

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Épületgépészeti és
Létesítménymérnöki Tanszék



Lakóépületek energiaigényének vizsgálata sugárzó felületfűtések esetében

Szerző: Sipos Dóra/BSc hallgató

Témavezető: Prof. Dr. Kalmár Ferenc
Tanszékvezető: Dr. Lakatos Ákos

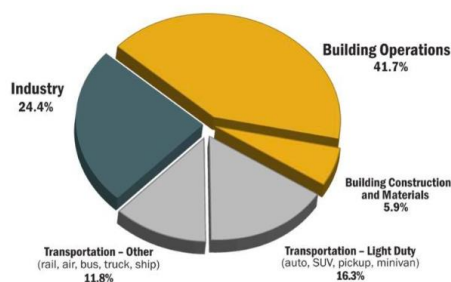
Debrecen
2021.

Tartalomjegyzék

I)	Bevezetés.....	3.
II)	Kutatás célja	9.
III)	Kutatás menete	10.
	1) A választott épület hőveszteségei.....	10.
	2) Utólagos hőszigetelés	14.
	3) Üvegezési arány	16.
	4) Sugárzó felületfűtések tervezése I.....	18.
	5) Sugárzó felületfűtések tervezése II.....	20.
	6) Hőleadók méretezése.....	24.
	7) Fűtési energiaigény meghatározása.....	25.
	8) Szabályozás	27.
	9) Radiátoros fűtési rendszer hőszigetelés nélkül: fűtési energiaigény meghatározása, szabályozás és radiátorok kiválasztása	30.
	10) Radiátoros fűtési rendszer hőszigeteléssel: fűtési energiaigény meghatározása, szabályozás és radiátorok kiválasztása	33.
	11) Beépített energia.....	37.
IV)	Konklúzió	41.
V)	Források.....	44.

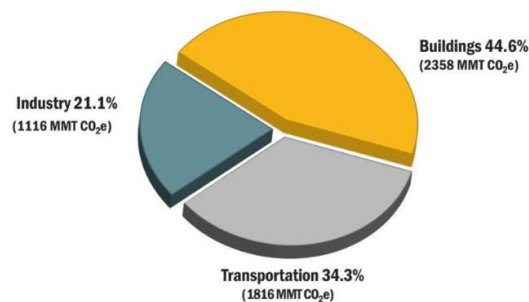
I) **Bevezetés** [1] [2] [3] [4] [5]

Mi a közös minden élőlényben, kezdve az emberektől, az emlősökön, madarakon át, de még a rovarokban is? Minden élőlénynek otthonra, lakhatásra van szüksége, mégpedig olyanra, amiben megtalálja a saját komfortját. Az embereknek -földrajzi helyzettől függően- fűtésre, hűtésre, villanyra, használati melegvízre van igényük. Ez mind magasabb energiaigényű komfortfeltétel, mint ami például a mókusnak az odújával jár. Zöld András Professzor szerint az energia nem közvetlen szükséglet, hanem az igények kielégítésének eszköze. A 19. század elején, az ipari forradalmak idején feltalálták az áramot, amivel világítani is tudtak az emberek. Innen kezdve folyamatosan egyre nagyobb és nagyobb az igény a világításra: minél erősebb, és minél több helyen legyen világosság. Ugyan ebben az időben megjelent az első melegvizes fűtés. Elkezdődött egy rohamos fejlődés, energiafelhasználás, magasabb igény a kényelemre. A 1900-as évek végére triviálissá vált, hogy ez így nem fenntartható, mivel az akkor rendelkezésre álló energia, mint például a kőolaj és a földgáz, véges, nem lehet örökké kinyerni ezeket a földből. A törvényhozók is felismerték a globális problémát. Nemzetközi egyezményeket, kibocsátási kvótákat vezettek be, támogatni kezdték a környezetbarát energia termelési módszereket. Például a 2010/31-es EU irányelv egyik legfontosabb célkitűzése is az energiafelhasználás csökkentése. A megújuló energia (napenergia, szélenergia) felhasználásának másik hangsúlyos oka tehát az, hogy a nagy mennyiségű fosszilis energiák elégetése üvegházhatású gázok kibocsátásával jár együtt. Még ma is az összes energiafelhasználás közel 40%-a az épületek, intézmények fenntartására fordul, így nyilvánvaló, hogy ebben a szektorban kell változtatni egy jobb és fenntarthatóbb jövő érdekében. A következő diagramokon jól látszik, hogy az épületek építése, fenntartása mennyi energiát emészt fel, valamint mennyi CO₂ kibocsátás köthető ehhez a szektorhoz. Így nyilvánvaló, hogy érdemes változtatni az építőipar szokásain.



