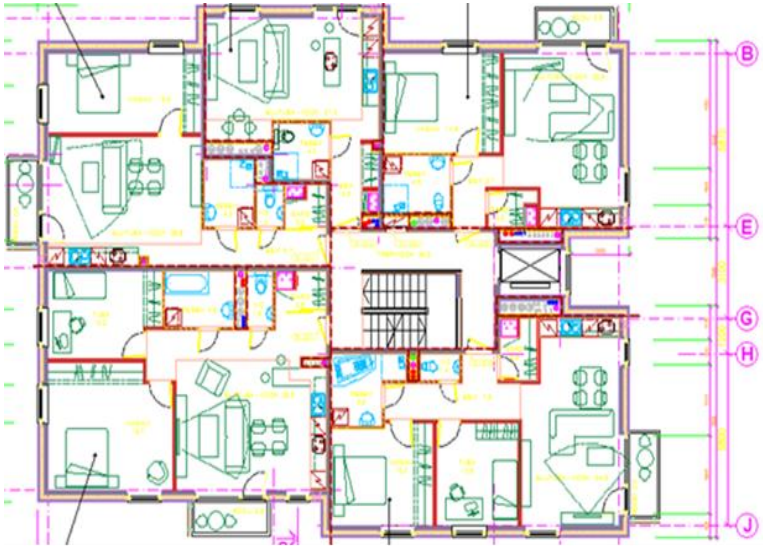
UURINGU KÜSIMUSED

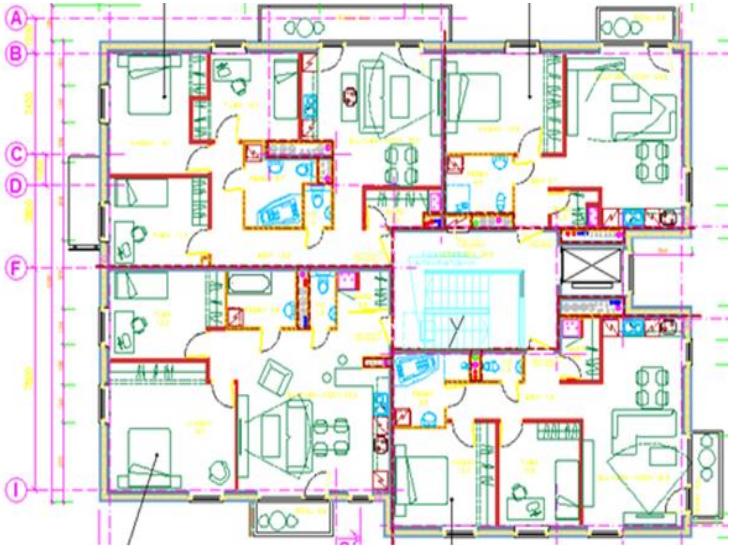
- Millised on sobivad tehnilised lahendused nZEB, madalenergiahoone, miinimumenergia ja kuluoptimaalse nõuete täitmiseks?
- Kuidas on muutunud kuluoptimaalne lahendus võrreldes 2010-l aastal tehtud uuringuga?
- Kui palju kallim on nZEB ja madalenergiahoone vastavatele nõuetele ehitamine?

