



TAL TECH

AUTOMAATNE HOONE ENERGIATÕHUSUSE JA SISEKLIIMA HINDAMINE

Martin Thalfeldt
Ehituse ja arhitektuuri instituut
Tallinna Tehnikaülikool



29.01.2024

EHITUSMEESKONNA LUBADUS HOONE OMANIKULE

Energiaarvutuse lähteandmed

Vastavalt MTM määruse nr. 58 "Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika" LISA 2

Energiaarvutuse lähteandmed	
Arvutussoonide arv	85
Küttesüsteemi tüüp	
-soojuse tootmine	Kaugküte
-kütus	Soe vesi
-soojuse jaotamine	Radiaatorküte
Ventilatsioonisüsteemi tüüp	CAV
Jahutussüsteem (on/ei ole)	on

Soojuskaod läbi piirdetarindite				Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaudu läbi õhulekete		
Piirdetarind	g	U_i	A_i	$H_{juhtivus}$	Külmasild	Ψ_i	l_i	$H_{kõlmasilid}$	Õhulekkearv	
	-	W/(m ² K)	m ²	W/K		W/(m K)	m	W/K		
Välissein*	0.13	1 475	192		Välissein-välissein (vn)	0.026	77	2	$q_{s0}, m^3/(h m^2)$	
Sokkel	0.16	260	42		Välissein-välissein (sn)	-0.10	23	-2	$A_{välispire}, m^2$	
Katuslagi	0.10	1 195	119		Katuslagi-välissein*	0.11	205	28	Korruste arv	
Põrand pinnasel*	0.155	1 231	191		Põrand-välissein*	0.13	193	19		
Põrand välisõhu kohal	0.155	5	1		Avatäidete seinakinnitus	0.037	828	31	Infiltratsioon, l/s	
Välisüksed	1.00	65	65		Välissein-sisesein	0.10	140	14		
Katuseaken	0.35	1.00	13	13	Välissein-vahelagi	0.10	368	37		
Aken (kirre)	0.35	0.80	85	68						
Aken (kagu)	0.35	0.80	124	99						
Aken (edel)	0.35	0.80	85	68						
Aken (loe)	0.5	0.80	247	197						
Kokku:			$H_{juhtivus}$	1054.8			$H_{kõlmasilid}$	128.5	$H_{õhulekete}$	239.2
Välispiirete summaarne soojuserikadu, H									1 422.5	W/K
Välispiirete keskmine soojusläbivus, H/A välispiire									0.30	W/(m ² K)
Hoone kootav pind, A _{kõnetav}									3 480.5	m ²
Välispiirete summaarne soojuserikadu kootava pinna kohta, H/A _{kõnetav}									0.41	W/(m ² K)

*eri piirdetüüpide kaalutud keskmine

Ventilatsioonisüsteem						
	Rõhutõste	Ventilaatori kasutegur	Õhuvooluhulk	Süsteemi SFP	Soojustagasti temperatuuri suhtarv	Väljaviske minimaalne temperatuur
	sissep./väljat.	sissep./väljat.	sissep./väljat.			
	Pa / Pa	% / %	m ³ /s / m ³ /s	kW/(m ³ s)	%	°C
CAV-1 (rootor)*	400 / 400	50 / 50	6.7 / 6.7	1.56	80	-5

*sarnaste süsteemide kaalutud keskmine

Küttesüsteem			
	Soojusallika kasutegur	Jaotamise ja väljastamise kasutegur	Kütteperioodi keskmine soojustegur
			Abiseadmete elektritarbimine
			kWh/(m ² a)
Ruumide küte	1.00	0.97	0.5
Ventilatsiooniseade	1.00	1.00	-
Tarbevee soojendamine	1.00	1.00	-

Lokaalse taastuvenergia süsteemid		
	Päikesekollektori aktiivpindala, m ²	Päikesepaneelide max võimsus, kW
PV-paneelid katusel	-	31.3
PV-paneelid seinal	-	8.2
PV-paneelid parkla katusel	-	9.2

Energiaarvutuse tulemused

Vastavalt MTM määruse nr. 58 "Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika" LISA 4

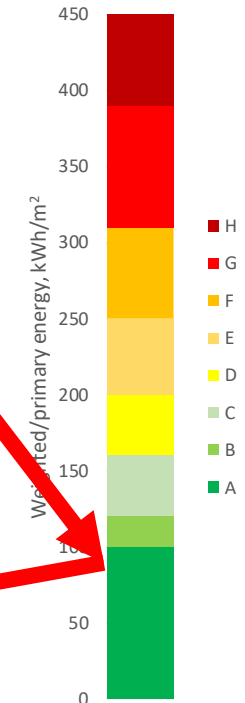
Andmed hoone kohta	
Hoone tüüp	Oluliselt renoveeritav hoone
Aadress	Mäepealse tn 3, Mustamäe linnaosa, Tallinn
Ehitusaasta	2017
Kõetav pind	3 480.5 m ²
Suletud netopind	3 480.5 m ²
Energiatõhususarv	99 kWh/(m ² a) (kWh kootava pinna ruutmeetri kohta aastas)