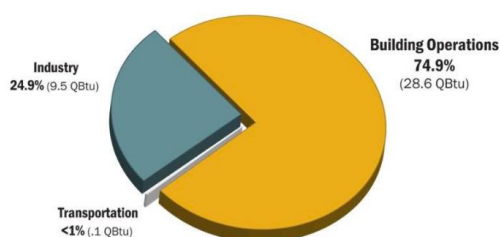
U.S. Energy Consumption by Sector

Source: ©2013 2030, Inc. / Architecture 2030. All Rights Reserved.
Data Source: U.S. Energy Information Administration (2012).



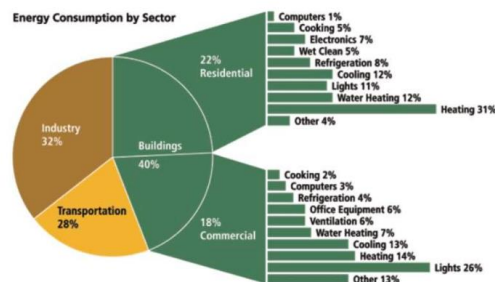
U.S. CO₂ Emissions by Sector

Source: ©2013 2030, Inc. / Architecture 2030. All Rights Reserved.
Data Source: U.S. Energy Information Administration (2012).



U.S. Electricity Consumption by Sector

Source: ©2013 2030, Inc. / Architecture 2030. All Rights Reserved.
Data Source: U.S. Energy Information Administration (2012).

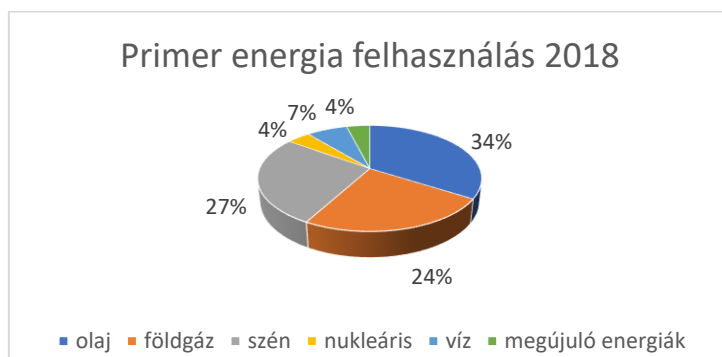


A BND (Bundesnachrichtendienst) tanulmány szerint, mindamellett, hogy a törtető országok energiaigénye csak nő, és nő, ami a konfliktushelyzetek kialakulásának veszélyét erősíti, a hagyományos technológiával kinyert olaj- és gázkészletek késleltetik a megújuló energiák tényleges hasznosítását. Egy másik tanulmány, a World Energy Outlook az IEA nemzetközi energiaügynökségtől, megfogalmazta, hogy még 1110 milliárd tonna CO₂-t lehet a légkörbe juttatni ahhoz, hogy a szén-dioxid kritikus határértékét (0,045 térfogatszázalékot) elérjük. Ha ettől több CO₂ kerül a légkörbe, a globális felmelegedés értéke eléri a 2 Kelvint. A helyzet sajnos vészjósló, mivel a jelenleg ismert energiahordozók elégetésével a földgáz 400 milliárd, az olaj 600 milliárd, a szén pedig 1700 milliárd tonna szén-dioxidot juttatna a légkörbe, ami a maximális értéknek majdnem a két és félszerese.

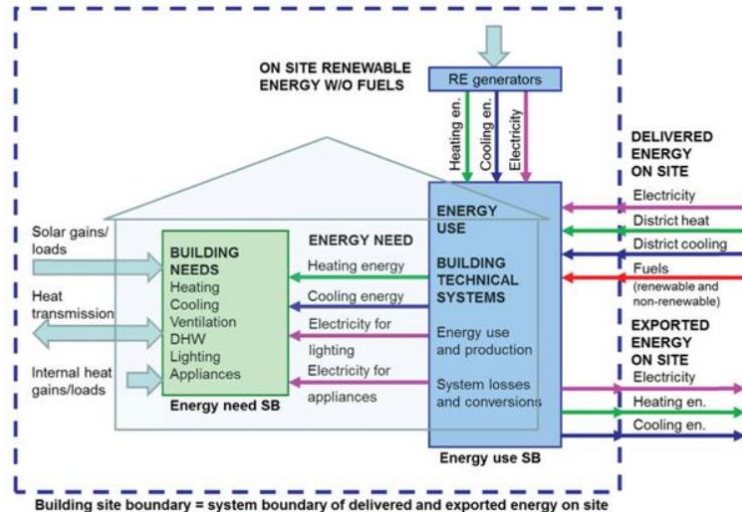
Az energiaellátás folyamat kiindulását a természetben előforduló tüzelőanyagok, megújuló energiák és a nem energetikai folyamatból keletkezett hulladékenergiák alkotják, együttes néven a primer energiahordozók. Ebbe a csoportba tartozik a napsugárzás, de a kőolaj, földgáz, szén és urán is. Szekunder-, vagy végső energiának nevezzük az energiaátalakítás során keletkezett energiákat. Brikett és pellet állítható elő növényi eredetű anyagokból,