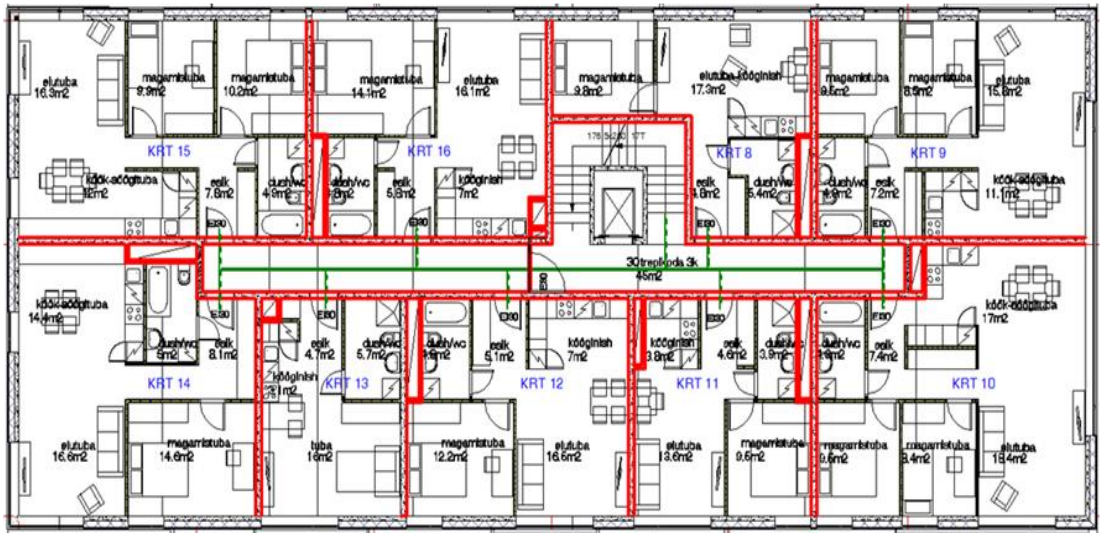
VALITUD PROJEKTID

Objekt		
	Hoone A	**Hoone B**
Köetav pind, m^2	2356	2935
Korruseid, -	8	7
Välispiirete pindala, m^2	2077	2598
Välisseina pindala, m^2	1614	973
Akende pindala, m^2	463	645
Akende osakaal välisseinast, %	22,3%	39,9%
$A_{välispiirded}/A_{köetav}$, -	1,80	0,89
Erisoojuskadu H/A, W/m^2	0,48	0,52
Energiatõhususarv, kWh/m^2	120	150
Energiatõhususklass, -	B	C

VALITUD PROJEKTID TÜÜPKORRUSE PLAANID







UURINGU METOODIKA

Uuring on jagatud viieks etapiks:

1. Olemasolevate lahenduste energiatõhususe simulatsioonid ja investeeringu arvutamine;
2. Üksikmeetmete energiatõhususe ja lisainvesteering arvutamine kWh energia säästmiseks (€/kWh);
3. Üksikmeetmete rakendamise järjekorra määratlemine vastavalt eelmises punktis arvutatud €/kWh-le;
4. Vastavate energiatõhususe tasemete arvutamine aritmeetiliselt;
5. Neljandas etapis valitud lahenduste kombinatsioonide simulatsioonid aritmeetiliste arvutuste valideerimiseks ja kuluoptimaalsete lahenduste arvutus kasutades nüüdisväärtuse meetodit (NPV) ehk ehitise elukaare kulude arvutamine.

1. etapp

EHITATUD LAHENDUSED

Hoone A

Piire	Lahendus	U-väärtus/ temp. suhtarve
Välissein	Paneelid 150 mm soojustusega	0,20
Katus	R/bõõnespaneelid ja keskmine soojustuse paksus 400 mm	0,10
Aknad	Kolmekordsed klaaspaketid 12 mm argoontäitega õhkvahed	1,00
Ventilatsioon	Korteripõhised agregaadid plaatsoojustagastiga.	88 %

Hoone B

Piire	Lahendus	U-väärtus/ temp. suhtarv
Välissein	R/bpaneelid ja 200 mm soojustust koos viimistlusega	0,18
Katus	R/bõõnespaneelid ja keskmine soojustuse paksus 350 mm	0,11
Aknad	Kahekordsed klaaspaketid 18 mm argoontäitega õhkvahed	1,10
Ventilatsioon	Korteripõhised agregaadid plaatsoojustagastiga.	88 %

VÄLISPIIRETE KIRJELDUS JA SOOJUSKAO ANALÜÜS – 60% LÄBI VÄLISSEINTE JA AKENDE

Structure	Building A				Building B			
	U-value, W/(m²K)	Area A, m²	Specific heat loss H, W/K	% of total	U-value, W/(m²K)	Area A, m²	Specific heat loss H, W/K	% of total
EW	0.20	1417.4	283.5	25.5	0.18	1069.9	190.7	12.4
Roof	0.10	315.2	31.5	2.8	0.11	509.5	54.5	3.5
EF above air	0.13	34.9	4.5	0.4	0.17	435.5	75.1	4.9
EF towards ground	4.77	366.1	1746.3[a]	-	0.34	75.3	25.8	1.7
IS b/w garage and 1st floor	0.30	259.3	77.8	7.0	-	-	-	-
Windows	0.83	481.3	399.5	35.9	1.1	695.4	764.9	49.6
Doors	1.8	11.9	21.4	1.9	1.8	1.9	3.4	0.2
Thermal bridges[b]	-	-	110.3	9.9	-	-	240.4	15.6
Infiltration[c]	-	-	182.9	16.5	-	-	188.2	12.2
Total/ weighted average	0.43	2602.1	1111.4	100	0.55	2787.5	1543.0	100

Abbreviations: EW – external wall, EF – external floor, IS – internal slab.