Energiakasutuse kokkuvõte	Hangitud energia		Tarnitud energia		Eksportitud energia		Kaalumis- tegur	Kaalutud energiakasutus
	kogus/a	massi või mahtühik	kWh/a	kWh/(a*m ²)	kWh/a	kWh/(a*m ²)		
Elekter	-	-	104 268	30.0	0	-	2.0	208 536
Kaugküte	-	-	152 117	43.7	-	-	0.9	136 905
Summa	-	-	256 384	73.7	-	-	-	345 441

Tehnosüsteemide energiakasutus	Elekter kWh/a	Soojus kWh/a	Elekter, kWh/(a*m ²)	Soojus, kWh/(a*m ²)
Küttesüsteem	1 740	152 117	0.5	43.7
-ruumide küte	1 740	118 643	0.5	34.1
-ventilatsiooniõhu soojendamine	-	12 591	-	3.6
-tarbevee soojendamine	-	20 883	-	6.0
Ventilatsioonisüsteem	35 941	-	10.3	-
Jahutussüsteem	8 078	-	2.3	-
Elektrisüsteem	100 768	-	29.0	-
-valgustus*	34 890	-	10.0	-
-seadmed	65 878	-	18.9	-
Tehnosüsteemide summaarne energiakasutus	146 528	152 117	42.1	43.7

*Hoones on kasutusel LED-valgustus, mida juhitakse optimeerimaks loomuliku valguse maksimaalset kasutamist

Lokaalne taastuv- ja eksportitud energia	Lokaalne taastuv kWh/a	Lokaalne taastuv kWh/(a*m ²)	Eksportitud kWh/a	Eksportitud kWh/(a*m ²)
PV-paneelid katusel	28 809	-	0	-
PV-paneelid seinal	5 986	-	0	-
PV-paneelid parkla katusel	7 465	-	0	-



LUBADUSE MURDMISE TAGAJÄRJED

- Arendaja kaotas ja maksis elanikele kahjuhüvitist koos viiviste ja menetluskuludega kokku üle 200 000 euro
- Lubaduse murdmise tuvastamine ajakulukas

UUDISED • Eliisa Matsalu • 18. november 2022 kell 6:00



Uusarenduse vale energiamärgis läks arendajale kohtus kalliks maksma

KINNISVARA

02.11.2023, 00:01

Probleem uute hoonete energiasäästuga.
Korteriomnikku võib tabada ebameeldiv üllatus (52)

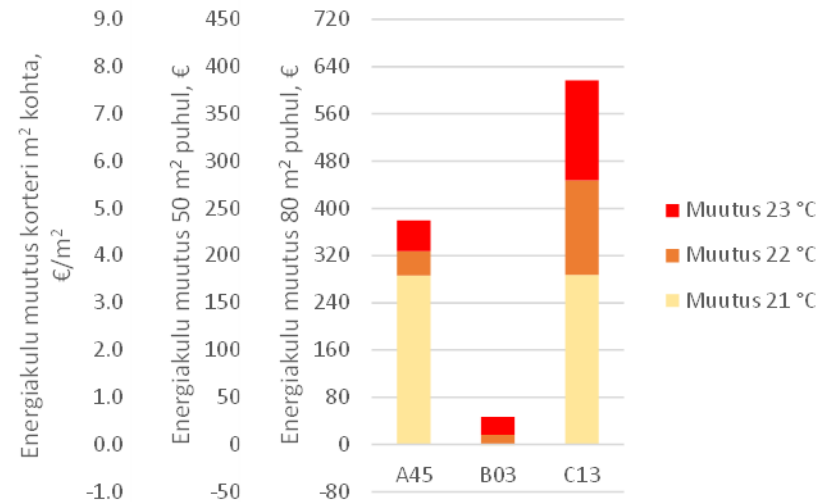
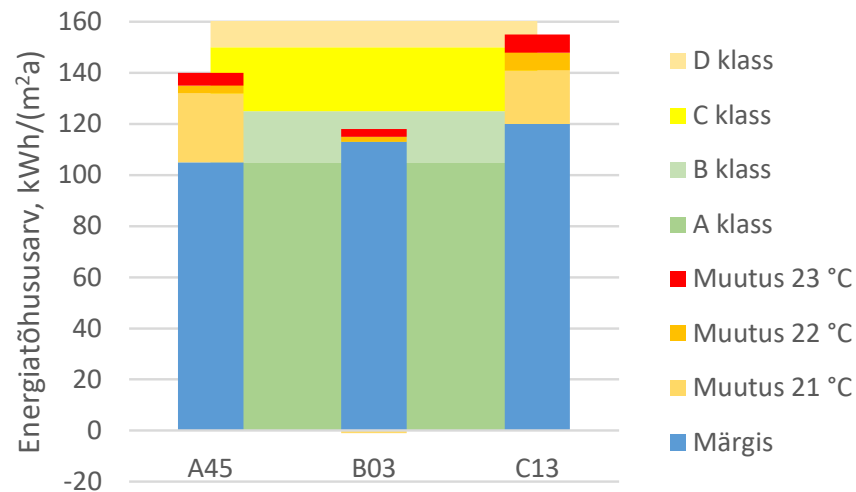