kőolajfeldolgozás útján üzemanyagot állítanak elő (gázolaj és benzin). Ezeknek az energiahordozóknak nem megegyező a hasznos értékük, mivel nem mindegy, hogy az adott energiahordozó mennyi többletenergiával jár, amíg a kinyeréstől eljut a fogyasztóig. Például a faapríték felhasználásig határozottan több energiára van szükség, mint a tűzifához, hiába ugyan az az anyag. Ennek következtében az épületek más és más kaliberben fogyasztanak energiát. Nem elhanyagolható, hogy mennyi, milyen, és mennyire értékes energiahordozót használnak az épület gépészeti fenntartásához, és azok kinyerése, átalakítása, szállítása mennyi energiát követel. Ennek leírására szolgál a primerenergia-átalakítási tényező (primer energy conversion factor, jelölése: e). Viszonyítási alapja a földgáz, aminek értéke az egység. Az elektromos áram „ e ” értéke 2,5 (csúcson kívüli elektromos áramé 1,8), a szekunder megújuló energiáké 0,6, a primer megújulóké pedig 0. Ez sajnos a 2022-es nyár elejéig volt valós, azóta változott az energiaválság miatt.

2018-ban a primerenergia felhasználásnak a 85%-a kőolaj, földgáz és szén, megújuló pedig sajnos csak 15% -a víz és a nukleáris energia is megújuló energiának számít. Véleményem szerint, 2022-re ez az arány nem tolódott megfelelő arányban az utóbbi felé.

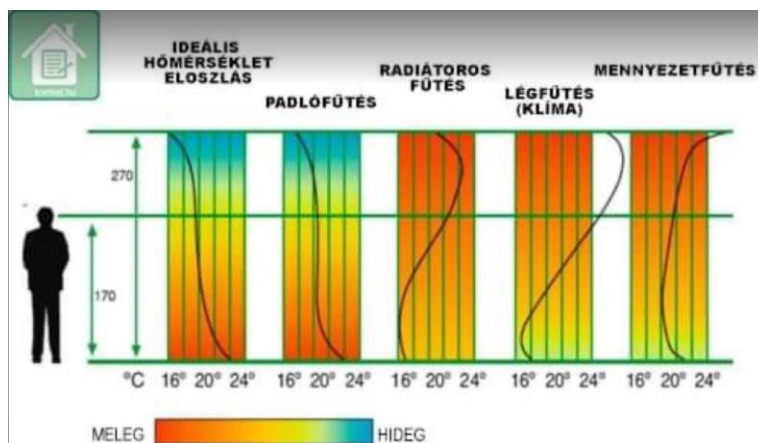


A REHVA (Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations), azaz az európai épületgépészmérnökök szövetsége felépített egy közel nulla energiaigényű épület (KNE) vázlatot, ami alább látható. Magyarországon folyamatosan tolódik ennek bevezetése, miszerint csak KNE épület kaphat lakhatási engedélyt. Legutóbb 2022. június 30-a után átadott épületekre volt igaz, de augusztus 16-án megjelent a Magyar Közlönyben, hogy csak 2024. június 30-tól érvényes.

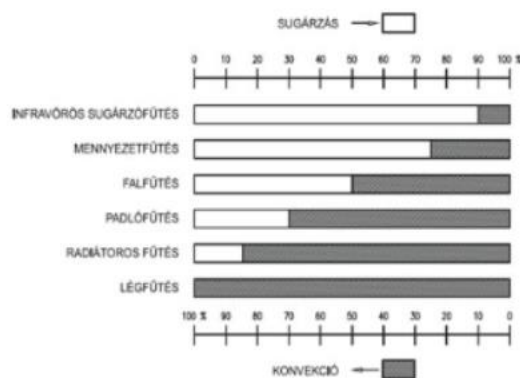


Az építőipar felelős az üvegházhatású gázok kibocsájtásának 30%-ért. Fontos megemlíteni a beépített energiát (angolul built-in energy of building materials vagy embodied energy), ami az üvegházhatású gázok kibocsájtását jelenti, amit az anyag életciklusa során okoz. Másik megfogalmazás szerint az építőanyagok beépített energiája az anyag vagy termék előállításához felhasznált összes energia. Magába foglalja a kitermelést, gyártást, karbantartást, de még a megsemmisítést is. Ahhoz, hogy valóban alacsony energiafelhasználású épületet hozzunk létre, fontos a beépített energia figyelembevétele. A vasbetonnak, kerámiának, téglának és műanyagnak kiemelkedően magas ez az értéke. Bonyolult számolni, számos adatforrást foglal magába.