VALITUD ALTERNATIIVSED LAHENDUSED ARVUTUSTEKS – SEINAD JA KATUS

	d_{ins}, mm	Hoone A		Hoone B	
		U-value[a], W/(m²K)	Maksumus, €/m²	U-value[b], W/(m²K)	Maksumus, €/m²
Välissein	150	0.24	202.0	0.25	147.0
	180	0.20	204.6	0.22	150.0
	200	-	-	0.19	152.0
	210	0.18	207.3	0.18	153.0
	240	0.16	209.9	0.16	156.0
	270	0.14	212.6	0.14	158.9
	300	0.13	215.5	0.13	161.9
Katus	250	0.15	89.3	0.15	101.50
	300	0.13	92.0	0.13	104.00
	350	0.11	94.6	0.11	106.50
	400	0.10	97.3	0.10	109.00
	450	0.09	100.0	0.09	111.50
	500	0.08	102.7	0.08	114.00

VALITUD ALTERNATIIVSED LAHENDUSED ARVUTUSTEKS – AKNAD

	Hoone A	Hoone B
Akende pind, m^2	481.3	695.4
Klaasi ja raami suhe, %	30	20
Raami ühikhind kuni 3-kordsetele pakettidele, €/m	12.0	12.0
Raami ühikhind 4-kordsetele pakettidele, €/m	27.5	27.5

Glazing	Klaasi arv	U_{gl}, $W/(m^2 \cdot K)$	U_{tot}, R_{fr}=30%, $W/(m^2\ K)$	U_{tot}, R_{fr}=20%, $W/(m^2\ K)$	g-value, -	Õhkvahe, mm	Täite-gaas	Klaaspaketi hind, €/m^2	Akna ühimaksumus, €/m2	
									Building A	Building B
2x 18mm Ar	2	1.14	1.13	1.13	0.58	18	Ar	18.5	63.6	66.6
3x 12mm Ar	3	0.72	0.83	0.80	0.45	12	Ar	25.0	69.6	72.9
3x 18mm Ar	3	0.55	0.72	0.66	0.45	18	Ar	25.0	70.3	73.6
4x 12mm Ar	4	0.50	0.68	0.62	0.35	12	Ar	114.2	187.4	196.3
4x 12mm Kry	4	0.32	0.55	0.48	0.34	12	Kry	118.8	194.9	204.2

Lühendid: Ugl – glaasi U-väärtus, Utot – akna summaarne U-väärtus, Rfr – raami suhe, b/w – vahe, Ar – Argoon, Kry – Krüptoon.

Valitud alternatiivsed lahendused arvutusteks – Ventilatsioon ja päikesekollektorid

Ventilatsioon

- Plaatsoojustagastiga ventilatsiooniagregaat: 88% efektiivsus, SFP 1,5 kW/(m^3/s), heitõhu miinimumtemperatuur +5 °C ja maksumus 1300 € + KM
- Rootorsoojustagastiga ventilatsiooniagregaat 88% efektiivsus, SFP 1,5 kW/(m^3/s), heitõhu miinimumtemperatuur 0 °C ja maksumus 1200 € + KM

