

Liginullenergia hoonete oskusteave ja põhialused

Kalle Kuusk
26.04.2018



Kuidas projekteerida ja ehitada liginullenergia hoonet?

23. märts 2015 13:43

Kas oleme liginullenergiahooneuks valmis?

12. veebruar 2018 09:54

03.07.2016, 08:40

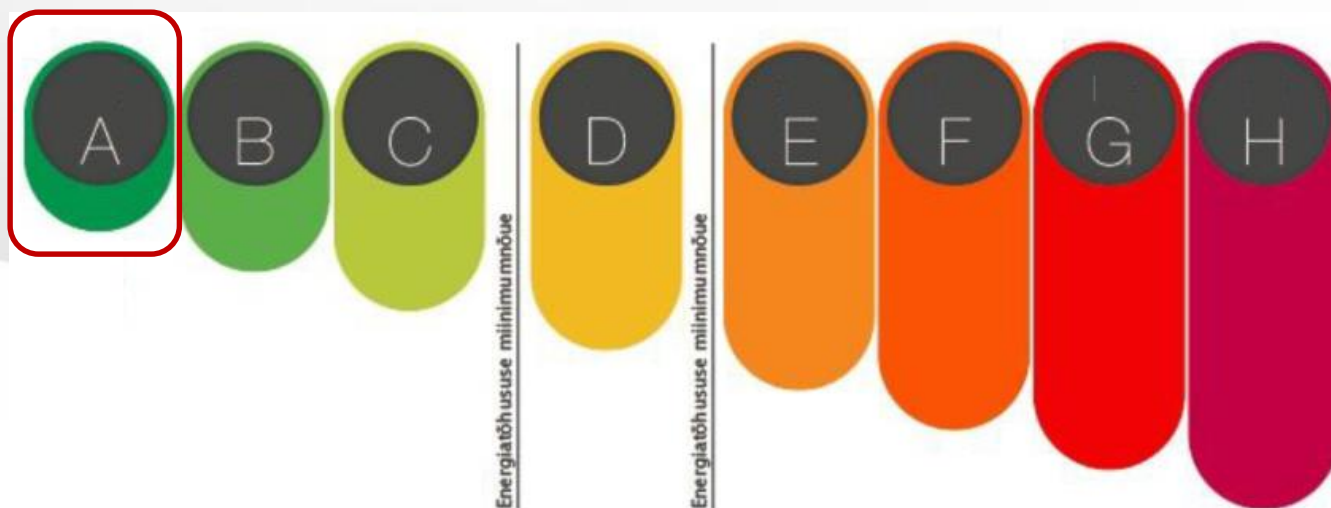
Kõik uued majad peavad varsti olema liginullenergiahooned. Mis need ikkagi on?

MAJAEHITAJAD ON LIGINULLENEIGIA TULEKUKS VALMIS.
KLIENDILE LIIGA KALLIS

Ehitamine läheb kallimaks: liginullenergiamajad tulevad vältimatult

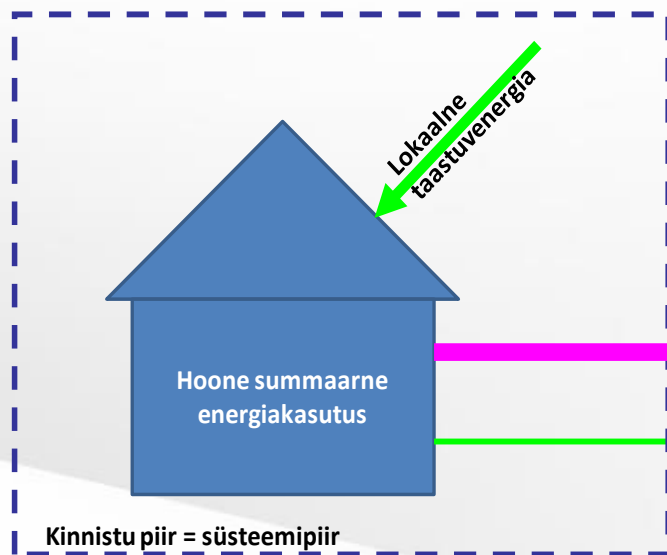
Liginullenergiahoone

Parima võimaliku ehituspraktika kohaselt **energiatõhusus- ja taastuenergiatehnoloogiate** lahendustega **tehniliselt mõistlikult** ehitatud hoone.



- Energiatõhususe miinimumnõuded, 1 juuli 2009
- Energiatõhususe miinimumnõuded, 9 jaanuar 2013
- Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika, 9 jaanuar 2013

Energiatõhususe põhimõisted



$$ETA = \frac{\sum_i (\text{tarnitud}_i - \text{eksporditud}_i) \times \text{energiakanalite kaalumistegur}_i}{\text{kõetav pind}}$$

	Kaalumistegurid	Eriheitmed, tCO ₂ /MWh
Fossiilkütused	1,0	0,202 (maagaas)
Kaugküte	0,75 / 0,9	0,04 / 0,20
Taastuvkütused	0,75	0
Elekter	2,0	1,15

Materjalide CO₂

Büroohoone (~20 000 m²) arhitektuurivõistlus Soomes

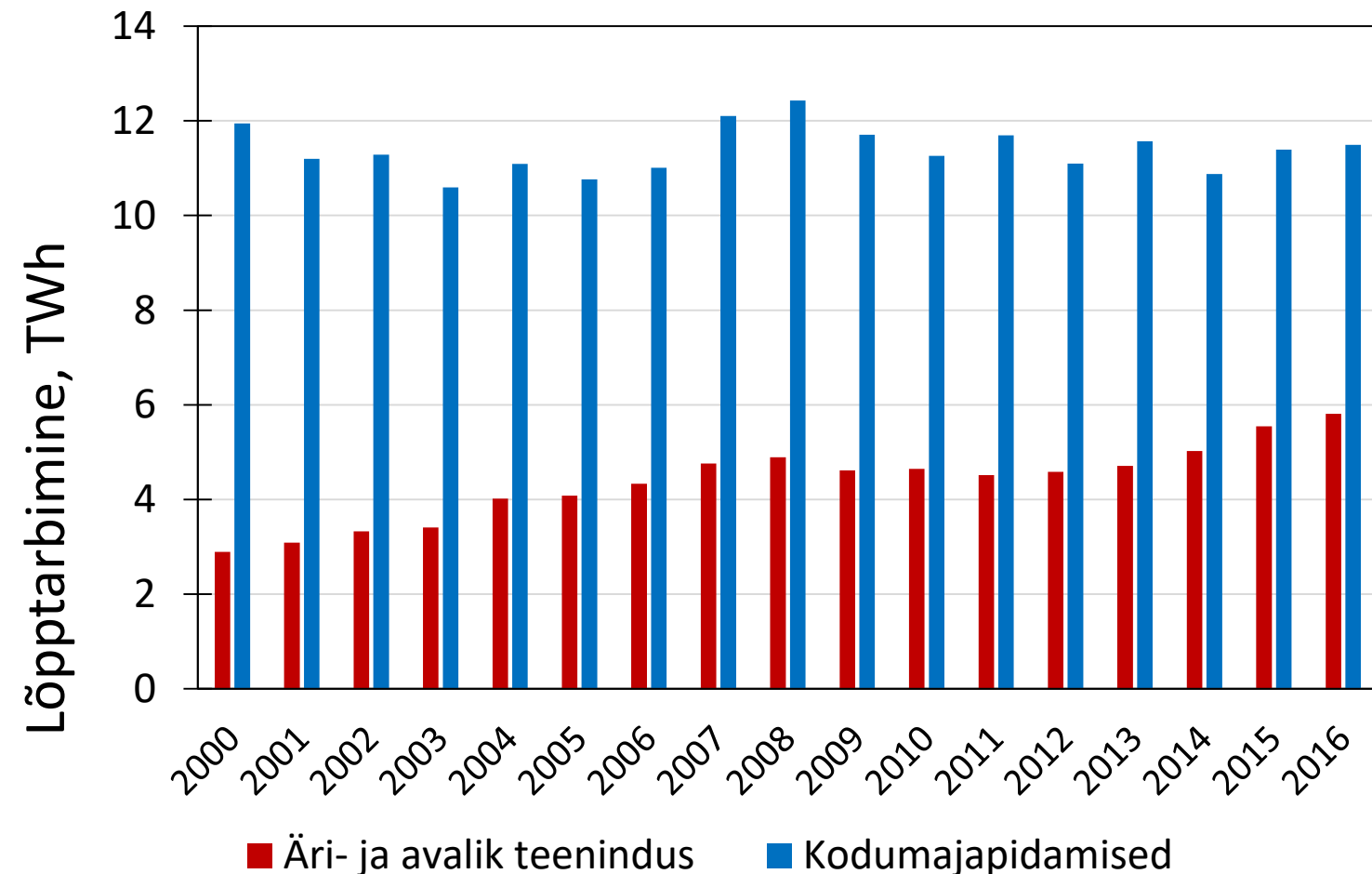


Konkursi töö	1	2	3	4	5	6
Materjalide eriheitmed, tCO ₂	-470	147	1600	3269	481	4013
30 aasta energiatarbimise eriheitmed, tCO ₂	7589	7146	6904	7726	6005	6102
30 aasta eriheitmed kokku, tCO ₂	7119	7293	8504	10995	6486	10115