Vertikális hőmérséklet különbségek vonatkoztatásában az ideális eset az, ha a padló a legmelegebb pontja a helyiségnek, a mennyezet pedig a leghűvösebb, mivel kívül esik a tartózkodási zónán. Az emberi szervezet legmelegebb része a fej, ezért az adja le a legnagyobb sugárzásos hőt környezetének. Ha a mennyezet melegebb a kelleténél, pláne, ha nem nagy a belmagasság, korlátozva van a hőleadás, ami diszkomfortot, és/vagy fejfájást okozhat. Az ideális hőmérsékleteloszláshoz a padlófűtés áll legközelebb. legtávolabb pedig a légfűtés.



A sugárzó fűtési rendszerek számos előnyük miatt egyre nagyobb mértékben kerülnek beépítésre. Felületfűtés alkalmazásával akár 2 °C-kal csökkenthető a helyiség hőmérséklete ugyanolyan hőérzet fenntartása mellett. Ez akár 10-12%-os energiamegtakarítást is jelenthet. Az épületszerkezetek belső felületéhez közel elhelyezett csőrendszerek alkalmasak úgy fűtésre, mint hűtésre. A nagy kiterjedésű felület miatt fűtés esetében alacsony-, hűtés esetében pedig relatív magas hőmérsékleten üzemeltethetők így a hőveszteségek (vagy hűtés esetében a felmelegedés) kisebbek, mint a hagyományos konvekciós fűtési/hűtési rendszerek esetében. Azt nem jelenthetjük ki, hogy a sugárzó fűtési rendszerek esetében nincs konvekciós hőleadás, de a sugárzások hőleadás mértéke mindenképpen nagyobb, mint pl. a radiátorok vagy konvektorok esetében:



Mivel zárt terekben az emberi test a környezettel történő hőcseréjének nagyobb része (44%) sugárzás (ami lehet hőfelvétel, vagy hőleadás) a sugárzó felületek alkalmazása hőérzeti szempontból előnyös. Fűtés esetében alacsonyabb felületi hőmérséklet mellett érhető el ugyanaz a hőérzet, mint konvekciós fűtési módok esetében, hűtés esetében, pedig magasabb felületi hőmérséklet is megengedhető ahhoz, hogy azonos hőérzetet biztosítsunk egy zárt térben, mint a konvekciós hűtési módok esetében. Így viszont egyrészt energiamegtakarítás érhető el, másrészt viszont exergetikai szempontból rosszabb minőségű energiaforrások is

felhasználhatók. A felület sugárzó fűtési/hűtési rendszereknél jó hatékonysággal alkalmazhatóak tehát a megújuló energiaforrások.

II) Kutatás célja

Tekintettel a sugárzó felületfűtések számos előnyére, illetve arra, hogy már elterjedtebb az újjépítésű lakóépületek esetében, mint a radiátoros fűtés, fontosnak tartom ezen fűtési rendszerek összehasonlítását a hagyományos, radiátoros fűtéssel szemben.

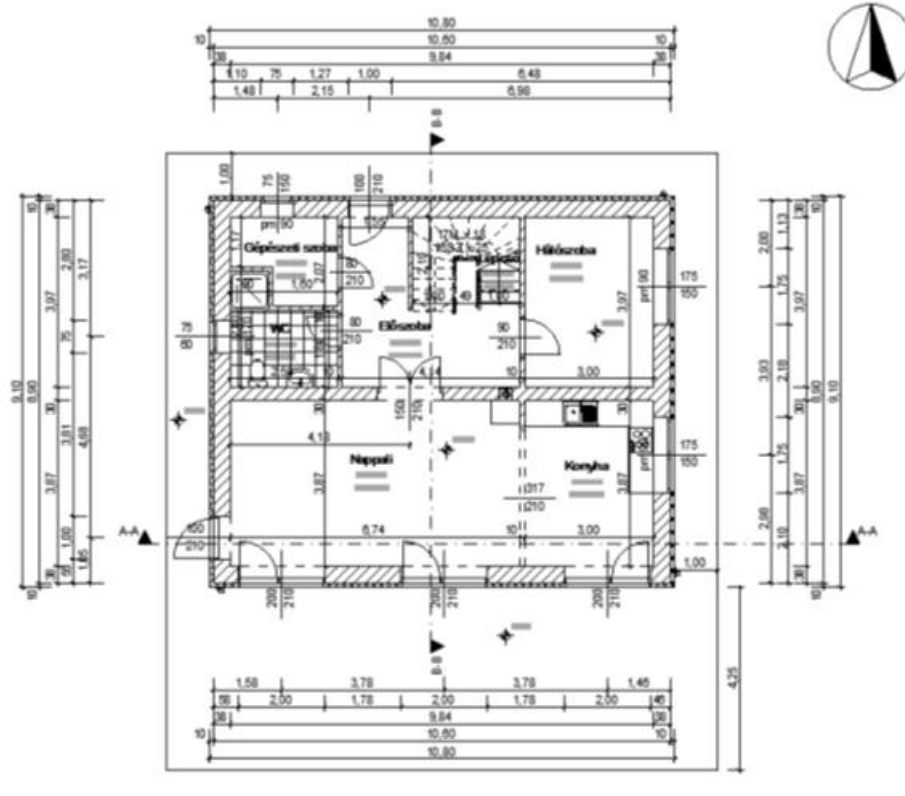
Jelenlegi követelményeknek megfelelően 15 cm hagyományos, polisztirol hőszigetelés szükséges egy újjépítésű, vagy felújítás alatt álló épület falszerkezetére. Ez viszonylag sok területet elvehet a telek hasznos területéből, pláne a magas négyzetméter árak, és a kicsi telkek végett. Ezzel szemben egy felületfűtés, érték itt például a falfűtési rendszerre, csak 3-4 cm vastagságot követel meg.