Päikesekollektorid

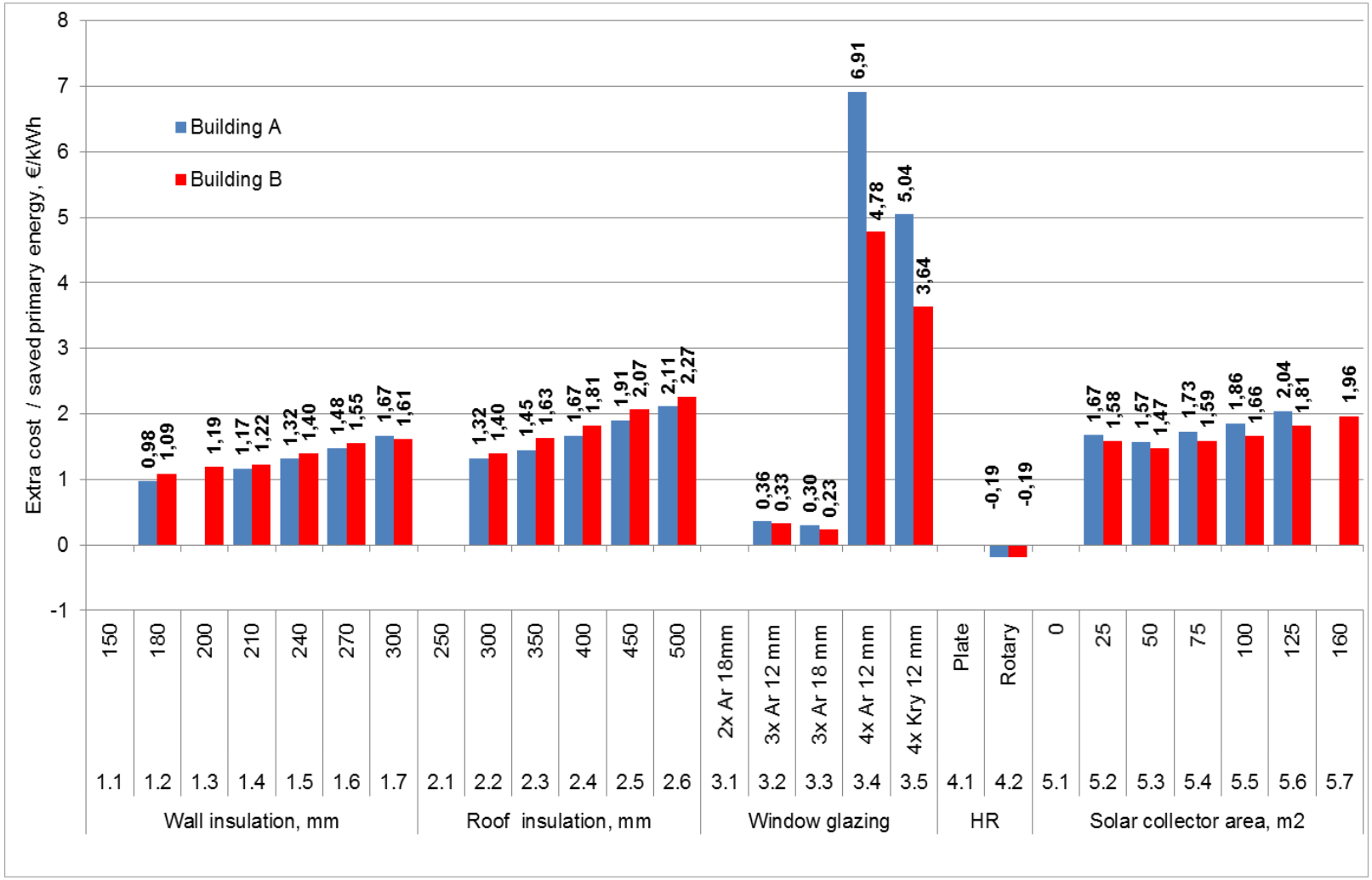
- Maksimaalne päikesekollektorite pind katusel: Hoone A 125 m^2 ja Hoone B 225 m^2;
- Päikesekollektorite andmed saime kohalikult tarnijalt;
- Analüüsiks kasutasime järgmiseid andmeid: paneeli suurus 2,51 m2 (laius 1,05 m ja pikkus 238 m); soojustagastuse tegur η_0=0,793; ja a_1 (first order heat loss coefficient) 3,95 W/(m^2 K) ja a_2 (second order heat loss coefficient) 0,0122 W/(m^2 K).