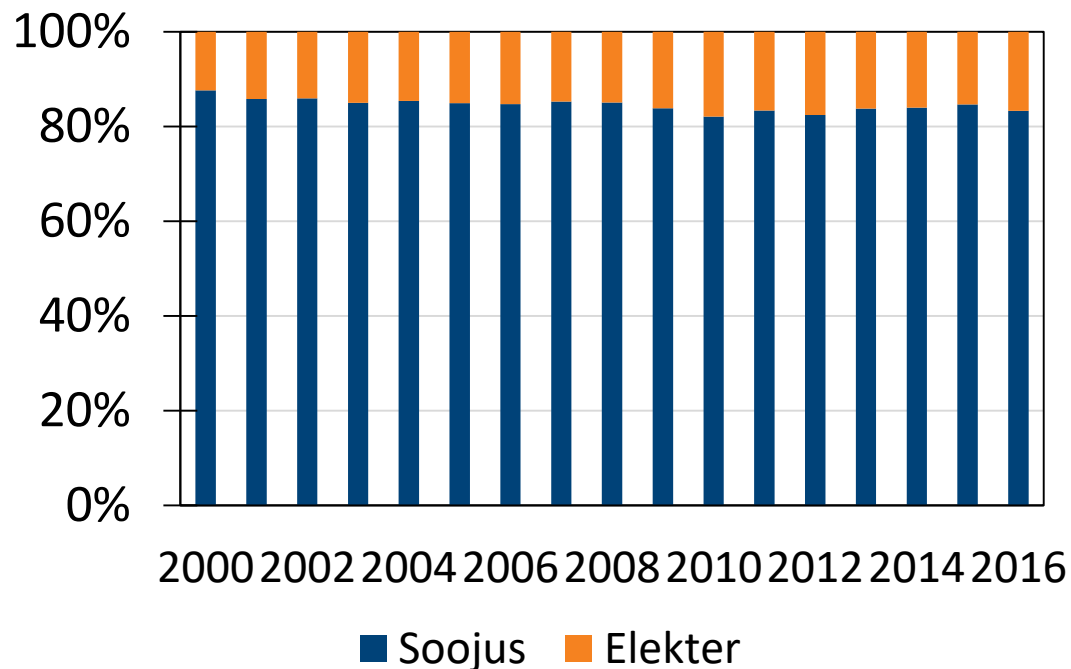
Materjalide eriheitmete osakaal: 2-40%

Energia lõpptarbimine 2000-2016

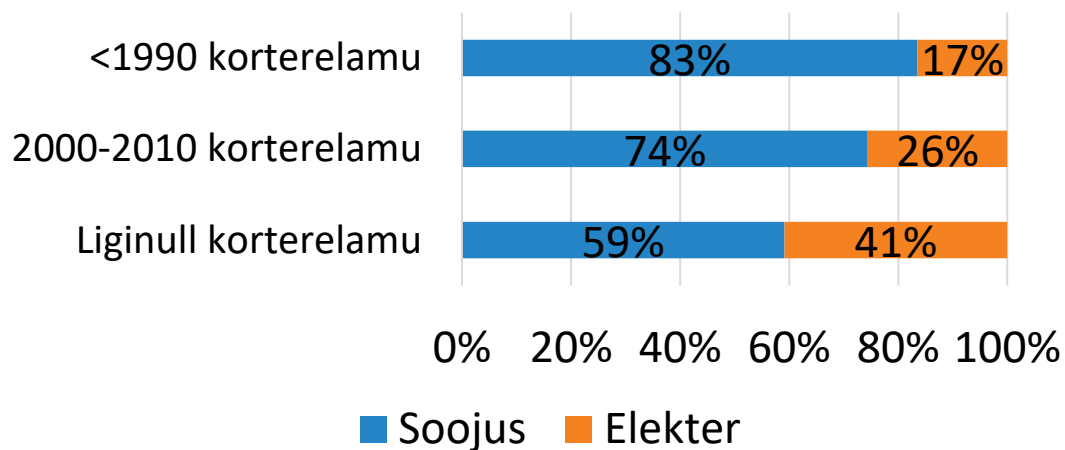
- Kodumajapidamiste lõpptarbimine suhteliselt stabiilne 11...12 TWh/a
- Äri- ja avaliku teeninduse lõpptarbimine 2x tõusnud (3→6 TWh/a)



Energia lõpptarbimine: kodumajapidamised



- Soojusenergia osakaal üle 80%
- Elektri osakaal vaikselt tõusmas



Liginullenergia eluhooned

Projekti osapooled

- Sihtasutus KredEx
- Majandus-ja Kommunikatsiooniministeerium
- Tallinna Tehnikaülikool
- Hevac OÜ
- AS YIT Ehitus
- KAMP arhitektid OÜ
- AS MERKO Ehitus Eesti
- Arhitektuuribüroo JVR OÜ
- Timbeco Woodhouse OÜ
- QP Arhitektid OÜ
- AS Matek
- Energiamaja OÜ



MAJANDUS- JA
KOMMUNIKATSIOONI-
MINISTEERIUM



Eluhooned - mis muutub?

Välispiirded:

- Välissein $U \approx 0,12 \dots 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ / $U \approx 0,14 \dots 0,17 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Aken $U \approx 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ / $U \approx 1,1 \dots 1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Katuslagi $U \approx 0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ / $U \approx 0,1 \dots 0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Põrand $U \approx 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ / $U \approx 0,2 \dots 0,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Õhulekkearv $\leq 1,5 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ / $1,2 \dots 3,8 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$

Tehnosüsteemid:

- Ventilatsiooni erivõimsus $\text{SFP} \approx 1,5 \dots 1,8 \text{ kW/(m}^3\text{s)}$
- Soojustagastus (temperatuuri suhtarv) $\geq 80\%$
- Efektiivne valgustus
- Päikesepaneelid (PV)

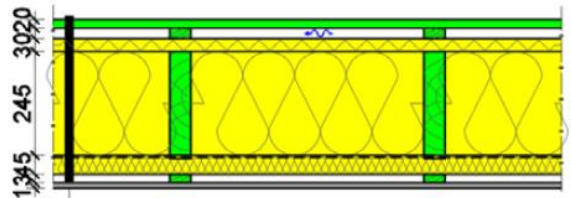
Arhitektuur:

- Mõistlik kompaktsus
- Aknad ja varjestused



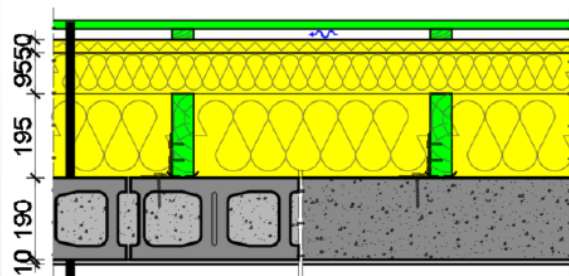
Tarindite lahendus - eluhooned

- Välissein $\approx 250 \dots 300$ mm soojustust



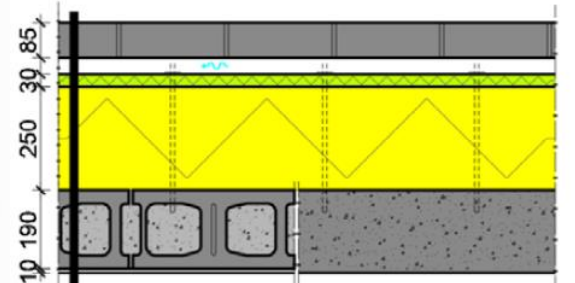
Voodrilaud peensaetud	20mm
Tuulutuslatt 20x45	20mm
Tuuletõkkeplaat min.vill ($\lambda \leq 0,032 \text{ W/(mK)}$) (teibitud liited)	30mm
Karkass 245x45 s. $\geq 400\text{mm}$ + min.vill ($\lambda \leq 0,034\text{-}35\text{W/(mK)}$)	245mm
Öhu- ja aurutõkkekile (liide kvaliteetteibitud)	0,2mm
Karkass 45x45 s. $\geq 600\text{mm}$ + min.vill ($\lambda \leq 0,034\text{-}35\text{W/(mK)}$)	45mm
Installatsioonilatt 20x45mm	20mm
Kipsplaat	13mm

$$U_c = 0,147 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)};$$



Fassaadiplaat / laudvooder	20mm
Tuulutuslatt 20x45	20mm
Tuuletõkkeplaat ISOVER RKL-31 FACADE	50mm
Puitroovid 95x45 s. $\leq 600\text{mm}$ + min.vill ($\lambda \leq 0,037\text{-}40$; $0,034\text{-}45\text{W/(mK)}$)	95mm
Puitpostid 195x45 s. $\leq 600\text{mm}$ + min.vill ($\lambda \leq 0,037\text{-}40$; $0,034\text{-}45\text{W/(mK)}$)	195mm
Betoonsein või täisbetoneeritud ja krohvitud väikeplokid	200mm