Újkeletű probléma a háborúra tekintettel, de mindenkor hasznos szempont az energiaspórolás. Egy hagyományos radiátoros fűtéshez 60-65 °C hőmérsékletű vizet kell előállítani, amíg egy átlag felületfűtéshez 30-40 °C is elegendő. Ha kazánnal állítjuk elő, akkor is energiahatékonyabb fűtési rendszer az utóbbi. Azonban mi van akkor, ha napelemek által termel a lakóépület annyi energiát, ami teljes mértékben lefedi ezen fűtési rendszer energiaigényét? Megoldható-e, ha nem hőszigeteljük semmivel a családi házat, csak körbe csövezzük felületfűtéssel? Megfelel-e így a követelményeknek a ház? Lehetséges-e egyáltalán? Ezt fogom vizsgálni a továbbiakban.

III) A kutatás menete

1) A választott épület hőveszteségei [2]

Kiválasztásra került, egy feltehetőleg 2005 környékén épült, kétszintes családi ház:



Rétegrendje az alábbi:

külső fal	talajra fektetett padló	padlásfödém
1 cm mészvakolat	2 cm kerámia burkolat + ragasztó	10 cm szálás hőszigetelés
38 cm Porotherm 38 N+F falazóblokk	4 cm aljzatbeton	20 cm monolit vasbeton födém
1,2 cm cementvakolat	PE technológiai szigetelés	1 cm mészvakolat
	5 cm lépésálló hőszigetelés	
	modifikált bit- vastaglemez vízszigetelés	
	bitumenes kellősítés	

	10 cm vasalt aljzatbeton	
	20 cm kavicságyazat	
	termett talaj	

- Első lépésként kiszámoltam a hőszigetetlen épület hőveszteségét.

A rétegek hővezetési tényező (λ) értékei, amivel számoltam:

réteg	λ [W/mK]
mészkövek	0,012
PTH 38 N+F	0,16
nemeskövek	0,93
kerámia burkolat	1,05
aljzatbeton	1,28
lépésálló hőszigetelés	0,038
vasalt aljzatbeton	1,55
kavicságyazat	0,35
szálas hőszigetelés	0,042
monolit vasbeton födém	1,55
ablak	2
ajtó	2,2

Ahhoz, hogy meg tudjam határozni az épület hőszükségletét, először meg kell határozni a szerkezetek hőátbocsátási ellenállását a következő képlet segítségével:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Az R érték reciproka az U, azaz a hőátbocsátási tényező, és ezt helyettesítjük be a következő képletekbe, hogy megtudjuk, mekkora a hőveszteség az adott szerkezeten:

$$Q_{\text{külső fal}} = A_{kf} \cdot U_{kf} (t_i - t_e)$$

$$Q_{\text{talajra fektetett padló}} = \psi_{\text{padló}} \cdot \Sigma l \cdot (t_i - t_e)$$

$$Q_{\text{padlásfödém}} = A_{paf} \cdot U_{paf} \cdot (t_i - t_e')$$

$$Q_{\text{ablak}} = A_a \cdot U_a \cdot (t_i - t_e),$$

ahol:

- A_{kf} -külső fal belső méretek szerinti felülete [m^2]
- U_{kf} -külső fal hőátbocsátási tényezője [$\frac{W}{m^2K}$]
- t_i -belső levegő hőmérséklet (i=internal) [$^{\circ}C$]
- t_e -külső levegő hőmérséklete (e=external) [$^{\circ}C$]
- $\psi_{padló}$ -talajon fekvő padló vonalmenti hőátbocsátási tényezője a kerület hosszegységére vonatkoztatva [$\frac{W}{mK}$]
- $\sum l$ -külső fal csatlazási éleinek hossza [m]
- A_{paf} -padlásfödém területe [m^2]
- U_{paf} -padlásfödém hőátbocsátási tényezője [$\frac{W}{m^2K}$]
- A_a -ablak felülete [m^2]
- U_a -ablak hőátbocsátási tényezője [$\frac{W}{m^2K}$].

Az ablak és ajtó hőveszteségét hasonlóan kell számolni.