Tanel Raig
tanel.raig@arileht.ee



MÕJU KORTERELAMUTE ENERGIAARVETELE

- Energiamärgiste kvaliteedi hindamisel 3 hoone detailne analüüs
- Hoones A45 teine soojuspumba tüüp
- Hoones C13 puuduvad päikesepaneelid
- A45 ja C13 vigade mõju energiaarvetele
 - 50 m² korter – ca 180 €/aastas
 - 80 m² korter – ca 290 €/aastas
- Ruumitemperatuuri tõstmise mõju väiksem võrreldes vigade mõjuga



ENERGIATÕHUSUSE HINDAMINE ENERGIAKASUTUSE PÕHJAL

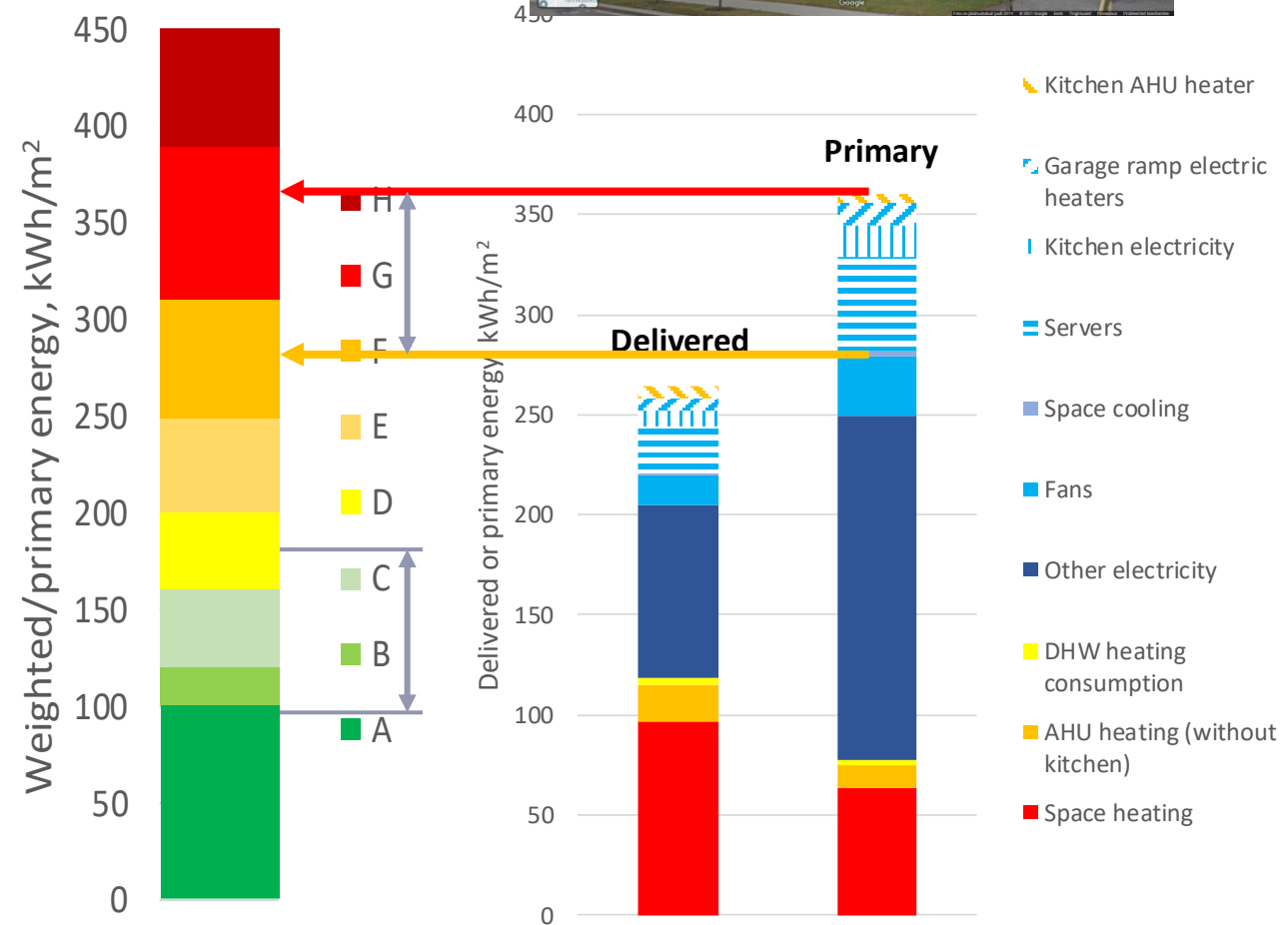
- Ainult energiakasutus ei anna alati kogu infot