$$U_c = 0,138 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)};$$



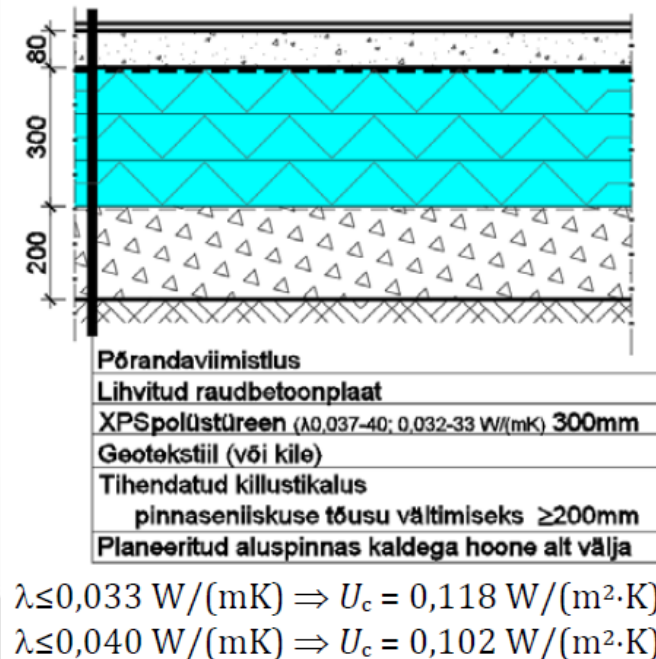
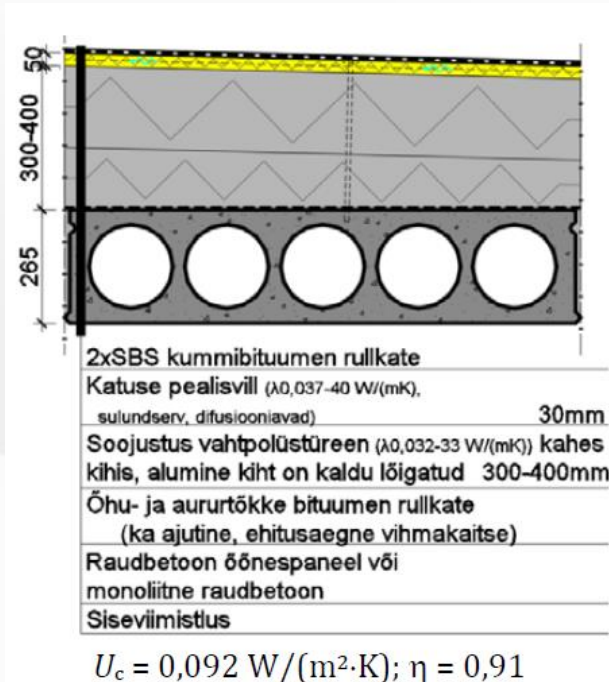
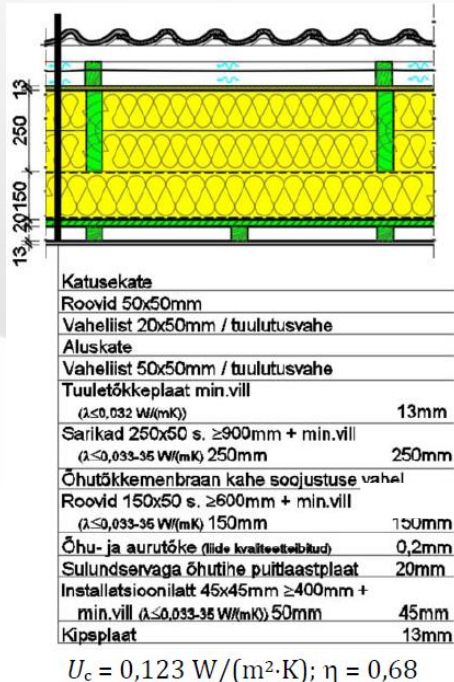
Tellisvooder	85mm
Tuulutusvahe	40mm
Tuuletõkkeplaat min.vill ($\lambda \leq 0,032 \text{ W/(mK)}$) (teibitud liited)	30mm
Soojustusvill ($\lambda \leq 0,034\text{-}35\text{W/(mK)}$, koormustaluvus $\geq 50 \text{ kPa}$)	250mm
Betoonsein või täisbetoneeritud ja krohvitud väikeplokid	200mm

$$U_c = 0,125 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)};$$

- Aken $U \approx 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 - 3 klaasiga klaaspakett: $U_{\text{klaas}} = 0,6 \dots 0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 - soojuskatkestuseta puit- ja plastraamid: $U_{\text{raam}} = 1,0 \dots 1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Tarindite lahendus - eluhooned

Katus $\approx 400 \dots 500$ mm soojustust / Põrand ≈ 300 mm soojustust

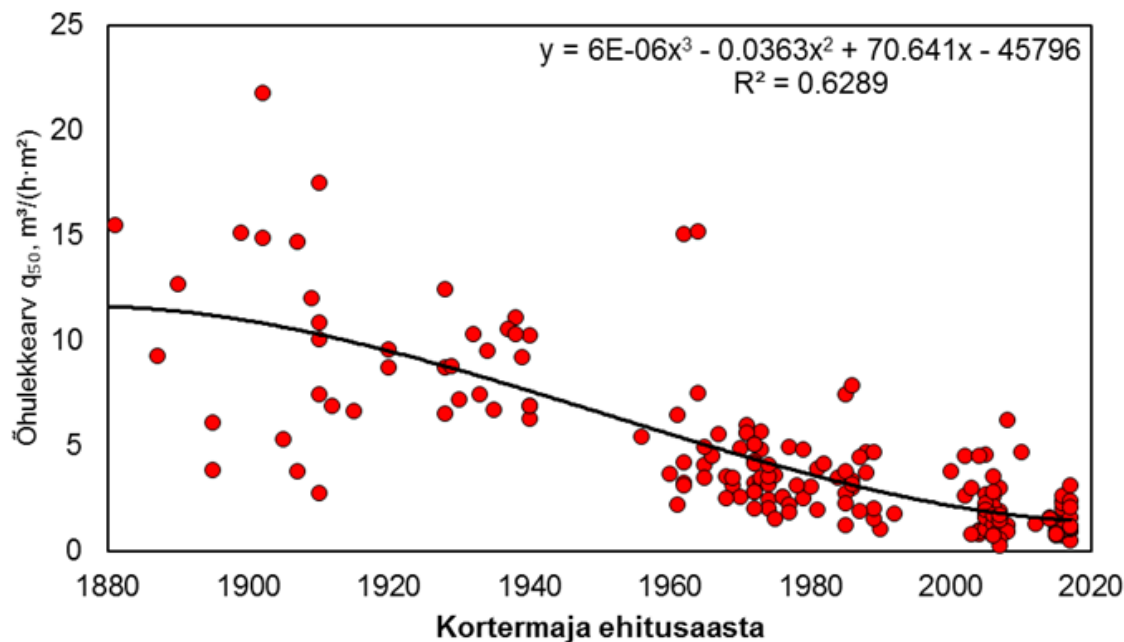


Õhupidavus

Õhulekkearvu baasväärtused

- Väikeelamud $q_{50} = 6 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$
- Muud hooned $q_{50} = 3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$

Eesmärk $q_{50} < 1,5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$

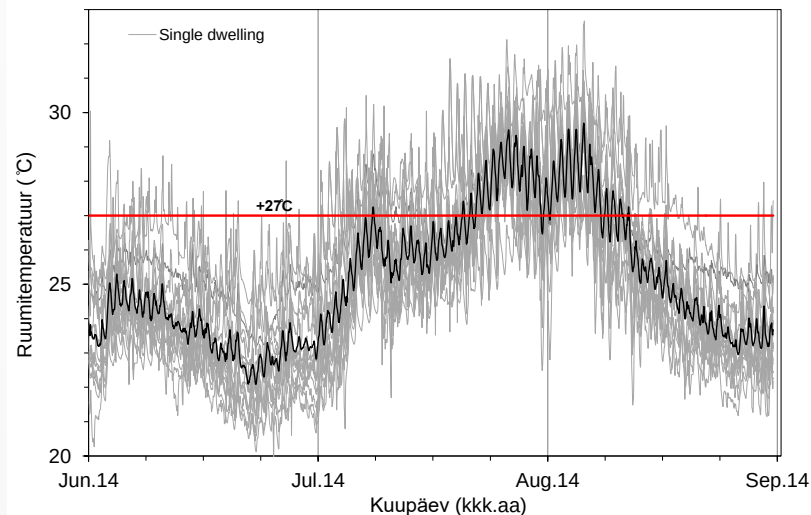
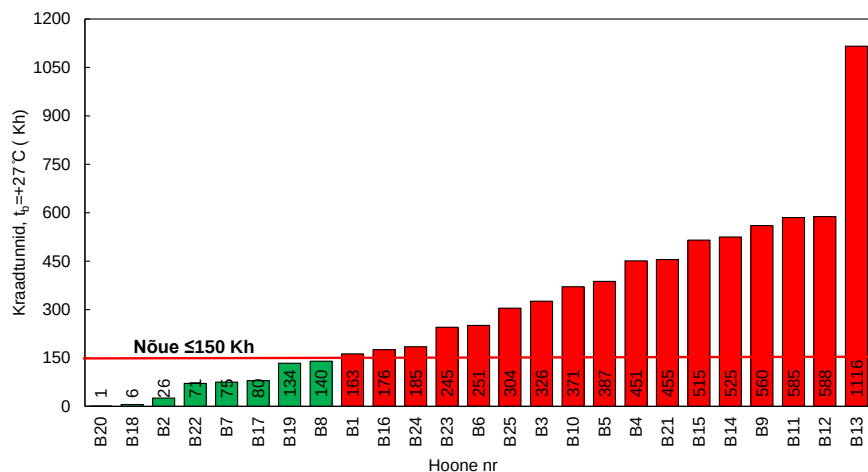


Õhupidavuse tõendamine mõõtmisega

- Projekteerimisväärtus + mõõtmine
- Deklareerimisväärtus + pisteline mõõtmine

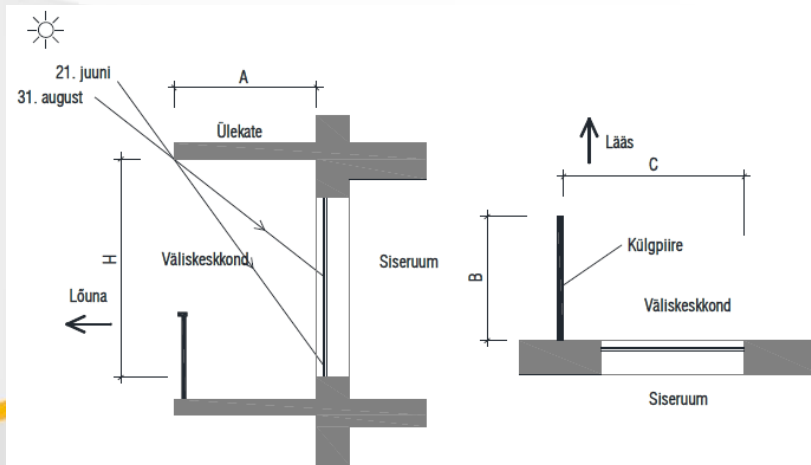
Suvine ülekuumenemine

- Elamute ruumitemperatuur 27 °C mitte rohkem kui 150 kraadtundi (°Ch)
- Aastal 2014 analüüsiti 25 uut korterelamut, 17 (68%) ei täitnud nõudeid
- Enamus korterites oli ruumitemperatuur üle +27 °C märkimisväärsel osal ajast