A t_e és t_e' értékek a következőképpen változnak Magyarországon téli időben:

	Kelet-Magyarország	Közép-Magyarország	Nyugat-Magyarország
t_e	-15	-13	-11
t_e'	-8	-6	-4

Én a számítások során Kelet-Magyarország értékeivel számoltam.

A hőhidak az épületszerkezet azon részei, ahol 2-3 dimenziós hőáramlás alakul ki. Hőhíd lehet egy sarokél, különböző anyagok nem párhuzamos elhelyezése egy szerkezeten belül, és az is, ha a falra szorosan elhelyezünk egy nagy gardrób szekrényt. Az épületgépészeti számítások során az első kettőt vesszük figyelembe. A hőhidak hővesztesége így számolható:

$$Q_{hh} = \sum (l \cdot \psi) \cdot (t_i - t_e),$$

ahol:

- l -adott hőhíd típus jellemző mérete [m]
- ψ -vonalmonti hővezetési tényező [$\frac{W}{mK}$].

Különböző hőhíd típusoknak más-más ψ értékük van. Amik a választott épületben vannak, dőlt betűkkel jelöltem:

Hőhíd típus	$\psi \left[\frac{W}{mK} \right]$
<i>falazott sarokél</i>	0,1
falazott sarokél + külső hőszigetelés	0,15
<i>külső fal-belső fal csatlakozás</i>	0,06
külső fal-belső fal csatlakozás + hőszigetelés	0,03
<i>külső fal és födém csatlakozása</i>	0,15
külső fal és födém csatlakozása + hőszigetelés	0,03
<i>nyílászárók kerülete</i>	0,15
<i>párkány</i>	0,2
erkélylemez	0,25

Ha több hőhíd is jelen van egy helyen, akkor mindig csak a nagyobb vonalmenti hővezetési tényezőjűt vesszük figyelembe.

A külső fal, a talajra fektetett padló, a padlásfödém, az ablak és a hőhíd hőveszteségeinek összege adja a transzmissziós hőveszteséget. De ez még nem a teljes, hiányzik a szellőzés Q értéke.

$$Q_{sz} = 0,35 \cdot n \cdot V \cdot \Delta t,$$

ahol:

- n -légcsereszám [h^{-1}]
- V -helyiség térfogata

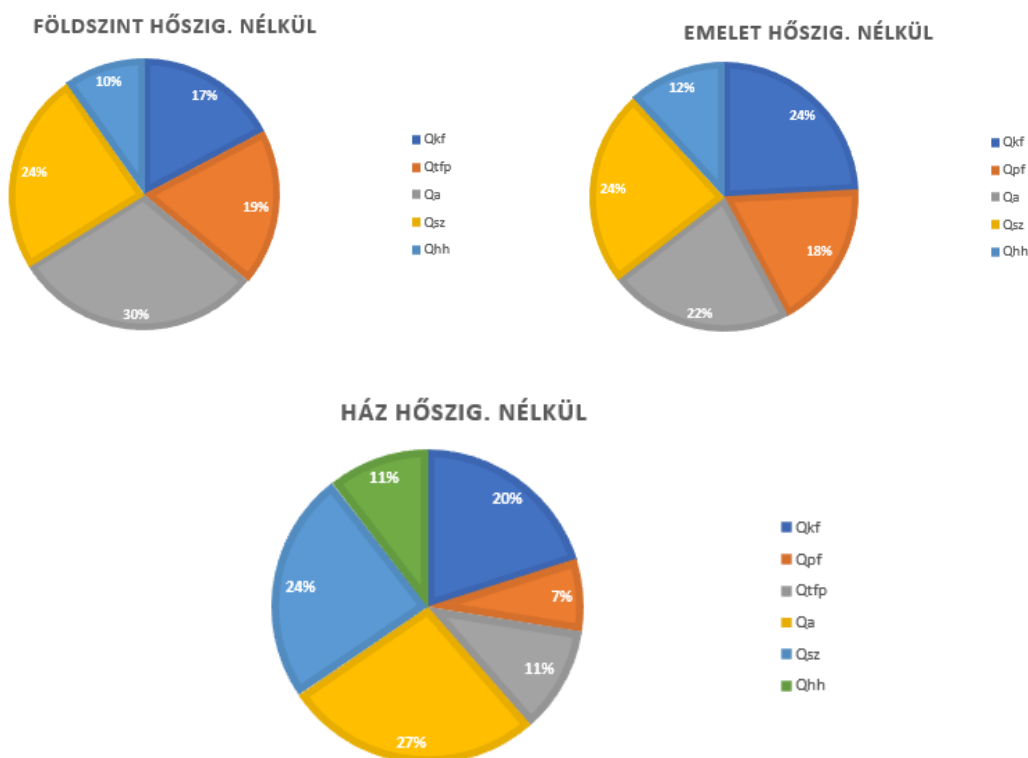
A szellőzési- és a transzmissziós hőveszteség adja az összes hőveszteség értékét.