Valitud alternatiivsed lahendused arvutusteks – Ventilatsioon ja päikesekollektorid

Päikese-kollektori pind, m^2	Veemahuti, liitrid	Ühikhind, €/m^2
25	1000	772
50	1750	618
75	2500	603
100	3000	564
125	3500	552
160	4000	521

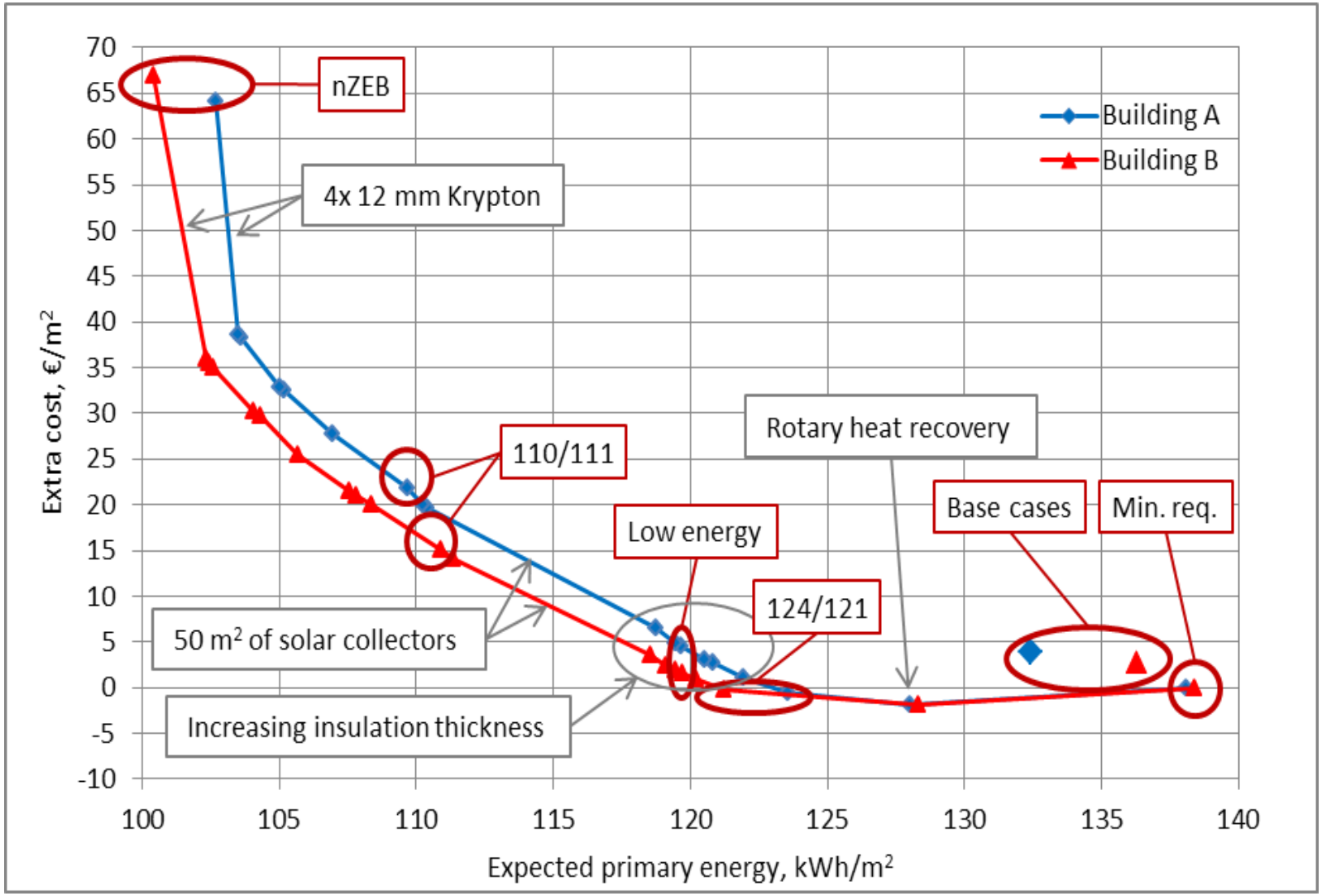
2. etapp

Ükiskmeetmete energisäästu ja lisainvesteeringu arvutus, €/kWh



3. Ja 4. etapp

Valitud kombinatsioonide primaarenergia ja lisainvesteeringu suhe



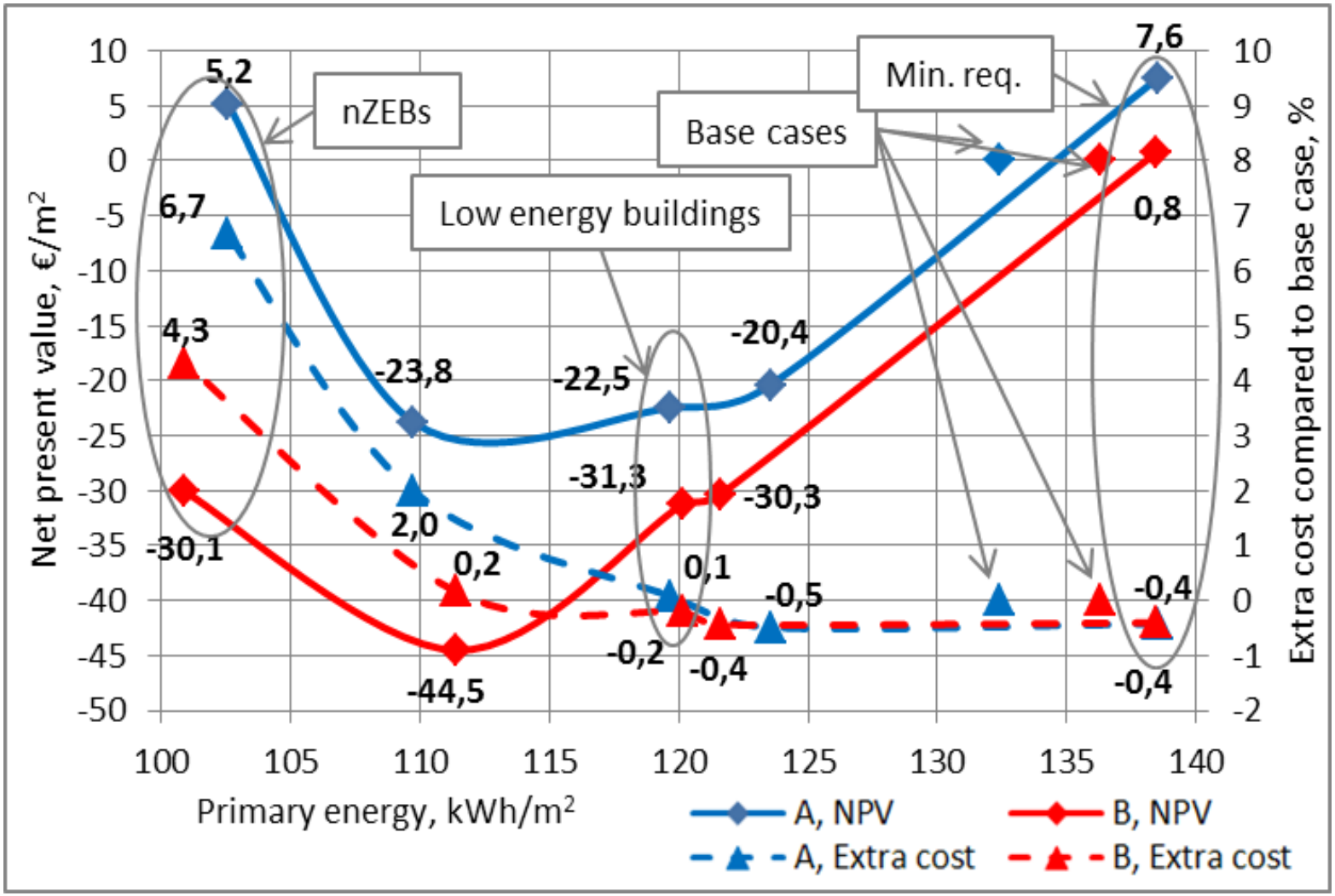
SIMULATSIOONIMUDELITE VALIK

	Juhtumid	EW, mm	R, mm	Klaasi tüüp	HR tüüp	SC pind, m^2	Eeldatav PE, kWh/m^2
Hoone A	Min. nõuded (150)	150	250	2x Ar 18mm	Plate	0	138.1
	124 kWh/m^2	150	250	3x Ar 18 mm	Rotary	0	123.5
	Madal (120)	240	300	3x Ar 18 mm	Rotary	0	119.7
	110 kWh/m^2	300	400	3x Ar 18 mm	Rotary	50	109.7
	nZEB[a] (100)	300	500	4x Kry 12 mm	Rotary	125	102.7
Hoone B	Min. nõuded (150)	150	250	2x Ar 18mm	Plate	0	138.4
	121 kWh/m^2	150	250	3x Ar 18 mm	Rotary	0	121.2
	Madal (120)	200	250	3x Ar 18 mm	Rotary	0	119.7
	111 kWh/m^2	270	300	3x Ar 18 mm	Rotary	50	110.9
	nZEB[a] (100)	300	500	4x Kry 12 mm	Rotary	160	100.4

Lühendid: EW – välisseina soojustus, R – katuse soojustus, HR – soojustagasti, SC – päikesekollektor, PE – primaarenergia.

5. etapp

KULUOPTIMAALSE LAHENDUSE VALIK