Passiivsed päikesekaitse lahendused

- Ülekatted $A/H > 0,7$ lõuna suund
- Külgpiirded $B/C > 0,7$ lääne suund



Kulutõhusus

- Arvutuste aluseks on Euroopa Liidu Komisjoni delegeeritud määruses (EL) nr 244/2012 - võrdlusmeetodite raamistik hoonete ja ehitusdetailide energiatõhususe miinimumnõuete kuluoptimaalse taseme arvutamiseks

$$C_{G(\tau)} = C_i + \sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}) \cdot R_d(i)$$

kus:

τ on arvutusajavahemik;

$C_{G(\tau)}$ on kogukulu (algusaasta τ_0 kohta viidatud) kogu arvutusajavahemiku jooksul;

C_i on esialgsed investeerimiskulud meetme või meetmekogumi j puhul;

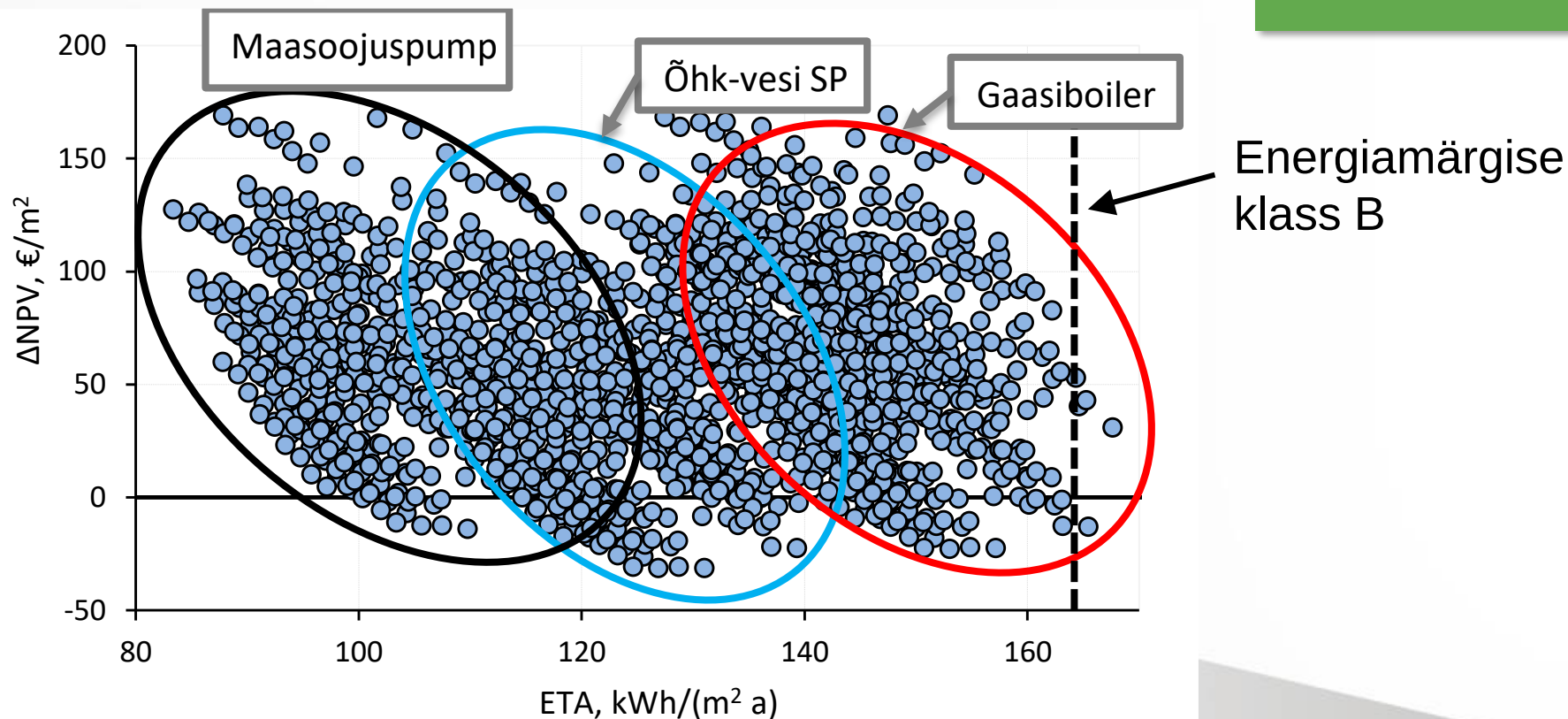
$C_{a,i(j)}$ on aastakulud aasta i jooksul meetme või meetmekogumi j puhul;

$R_{d(i)}$ on diskonteerimistegur aasta i kohta.

- Arvutusperioodiks on 30 aastat (eluhooned) ja 20 aastat (mitteeluhooned).
- Diskonteerimise juures on lähtutud reaaltressist 2.5%, mis vastab tulumäärale 3.5%, kui inflatsioon on 1%. Arvutusperioodi energiahindade reaaleskalatsiooniks on arvestatud 1% aastas.

Kulutõhusus

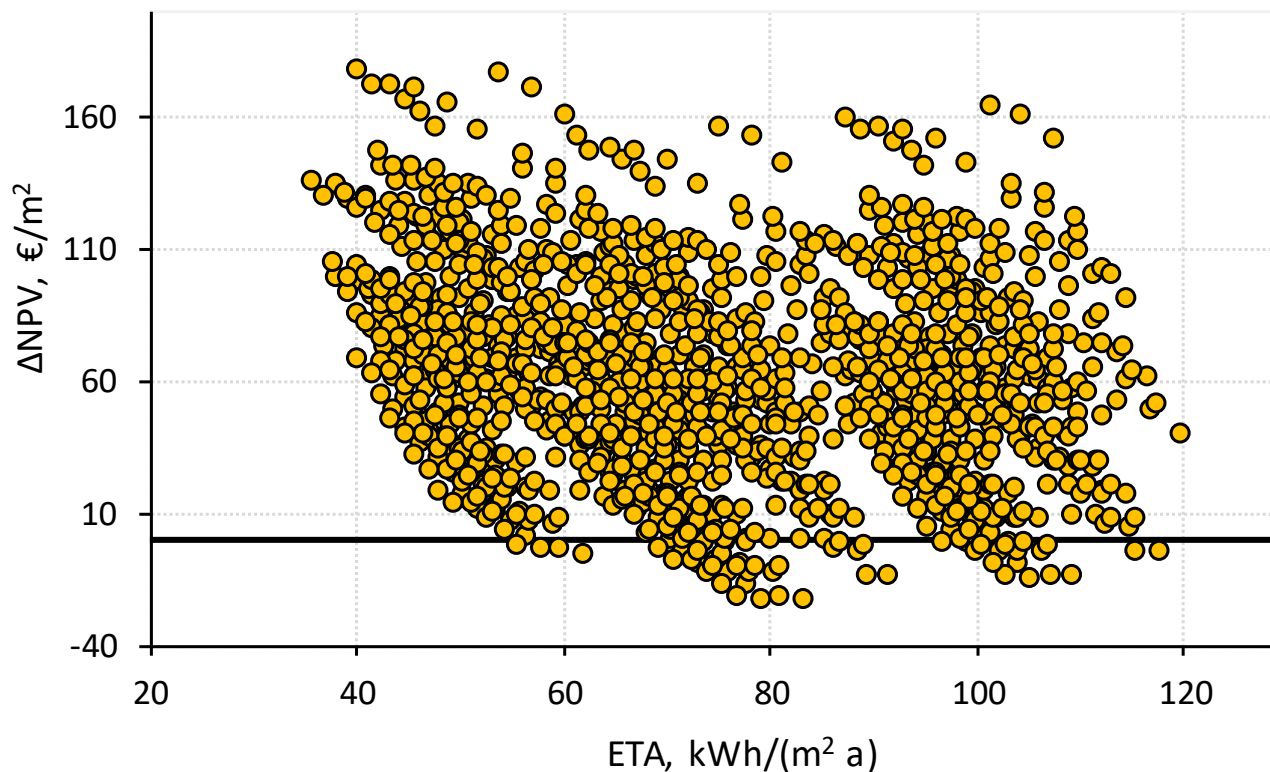
- Väikeelamu <120 m²



Energiaatõhususarv (ETA) ja nüüdisväärtuse muut (Δ NPV) erinevatele tarindilahenduste ja soojusallikate kombinatsioonidele

Kulutõhusus

- Väikeelamu <120 m²



← Energiamärgise
klass A

Energiatõhususarv (ETA) ja nüüdisväärtuse muut (ΔNPV) erinevatele tarindilahenduste ja soojusallikate kombinatsioonidele koos lokaalse taastuvenergia tootmisega (PV-paneelid 3 kW)