Building	Energy Performance Class (EPC)	Energy cost		Carbon emission of energy use	
		€	€/m ²	ton	kg/m ²
TEG	A	-	-	-	-
CON	A	13029	3.8	45.3	13.3
D09	B	32118	7.4	143.6	33.2
VK1	C	42891	8.5	219.6	43.5
MEK	C	30644	6.9	104.7	23.6
AU	C	33202	10.3	130.8	40.6
CYB	C	36752	8.5	226.9	52.4
STU	D	9883	4.9	64.1	31.9
S01	D	62750	11.8	319.7	60.3
TCB	E	12161	10.8	42.6	38.0
NRG	E	27901	4.7	183.7	30.9
TCA	E	13133	12.5	52.7	50.0
LIB	E	135464	12.2	967.2	87.4
U05B	E	26208	10.2	215.4	83.6
GLN	F	10037	9.4	67.4	63.5
U06A	F	32238	10.5	263.0	85.7
U03	F	63338	11.3	497.7	88.9
U05	F	63632	11.5	514.9	92.8
TCC	G	13453	16.3	68.0	82.3
U06	G	120059	12.3	950.4	97.3
GEO	G	11157	12.2	90.0	98.7
U03B	G	20462	13.4	155.9	102.3
U02	G	69239	13.5	527.3	102.7
U01	G	59123	13.5	450.3	102.7
ICO	G	56061	15.2	412.2	112.1
U04	G	79915	13.8	619.1	107.2
SOC	G	201824	19.5	1381.2	133.3
OBS	H	2873	17.9	24.9	155.4
PKK	H	36504	27.0	193.8	143.3
ICT	H	249657	21.9	1826.3	160.0
U02B	H	10542	16.8	77.3	123.1
TIM	H	16856	26.3	103.7	161.6
U04B	H	40321	28.5	284.1	200.7
TEX	H	10308	49.8	57.3	276.8
SCI	H	215420	30.8	1315.6	188.2

ARVUTUSLIK VS MÕÕDETUD ENERGIAKASUTUS

- Tarnitud → ETA
 - Elekter x2
 - Tõhus kaugküte x0,65
- Mitte arvesse võetavad tarbijad:
 - toitlustus (kuumköök)
 - IT, serverid
 - garaaži sissesõidu küte
- Energiamärgis muude tarbijatega ja ilma:
 - "F" → "G"
 - "A" → "D"



HOONE TÕHUSUSE ANALÜÜTIKA AUTOMATISEERIMINE

- Energiamärgise jaoks vajalik info on suures osas andmebaasides olemas: energiakasutus (elekter, gaas, kaugküte), hoone andmed, väliskliima.
- **Baaslahendus – peaarvestid**
- + lihtne ja kiire
- - detailse analüüsi puudumine

ENERGIAETTEVÕTTED
(e-Elering, Utilitas)

VÄLISKLIIIMA
Ilmateenistus

HOONE ANDMED
Ehitisregister



AUTOMAATNE ANALÜÜS

- energiakasutus
- energiamärgis
- energiakulud €
- süsiniku jalajälg
- võrdlusbaas teiste hoonetega

HOONE TÕHUSUSE DETAILSE ANALÜÜTIKA AUTOMATISEERIMINE

- Detailsem lahendus – alamarvestid ja sisekliima sensorid
- + võimaldab maha võtta energiamärgises mitte arvestatavad tarbijad
- + võimaldab hinnata sisekliima kvaliteeti
- - eeldab alamarvestite ja sisekliima sensorite olemasolu või paigaldust