A kétszintes családi háznak a földszintjén van hőveszteség a talajra fektetett padlón, a külső falon, az ablakokon, a bejárati ajtón, a hőhidakon és a szellőzésen keresztül, az emeleten pedig a padlásfödémén, a külső falon, az ablakokon, a hőhidakon, és szintén a szellőzésen keresztül.

Az épületnek a hőveszteségei a következők:

	Szám	Elnevezés	Akf	Ukf	Kkf	Q kf	Apf	Upf	Rpf	Qpf	Σ	ψ	U _{tfp}	R _{tfp}	Q _{tfp}	Aa	Ua	Qa	Qsz	Q _{hh}	Q _δ	
Földszint	001	Hálósza	15,98	0,39	2,57	218,13						6,97	0,95	0,57	1,76	231,75	2,63	2	183,75	194,78	94,34	922,74
	002	Nappali-konyha	29,61	0,39	2,57	404,23						17,58	0,95	0,57	1,76	584,54	17,33	2	1212,70	622,79	284,34	3108,59
	003	WC	6,76	0,39	2,57	92,26						2,70	0,95	0,57	1,76	89,78	0,45	2	31,50	86,85	40,88	341,26
	004	Gépeszeti szoba	8,94	0,39	2,57	122,04						3,77	0,95	0,57	1,76	125,35	1,13	2	78,80	69,21	64,76	460,17
	005	Előszoba	2,04	0,39	2,57	27,83						1,55	0,95	0,57	1,76	51,54	2,10	2	161,70	176,89	51,90	469,85
	006	Lépcső	11,44	0,39	2,57	156,16						2,49	0,95	0,57	1,76	82,79	3,00	2	210,00	355,25	65,06	869,26
Emelet			74,77			1020,64						35,06				1165,75	26,63		1878,45	1505,77	601,28	6171,88
	101	Gardrób	14,84	0,39	2,57	202,50	8,06	0,37	2,71	104,38							1,13	2	78,75	138,23	76,42	600,28
	102	Hálósza I	19,23	0,39	2,57	262,45	15,51	0,37	2,71	200,88							4,13	2	288,75	251,59	130,53	1134,20
	103	Hálósza II	6,80	0,39	2,57	92,82	13,55	0,37	2,71	175,41							3,00	2	210,00	235,13	70,39	783,74
	104	Hálósza III	16,06	0,39	2,57	219,26	12,93	0,37	2,71	167,39							4,13	2	288,75	224,49	124,60	1024,49
	105	WC	4,59	0,39	2,57	62,65	2,88	0,37	2,71	37,30							0,45	2	31,50	49,39	36,70	217,54
	106	Fürdőszoba	17,40	0,39	2,57	237,46	9,32	0,37	2,71	120,63							1,00	2	70,00	159,75	55,97	643,80
Épület			78,91			1077,14	62,24			805,98							13,83		967,75	1058,58	494,60	4404,05
			153,68			2097,77	62,24			805,98	35,06				1165,75	40,45		2846,20	2564,35	1095,88	10575,93	

Leolvasható, hogy az ingatlan összes Q-ja 10 576 [W]. A hőveszteségek eloszlására készítettem pár kördiagramot:



A háznak viszonylag sok üvegfelülete van, ez látható a diagramokon is, mivel ehhez tartozik a legnagyobb körcikk. A Q_{pf} és a Q_{tfp} értéke közel azonos arányban veszteséges. A kutatás hipotézise alapján padló-, fal- és mennyezetfűtéssel ki akarjuk zárni az ezen felületeken átáramló hőveszteségeket, ezáltal ezek ki is esnek ezek. A Q_{δ} -nek több, mint egyharmada ezek a hőveszteségek.

2) Utólagos hőszigetelés

Az építkezések során felhasznált különböző típusú hőszigetelő anyagok hővezetési tényezője az alkalmazott technológiától függően a beépítés során változik (tömörödés, nedvesedés, dübelezés, stb). A legtöbb esetben nagyobb lesz a λ beépítés után, Hogy pontos számításokat

végezzünk, ezzel foglalkozni kell. Szakmai megállapodás szerint külső fal esetében a nedvesedést a vakolat alatti 2 [cm] vastagságra vesszük figyelembe. A λ_0 az anyag eredeti állapotához tartozó λ .

$$\lambda_{beép} = \lambda_0 \cdot (1 + \kappa)$$

$$\kappa = 0,42$$

Ugyanúgy a korrekt számítások miatt, figyelembe kell venni, hogy 1 [m²] metszetben a hőszigetelő anyagon kívül dübel is van. Ehhez egy eredő hővezetési tényezőt számolunk:

$$\lambda_e = \frac{\lambda_{sz} \cdot A_{sz} + \lambda_d \cdot A_d}{A_{sz} + A_d}$$