Liginullenergia lisainvesteering ≈ 50 €/m²

Väikeelamute kalkulaator

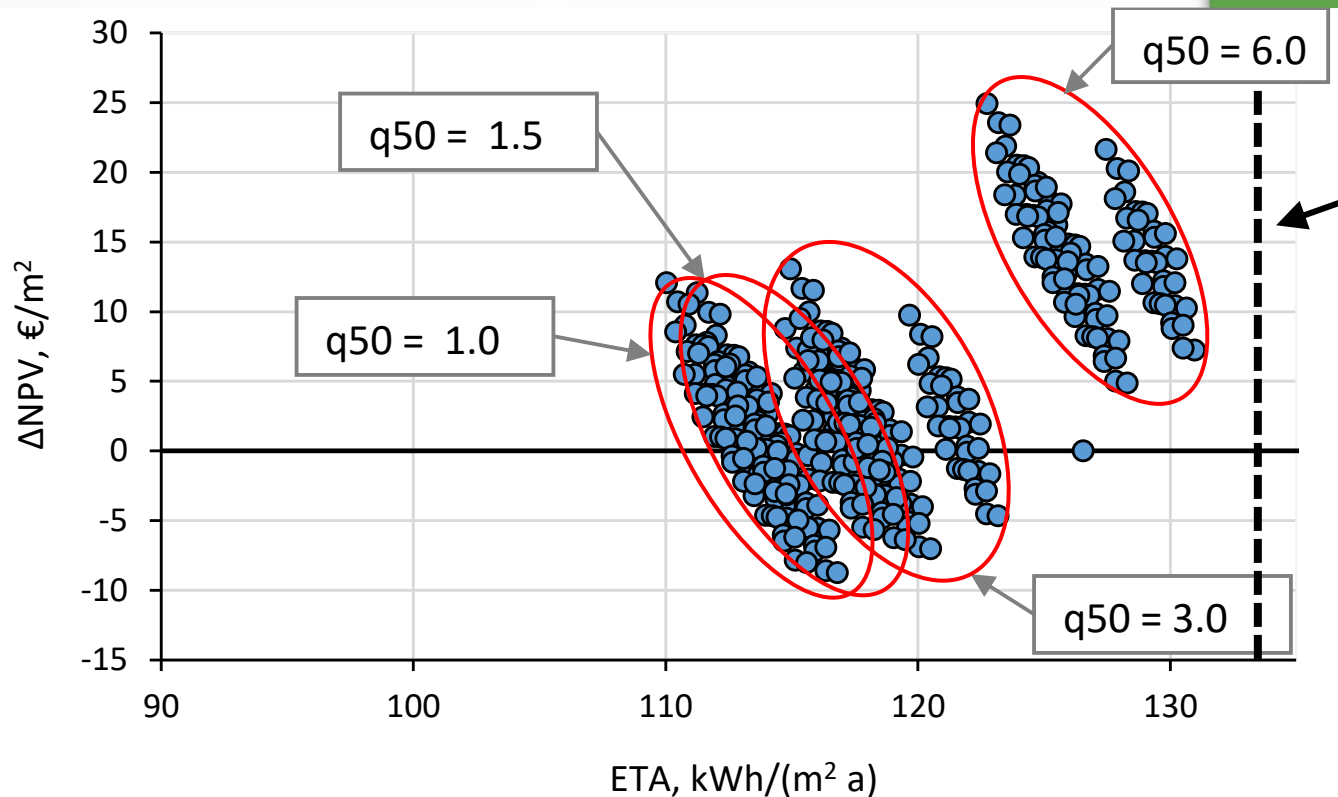
Väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaator - sisesta andmed kollastesse väljadesse										23.04.2018	
Andmed hoone kohta								Energiaarvutuse teostaja			
Aadress								Nimi			
Kõetav pind	110,0	m ²	Ehitise kasutamise otstarve		Uue hoone püstitamine			Pädevus			
Netopind	141,0	m ²	Peamine soojusallikas ruumide kütte		Gaas-kondensatsioonikatel			Allkiri			
Piirdetarind		U_i W/(m ² ·K)	A_i m ²	$H_{juhtvus}$ W/K	soojuslähiv s	Ψ_k W/(m·K)	l_k m	$H_{kõlmasilid}$ W/K	Infiltratsioon	$H_{infiltratsioon}$	
Välissein		0,12	85,1	10,2	Välisseina välisnurk	0,060	10,0	0,6	q_{50} , m ² /(h·m ²)	1,0	
Katuslagi		0,08	106,7	8,5	Välisseina sisenurk		0,0	0,0	Korruste arv	1	
Põrand pinnasel		0,12	106,7	12,8	Välissein-katuslagi	0,070	42,7	3,0	$A_{välispiire}$, m ²	320,2	
				0,0	Välissein-põrand	0,080	42,7	3,4			
				0,0	Välissein-vahelagi		0,0	0,0			
				0,0	Välissein-sisesein	0,010	25,0	0,3			
				0,0	Akna seinakinnitus	0,020	51,4	1,0			
Välisuks		1,20	2,1	2,5	Ukse seinakinnitus	0,020	6,3	0,1			
Aken	põhja			0,0	Rõdu seinakinnitus		0,0	0,0			
Aken	kirdesse	0,90	6,5	6,7							
Aken	itta			0,0	Sisesein-katuslagi	0,010	39,8	0,4			
Aken	kagusse	0,90	2,2	1,2							
Aken	lõunasse			0,0	Sisesein-põrand	0,010	39,8	0,4			
Aken	edelasse	0,90	10,4	5,6							
Aken	läände			0,0				0,0	q_{inf} , m ³ /s	0,0025	
Aken	loodesse	0,90	0,5	0,5							
Summa		$H_{juhtvus}$, W/K		48,1	$H_{kõlmasilid}$, W/K			9,2	$H_{õhuleke}$, W/K	3,0	
$H = H_{juhtvus} + H_{kõlmasilid} + H_{õhuleke}$				W/K	60,4				Akna pindala suhe kõetavasse pindala		
Välispiirete summaarne soojuserikadu kõetava pinna kohta H/A				W/(m ² ·K)	0,55				20%		

Väikeelamute kalkulaator

Väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaator - sisesta andmed kollastesse väljadesse										23.04.2018	
Andmed hoone kohta								Energiaarvutuse teostaja			
Address		Uue hoone püstitamine						Nimi			
Kõetav pind	110,0 m²	Ehitise kasutamise otstarve				11101 - Uksikelamu		Pädevus			
Netopind	141,0 m²	Peamine soojusallikas ruumide kütte				Gaas-kondensatsioonikatel		Allkiri			
Tehnosüsteemid			Soojusallikad			Maasoojuspump	Õhk-vesi soojuspump	Tõhus kaugküte	Pelletikatel	Gaas-kondensatsioonikatel	
Soe tarbevesi netoenergia-vajadus, kWh/(m²·a)			30,0	Energiabilanss	Netovajadus	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en. kWh/(m²·a)	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en. kWh/(m²·a)	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en. kWh/(m²·a)	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en. kWh/(m²·a)	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en. kWh/(m²·a)	
Õhk-vesi soojuspumba osakaalud				Ruumide küte	38,7	13,8	20,4	45,6	53,6	48,0	
Soojuspump, %			92,0	Vent. õhu soojendamine	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	
Elekter, %			8,0	Tarbevee soojendamine	30,0	11,1	16,2	30,0	35,3	31,6	
Soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegur			0,85	Ventilaatorid ja pumbad	6,6	6,6	6,6	8,6	8,6	8,6	
Kütte ringluspumbad, kWh/(m²·a)			2,0	Valgustus	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	
Soojustagastuse temperatuurisuhtarv, %			80%	Seadmed	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	
Heitõhu minimaalne temperatuur, °C			0,0	Lokaalne taastuvelekter		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Ventilatsioonisüsteemi erivõimsus, kW/(m³/s)			1,5	Summa	109,0	65,2	76,9	117,9	131,2	121,8	
Päikesepaneelide maksimaalne võimsus, kW			0,0	ETA-nõue (ilma PV)	165	ETA (ilma PV)	130	154	141	151	164
Kollektori aktiivpindala, m²			0,0	ETA-nõue	125	ETA	130	154	141	151	164
Kollektori või paneeli suunatus			lõuna								
Kollektori või paneeli kaldenurk			<30°								
Paneeli paigaldusviis			mõõduka tuulutusega								