**HOONE
ALAMARVESTID JA
SISEKLIIMA
ANDURID**

**ENERGIAETTEVÕTTED
(e-Eeling, Utilitas)**

**VÄLISKLIIMA
Ilmateenistus**

**HOONE ANDMED
Ehitisregister**

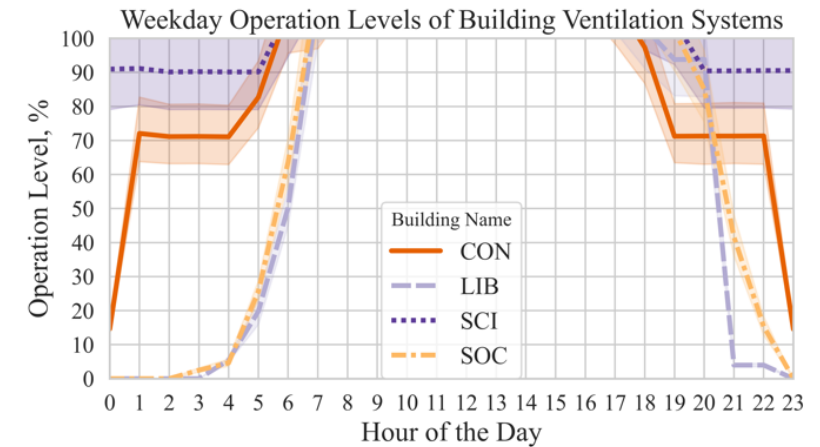


AUTOMAATNE ANALÜÜS

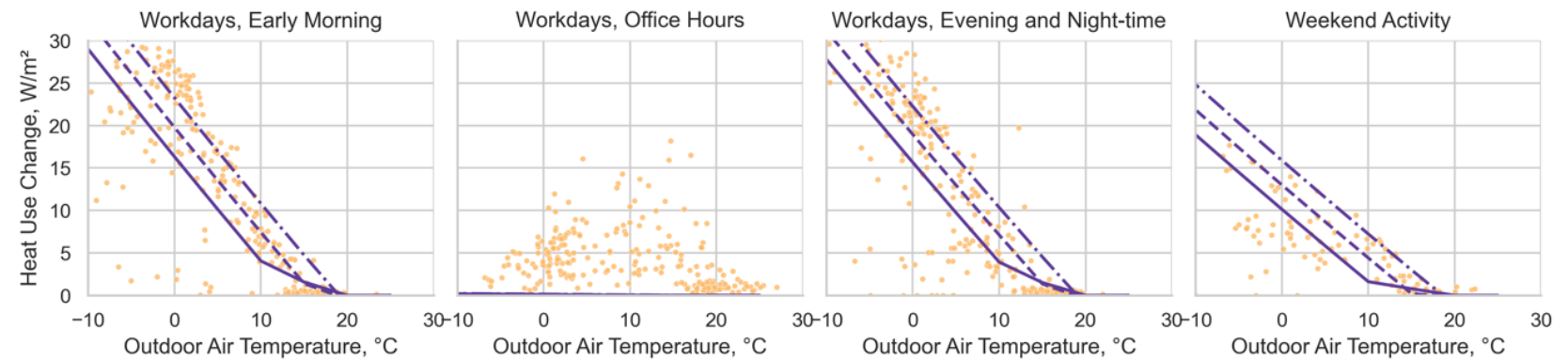
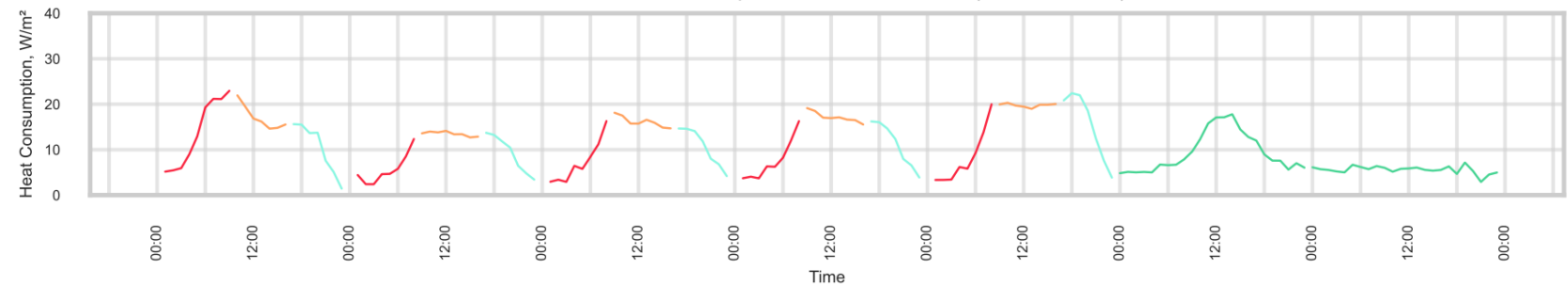
- **täpsem** energiakasutus
- **täpsem** energiamärgis
- energiakulud €
- süsiniku jalajälg
- võrdlusbaas
- **sisekliima klass**
- **soojuslik mugavus (temp)**
- **õhukvaliteet (CO₂)**

DETAILSE ANALÜÜTIKA RAKENDUSED – TARBIMISMUSTRID

- Energiatarbimise mustrite analüüs AI abil
- Võrdlus hoone/süsteemi parameetrite ja analüütiliste mudelitega
- **Kuidas lisada selgitatavuse kiht (XAI)?**