Diskussioon

- Miinimumnõudeid täidetakse suhteliselt lihtsalt, antud juhtudel 8% marginaaliga.

- Eluhoonete energiatõhsuse kuluoptimaalsete lahenduste võrdluses lähtutatkse EL arvutamise metoodikast (30 aastat) ning selle põhjal on kuluoptimaalne lahendus ligikaudu 110 kWh/m^2

- Kuluoptimaalne lahendus võrreldes 2010 aastaga (145 kWh/m^2) on vähenenud 30 ühikut. Seega nZEB ja kuluoptimaalse vahe on vähenenud märgatavalt.

Diskussioon

- Üksikmeetmete kombineerimine ja energiatõhususarvu arvutamine aritmeetiliselt on suhteliselt täpne meetod.

- Sama investeeringuga oleks olnud võimalik saavutada oluliselt paremat energiatõhususe arvu (ligikaudu 120 kWh/m^2) või võrdväärse energiataseme oleks olnud võimalik saavutada kuni 15 000 € odavamalt.

SAMA RAHAGA!!!

Hoone A ≈ 120,5 kWh/m² :

- Välisseinad – soojustus 210 mm;
- Katus – keskmine soojustuse paksus 300 mm;
- Aknad – kolmekordsed klaaspaketid 18 mm argoontäitega õhkvahed;
- Ventilatsioon – korteripõhised agregaadid rootorsoojustagastiga;
- Päikesekollektorid: ei paigaldata

Hoone B ≈ 119,1 kWh/m² :

- Välisseinad – soojustus 210 mm;
- Katus – keskmine soojustuse paksus 300mm;
- Aknad – kolmekordsed klaaspaketid 18 mm argoontäitega õhkvahed;