Kulutõhusus

- Korterelamu

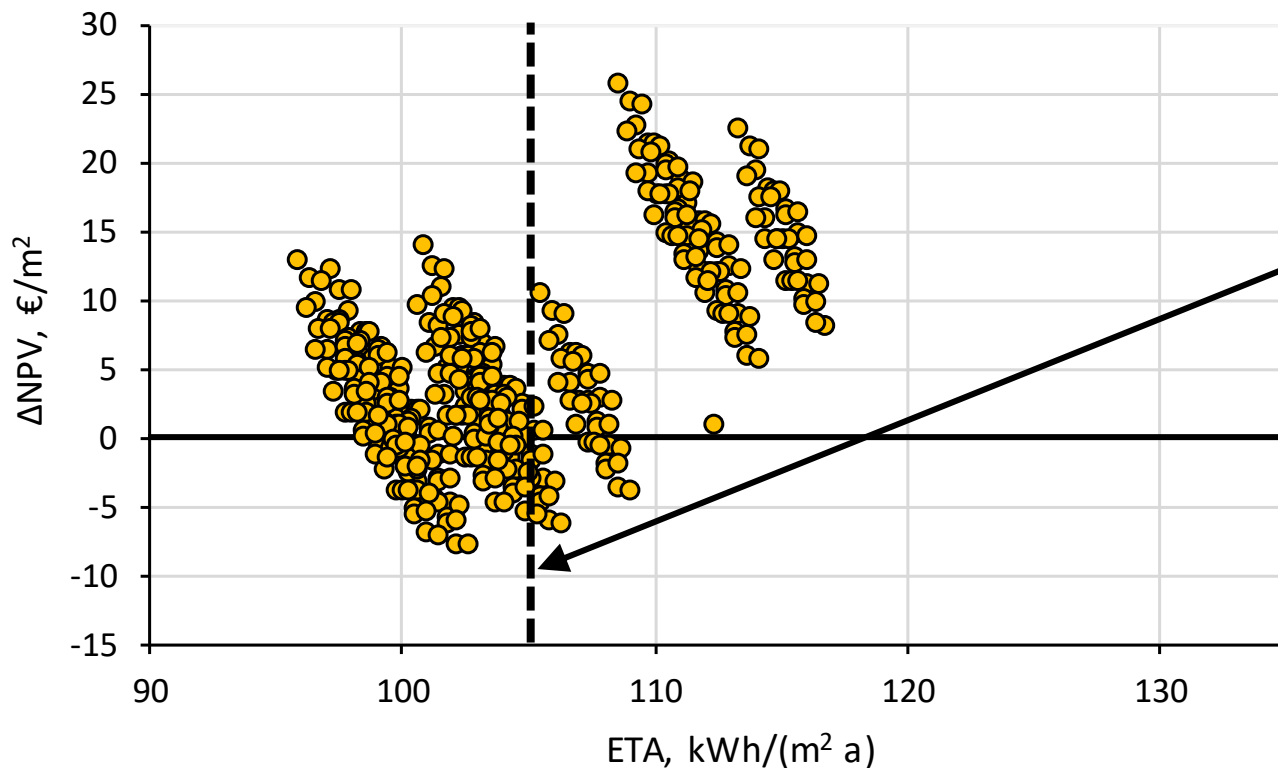


Energiamärgise
klass B

Energiaõhususarv (ETA) ja nüüdisväärtuse muut (ΔNPV) erinevate tarindilahenduste kombinatsioonidele

Kulutõhusus

- Korterelamu



Energiamärgise
klass A

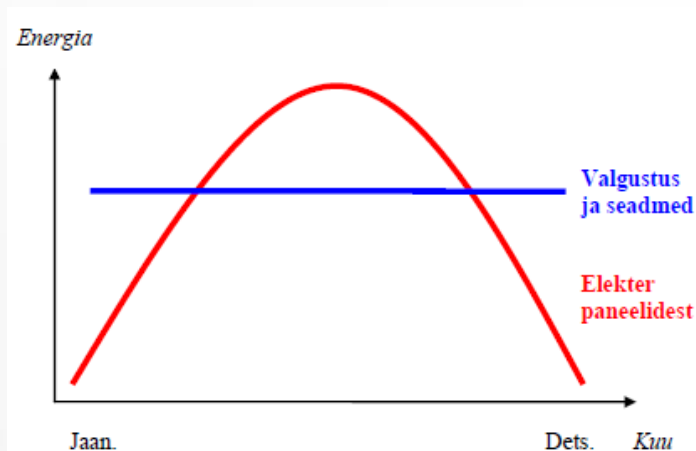
Energiatõhususarv (ETA) ja nüüdisväärtuse muut (ΔNPV) erinevate tarindilahenduste kombinatsioonidele koos lokaalse taastuenergia tootmisega (PV-paneelid 53kW)

Liginullenergia lisainvesteering $\approx 25 \text{ €}/\text{m}^2$

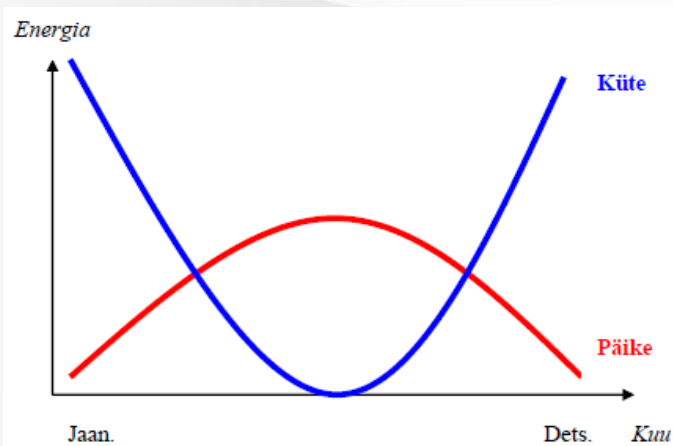
Taastuenergia

Päikeseenergia süsteemid:

- Elektri tootmiseks PV-paneelid



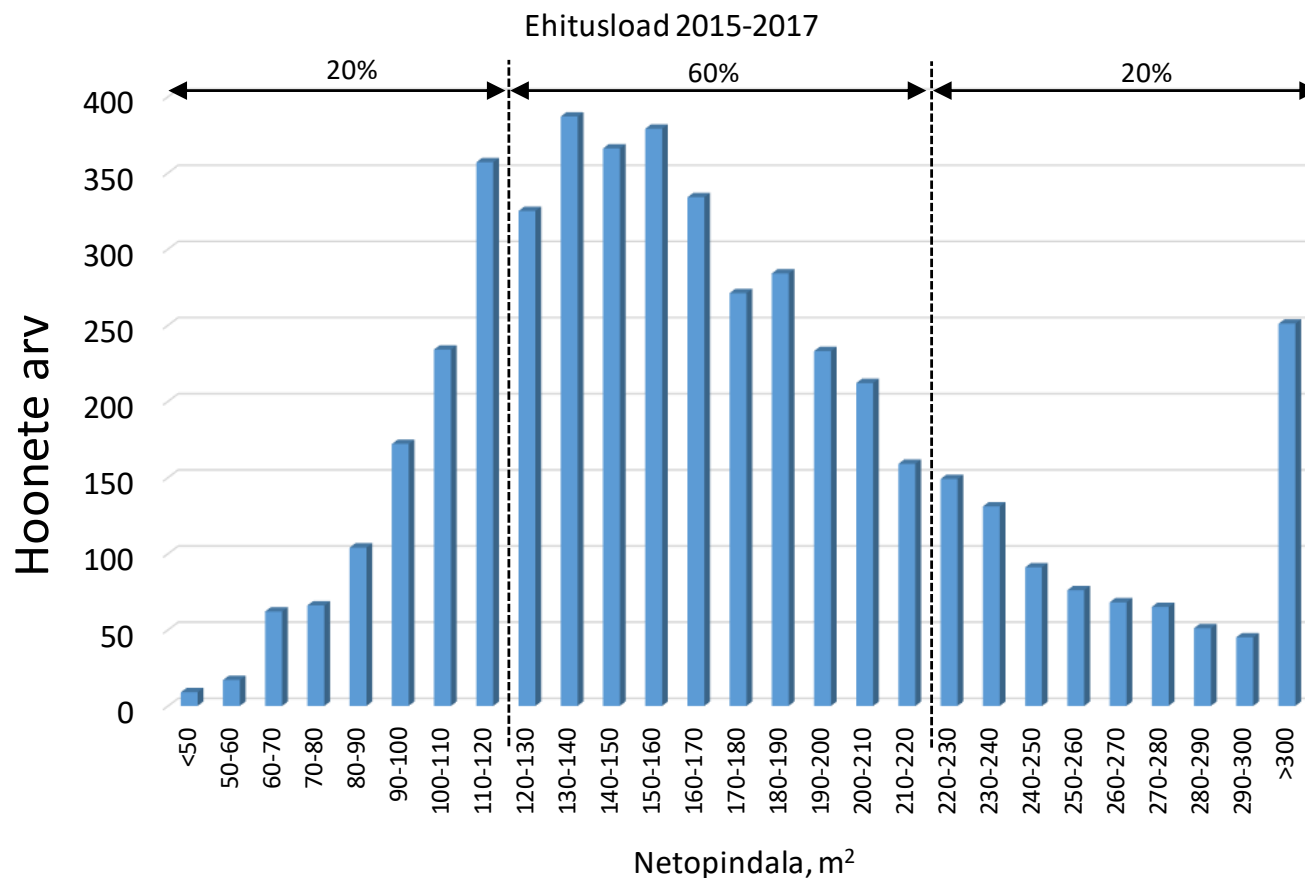
- Soojuse tootmiseks päikesekollektorid



Taastuenergia

Liginullenergiahoone nõuete erisused

- väikeelamud netopindalaga $< 220 \text{ m}^2$



Erisuse puhul energiamärgise klass B
(PV ei ole nõutud)

Taastuenergia

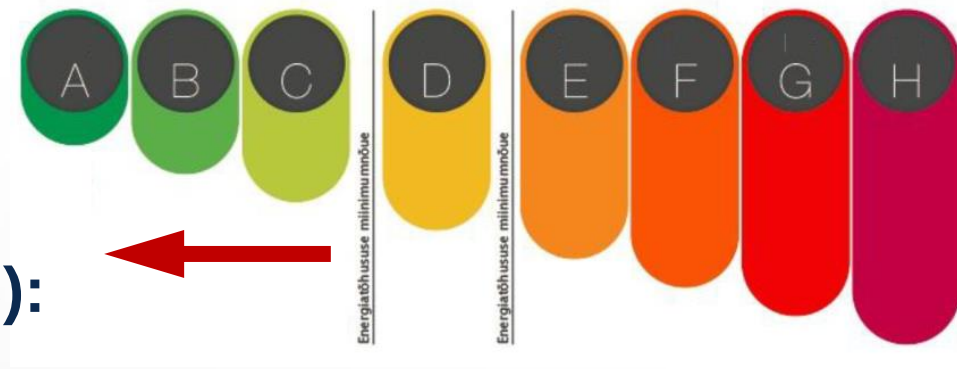
Liginullenergiahoone nõuete erisused

- väikeelamud netopindalaga $< 220 \text{ m}^2$
- tootlikkus alla 75% ilma varjudeta tootlikkusest