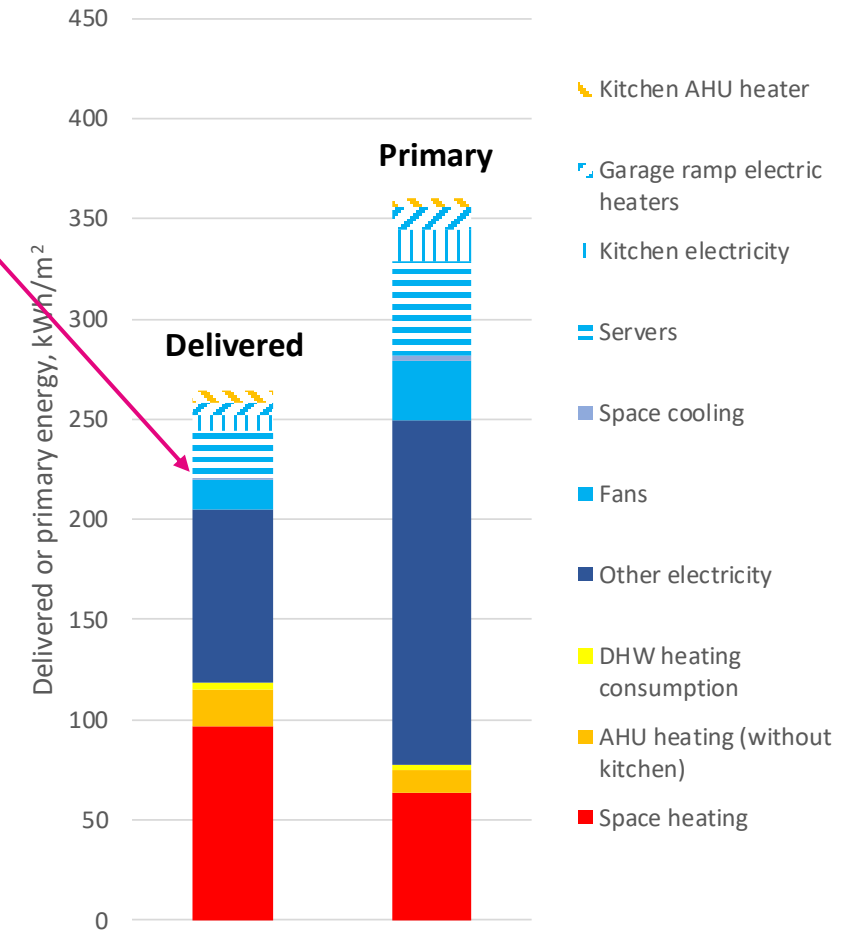
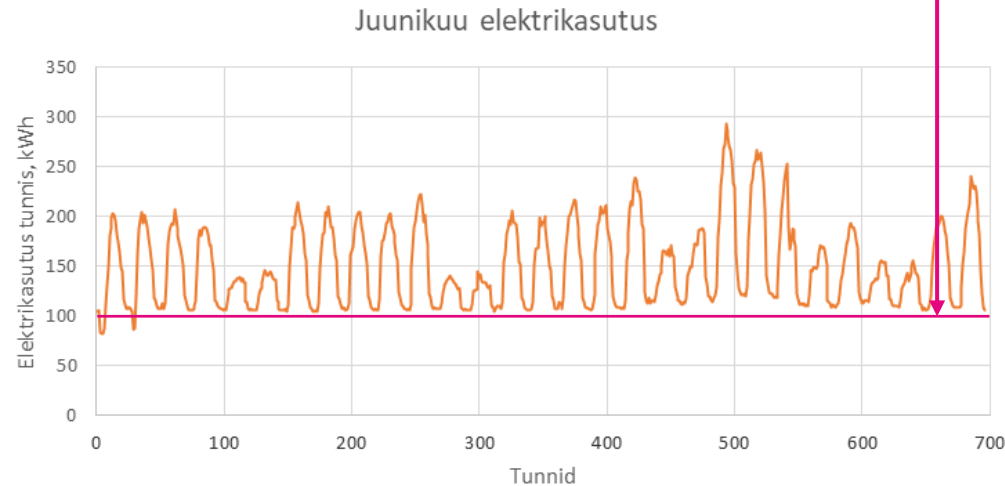
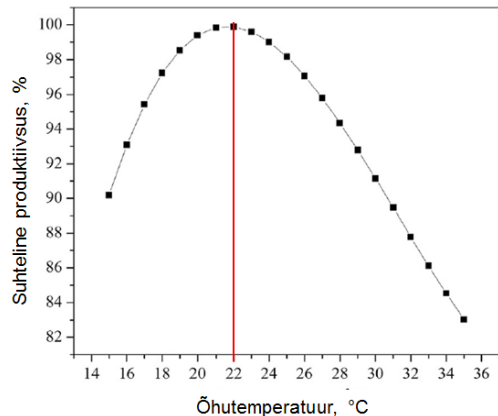


SOC, Heat Consumption W/m^2 . Week: 44 (31.10 - 06.11)