- Ventilatsioon – korteripõhised agregaadid rootorsoojustagastiga;
- Päikesekollektorid: ei paigaldata

Diskussioon

- Rakendades kõiki üksikmeetmeid, ei võimaldanud meil ikka saavutada nZEB (100 kWh/m^2) taset (Hoone A puhul ületas energiatõhususarv 2,6 ühikut ja Hoone B puhul 1 ühik.

- Lisakulu antud tasemete saavutamiseks miinimumprogrammist oli 65 €/m^2

- Võimalikud meetmed nZEB saavutamiseks:
  - Infiltratsiooni taseme vähendamine 3 m^3/(h m^2) 1.5 m^3/(h m^2) (nõuab kõrgemat ehituskvaliteeti, seega lisakulu)
  - Hoone geomeetria ja akende mõistlikum kasutamine (arhitektide väike huvi ja teadmised)
  - Lokaalsed energiatootmised (piiratud tingimused)
  - Paremad materjalid ja tehnoloogiad (kallim investeering)

Tänan kuulamast!

“I believe that renovation of buildings to high energy performance standards could be one of the most cost effective investments a nation can make, given the benefits in terstimulusms of job creation, quality of life, economic, climate change mitigation and energy security that such investments deliver”. Oliver Rapf, Executive Director, BPIE (Staniaszek 2013).

REFERENTSID

- Liginullenergiamajade REHVA ajakirja artikli link:

http://www.rehva.eu/fileadmin/REHVA_Journal/REHVA_Journal_2014/RJ_issue_2/P.19/19-24_Windows_RJ1402_WEB.pdf