Katuse/fassaadi kalle ja orientatsioon	1 kW nominaalvõimsusega päikese-elektrisüsteemi aastane toodang, kWh/a							
	Põhi	Kirre	Ida	Kagu	Lõuna	Edel	Lääs	Loe
0° 	810	810	810	810	810	810	810	810
15° 	690	720	800	880	810	870	800	720
30° 	560	620	780	910	960	910	770	620
45° 	440	550	750	910	970	900	740	540
60° 	380	500	700	880	940	870	690	490
75° 	350	460	650	830	870	800	640	450
90° 	330	410	580	720	760	710	570	410

Erisuse puhul energiamärgise klass B
(PV ei ole nõutud)

Eluhooned



Madalenergiahoone (klass B):

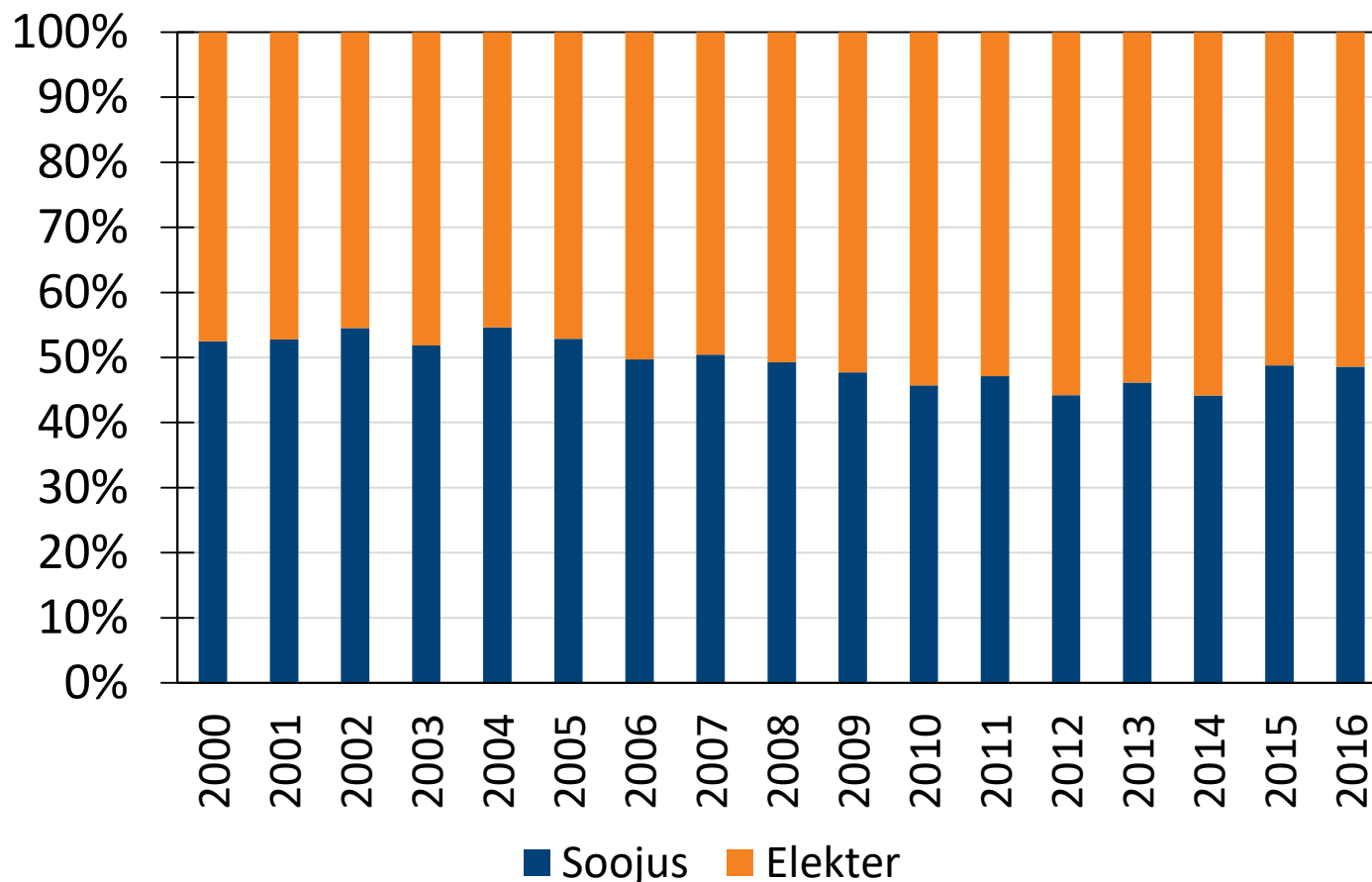
- välispiirded
 - Välisseinad $U \approx 0,12-0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ [200-300 mm soojustust]
 - Katus $U \approx 0,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ [400-500 mm soojustust]
 - Põrand $U \approx 0,12-0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ [200-300 mm soojustust]
 - Aknad $U \approx 0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (kolmekordne klaaspakett)
- õhulekkearv $q_{50} < 1,5 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$
- soojustagastusega ventilatsioon ($\eta \geq 80\%$)
- päikesevarjestus

Liginullenergiahoone (klass A):

- klass B + lokaalne taastuvenergia (PV-paneelid)

Energia lõpptarbimine: äri- ja avalik teenindus

- Elektri osakaal $\approx 50\%$
- Elektri kasutus on suurenenud $\approx 1,5$ TWh/a



Büroohoone näide

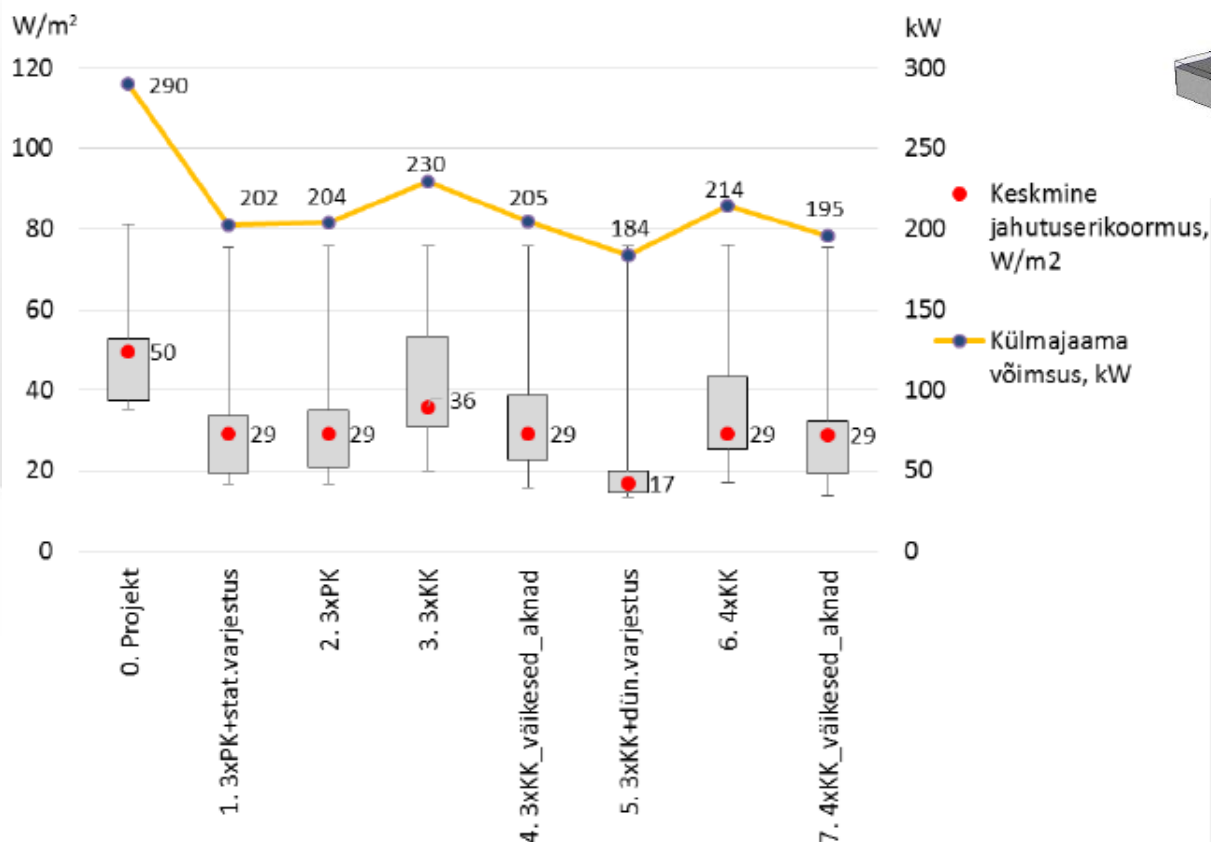


Algne lahendus energiamärgise klass C

Piirdetarind	Soojusjuhtivus $U_i, \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Pindala A_i, m^2	Soojuserikadu $H, \text{W/K}$	H osakaal, %
Välissein	0.20	1077.1	247.7	10.4 %
Katuslagi	0.13	813.1	105.7	5.1 %
Vahelagi välisõhu kohal	0.12	139.0	16.7	0.8 %
Vahelagi välisõhu kohal	0.24	27.9	6.7	0.3 %
Põrand pinnasel (parkla)	0.13	1056.2	137.3	6.7 %
Vahelagi (parkla ja 1. korruse vahel)	0.24	611.4	146.7	7.1 %
Aknad	0.70	1319.6	923.7	44.7 %
Uksed	1.50	15.3	22.9	1.1 %
Külmasillad ^b	-	-	137.6	6.7 %
Infiltratsioon ^c	-	-	352.0	17.1 %
Summa/ Keskmine	0.41	5059.7	2064.8	100 %