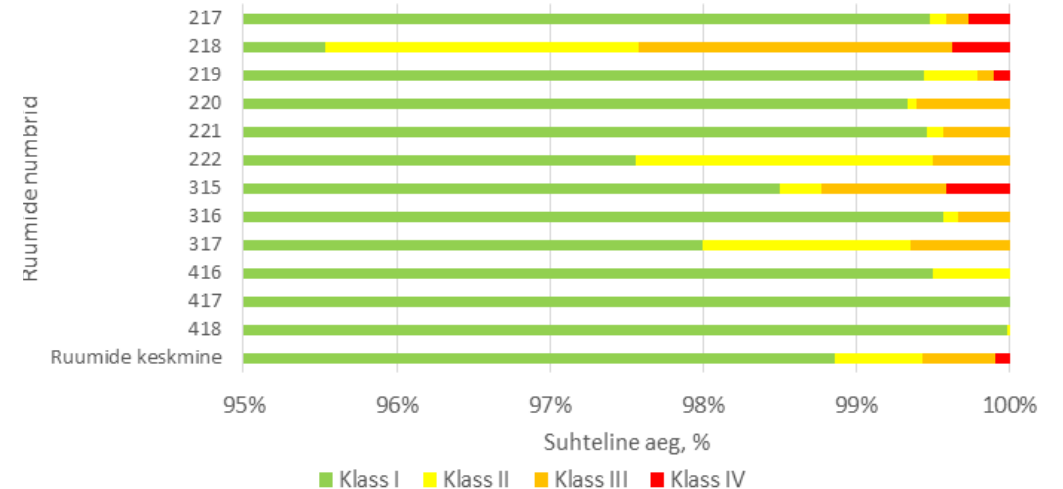
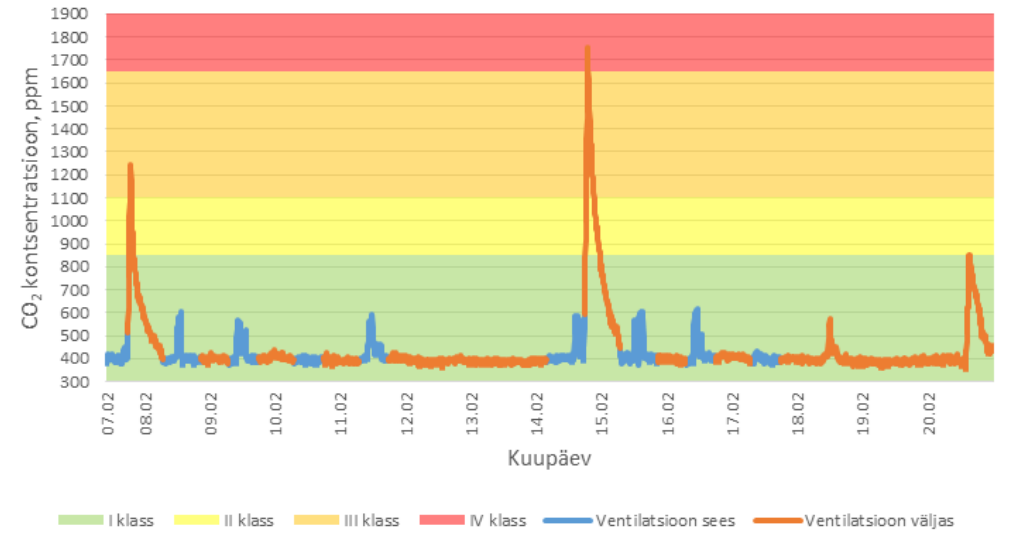
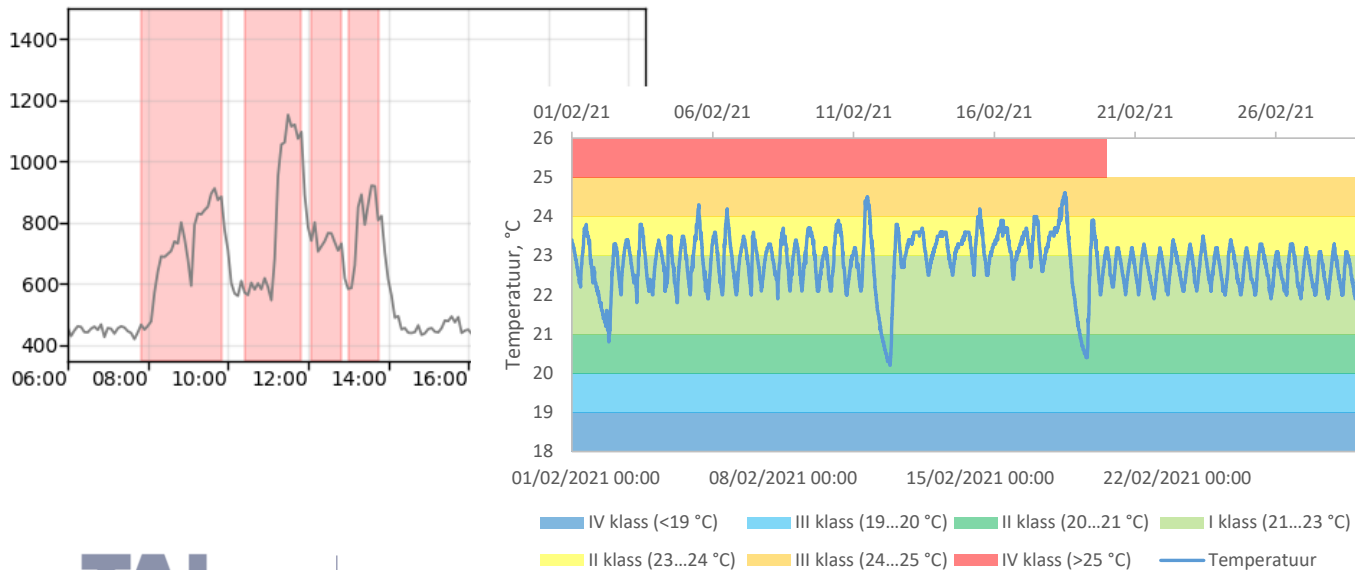
DETAILSE ANALÜÜTIKA RAKENDUSED – MIS ON OLULINE?

- 2022. aasta suvel ettepanek jahutus välja lülitada – ühe õppehoone mõõdetud kulu ca 1500 €/aastas
- Õppehoones pidev elektrivõimsus 100 kW – kulu ca 150000 €/aastas (50% selgitatav)
- Kuidas info otsustajateni viia?**