*Jakov Ivanov magistritöö 2016

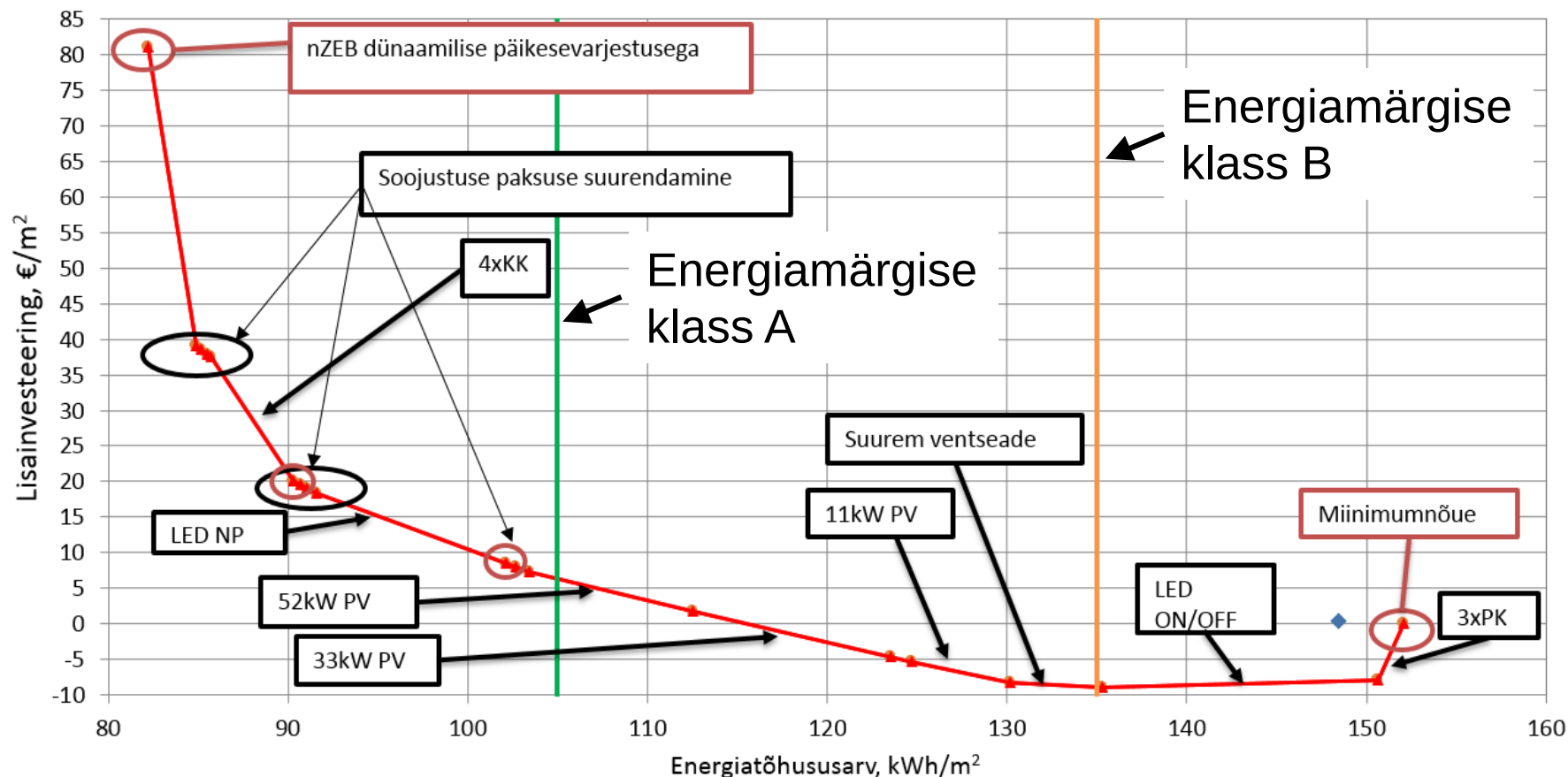
Tehnosüsteemid - jahutus



KK – kirkas klaas
PK – päikesekaitse klaas

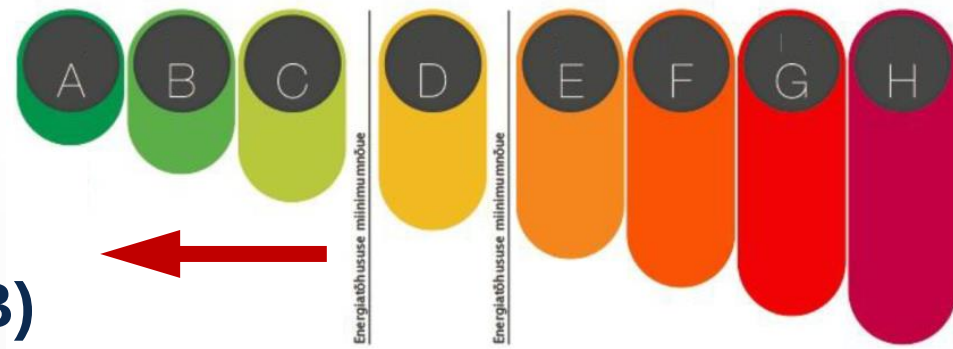
Variant	Klaasid e arv, tk	U_g , $W/(m^2 \cdot K)$	U_{tot} , $R_{fi}=30\%$, $W/(m^2 \cdot K)$	U_{tot} , $R_{fi}=10\%$, $W/(m^2 \cdot K)$	Selektiivkate	Päikese faktor g, -	Klaas paketi täidis ^c	Akna maksu mus ^b , €/m ²
3xPK ^a	3	0.62	0.73	0.66	SKN 165	0.22	Ar	125.0
3xKK	3	0.62	0.73	0.66	PLT ULTRA N	0.39	Ar	120.0
4xKK	4	0.33	0.53	0.39	PLT ULTRA N	0.28	Kry	195.0

Meetmete mõju ehitusmaksumusele



Liginullenergia lisainvesteering ~20 €/m² (1,5%)

Büroohoone



Madalenergiahoone (klass B)

- LED valgustussüsteem (keskmise erivõimsus $12 \rightarrow 6 \text{ W/m}^2$)
- kolmekordse klaaspaketiga päikesekaitse ($g=0,22$) aknad $U \approx 0,7 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$
- üks aste suurem ventilatsiooniagregaat (SFP $1,82 \rightarrow 1,57 \text{ kW/(m}^3\text{s)}$)
- välissein $U = 0,20 \rightarrow 0,17 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ (soojustus 230 mm)
- katuslagi $U = 0,13 \rightarrow 0,11 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ (soojustus 300 mm)

Liginullenergiahoone (klass A)

- klass B + PV-paneelid võimsusega 50 kW (kogu katuse vaba pind)

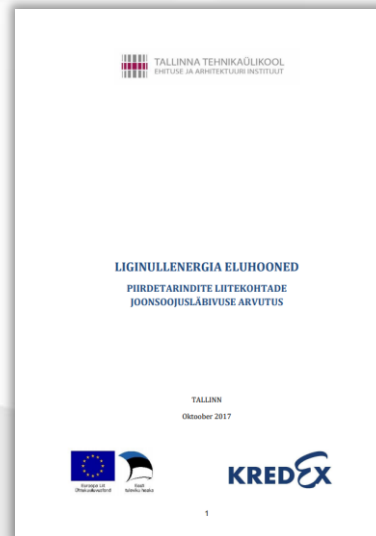
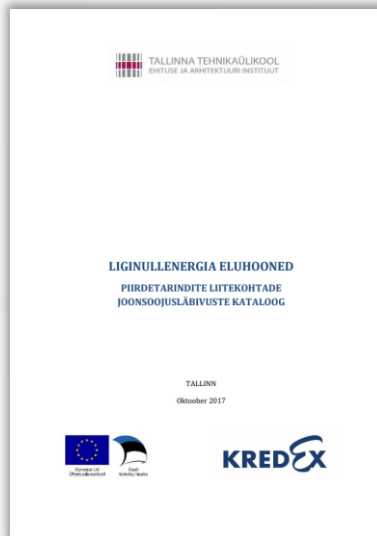
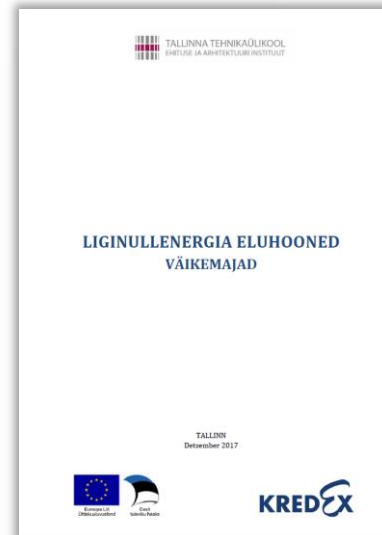
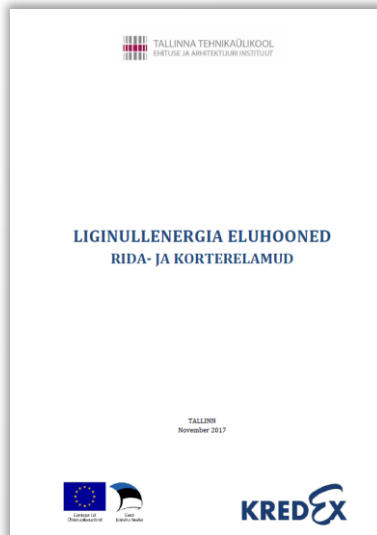
Täna!

KredEx

Hobujaama 4

10151 Tallinn

<http://kredex.ee/energiatohususest/>



KREDEx