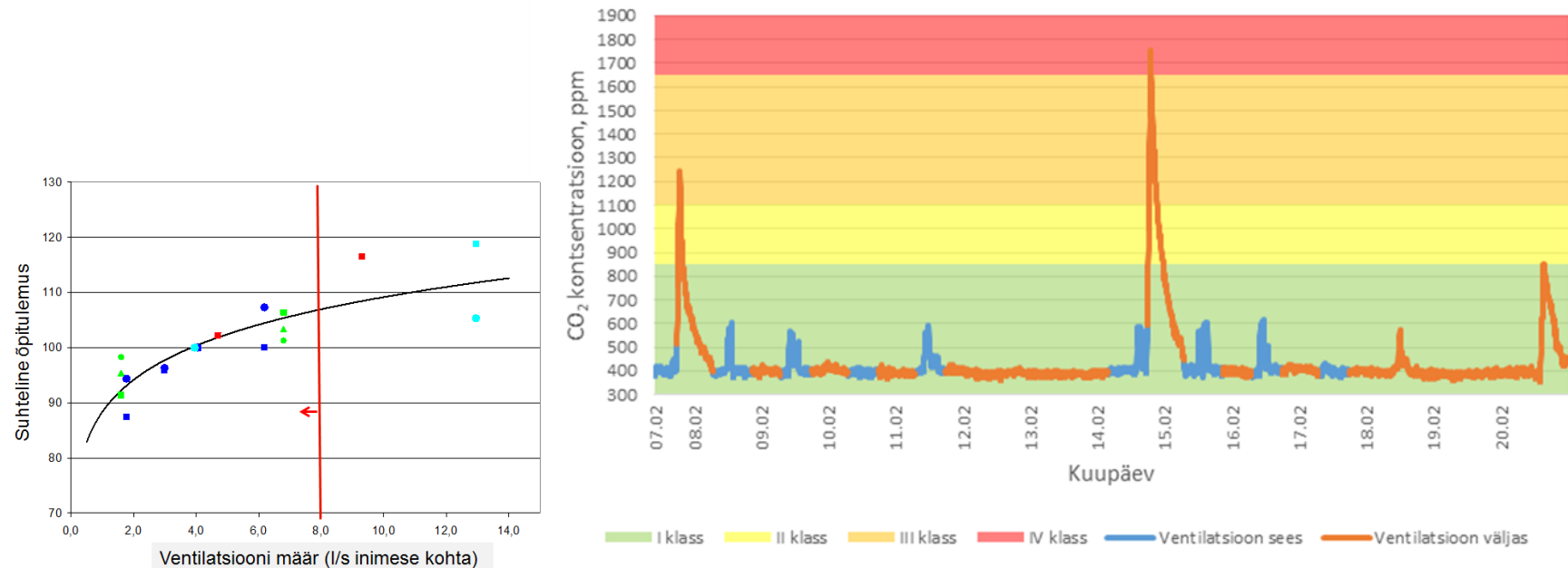
DETAILSE ANALÜÜTIKA RAKENDUSED – SISEKLIIMA

- Automaatne sisekliima märgis
 - Ruumide temperatuur ja CO₂ tase
 - Kasutusaja hindamine
- **Oluline ääretingimus tõhususe tagamisel**



DETAILSE ANALÜÜTIKA RAKENDUSED – RUUMIDE KASUTUS

- Suuresti kasutuseta tühjade auditooriumite ventileerimine
- Õhtuti kasutusel olevad auditooriumid ventileerimata → rumalamad õppurid
- **Kuidas erinevad süsteemid integreerida?**



Kellaageg	Ruumide hõivatus, %							Ventilatsiooni töögraafik						
	E	T	K	N	R	L	P	E	T	K	N	R	L	P
4:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1	0	0	0	0	0	0
5:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1	0	0	0	0	0	0
6:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1	0	0	0	0	0	0
7:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1	1	1	1	1	1	0
8:00	0%	17%	0%	17%	17%	0%	0%	1	1	1	1	1	1	0
9:00	0%	25%	17%	17%	17%	0%	0%	1	1	1	1	1	1	0
10:00	25%	42%	58%	67%	33%	8%	0%	1	1	1	1	1	1	0
11:00	25%	42%	58%	67%	25%	8%	0%	1	1	1	1	1	1	0
12:00	25%	17%	58%	75%	25%	8%	0%	1	1	1	1	1	1	0
13:00	8%	8%	42%	75%	25%	0%	0%	1	1	1	1	1	1	0
14:00	42%	42%	83%	25%	25%	0%	0%	1	1	1	1	1	1	0
15:00	33%	17%	25%	8%	17%	0%	0%	1	1	1	1	1	1	0
16:00	50%	50%	58%	42%	33%	0%	0%	1	1	1	1	1	1	0
17:00	25%	42%	67%	42%	25%	0%	0%	1	1	1	1	1	1	0
18:00	25%	25%	42%	42%	25%	0%	0%	0	1	0	0	0	0	0
19:00	17%	33%	50%	33%	17%	0%	0%	0	1	0	0	0	0	0
20:00	17%	8%	33%	25%	17%	0%	0%	0	1	0	0	0	0	0
21:00	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0	0	0	0	0	0	0

Ruumide hõivatus, %							Ventilatsiooni töörežiim	
0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	Sees	Väljas
0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	1	0

KOKKUVÕTE

- Rakenduste eesmärk
 - Kui tõhus hoone on ja kas see vastab lubatule?
 - Kas hoones on tagatud hea elu-, töö- ja õpikeskkond?
 - Kui palju ja kuidas on võimalik optimeerida/säästa?
- Automaatne hoone tõhususe hindamine
 - Kvaliteetsed (suur)andmed
 - Ääretingimused paika
 - Masinõppe ja reeglipõhise analüütika rakendamine
 - Selgitatavuse kihi lisamine (XAI)



TAL TECH

MARTIN THALFELDT

martin.thalfeldt@taltech.ee