Az „sz” index a szigetelést jelöli, a „d” index pedig a dübelt. A számításaim során négyzetméterenként 7 [db] 8 [mm] átmérőjű, műanyag dübellel kalkuláltam, λ értéke 0,28[W/mK]. Ez a képlet a nem nedvesedett réteghez vonatkozik. Ha megvan a λ_e értéke, akkor beillesztjük a következő képletbe:

$$\lambda_e' = \lambda_{beép} \cdot A_{sz} + \lambda_d \cdot A_d$$

Ez az utóbbi egyenlet magába foglalja a 2 [cm] nedvesedett részét a polisztirolnak. Az én számításaim során a következőket kaptam:

- $\lambda_{beép} = 0,057$
- $\lambda_e = 0,06$
- $\lambda_e' = 0,077$

Az utólagos hőszigetelés vastagságát mindig az R_{δ}' függvényében határozzuk meg. Az U' a követelmény szerinti hőátbocsátási tényező.

Szerkezet	U [W/m ² K]
külső fal	0,24
padlásfödém	0,17
talajra fektetett padló	0,3
ablak	1

$$\frac{1}{U'} = R_{\delta}'$$

Külső fal esetében:

$$R'_0 = R_0 + \frac{x}{0,06} + \frac{0,02}{0,077} + \frac{0,003}{0,99}$$

Az első tag az eredeti hővezetési ellenállás. A második tag nevezője az eredő hővezetési tényező, az x értéket keressük. A harmadik tag az átnedvesedett 2 [cm], az utolsó pedig a 3 [mm] vastag nemesvakolat. Ha megkaptuk az „x” értéket, hozzá kell adni a 2 centiméter nedvesedett részt, akkor kapjuk meg a tényleges hőszigetelés vastagságát.

Padlásfödém esetében:

$$R'_0 = R_0 + \frac{x}{0,042}$$

A 0,042 az ásványgyapot hővezetési tényezője.

Talajra fektetett padló esetében:

$$R'_0 = R_0 + \frac{x}{0,047}$$

A második tag nevezője a polisztirol λ értéke.

Az „x” értékeim a következők:

- $x_{k.f.} = 7,87 \text{ [cm]}$
- $x_{pa.f.} = 14 \text{ [cm]}$
- $x_{t.f.p.} = 2 \text{ [cm]}$

Ezek alapján a plusz hőszigetelés vastagságok:

külső fal	10 [cm]
padlásfödém	14 [cm] (a már meglévő ásványgyapottal együtt 24 [cm])
talajra fektetett padló	2 [cm] (a már meglévő ásványgyapottal együtt 7 [cm])

3) Üvegezési arány

Az épületek energetikai besorolása szempontjából lényeges az üvegezési arány (továbbiakban: WWR, Window to Wall Ratio) meghatározása. Értékét az alábbi összefüggés alapján kapjuk meg:

$$WWR = \frac{A_{ablak}}{A_{homlokzat}}$$

$$A_{homlokzat} = A_{k.f.} + A_{ablak}$$

A leghatékonyabb WWR 20% körül mozog. A választott ház WWR-jai:

Tájolás	A _{ablak} [m ²]	A _{fal} [m ²]	WWR [%]
Észak	4,125	53,83	7,7
Kelet	7,5	44,53	16,8
Dél	21,6	53,83	40,1
Nyugat	5,125	44,53	11,5
Összes	38,35	196,7	19,49

Látható, hogy a ház minden oldalához tartozó WWR-ja 19,49%, ami a 20%-ot közelíti. Ez olyan felület, ami hőveszteséget is okoz, de nagymértékű sugárzásos nyeresége van, ellenben a külső fallal, a talajra fektetett padlóval, és a padlásfödémrel. Ezeknek az összege 301 [m²]. Hogyha ehhez viszonyítom az ablakok felületét, akkor 12,7 %-a az össz felülete a lakásnak, ami csak hőveszteséget okoz. Ha ezen változtatni szeretne a ház tulajdonosa, megteheti az úgynevezett passzív ablakokkal.

A passzív ablakoknak több előnye van: nagy felületük ellenére lehet csökkenteni a hőveszteségüket a technológiájuknak köszönhetően, valamint ki lehet élvezni a napsugárzásból adódó hőnyereséget a téli időszakban, stabil szobahőmérsékletet és konzisztens komfortot lehet tartani. Ezen ablakok U értékei elérhetik akár a 0,4 [W/(m²K)]-t, ezáltal egy magas ellenállás értéket kapunk. Viszonyításképp, a jelenlegi rendeletek alapján az ablakok hőátbocsátási tényezőjének maximum 1 [W/(m²K)]-nek kell lennie. Ezek az ablakok 3 üvegből épülnek fel, és gyakran argon- vagy kripton-gázzal töltik ki az üvegek közötti teret. Rendkívül jó szigetelőanyagból készül a keretük. Egy ablak kb. 20-30%-a maga a keret, ezért kiemelkedően fontos a keret anyaga, és épületfizikai jellemzői.

4) Sugárzó felületfűtések tervezése I. [12]

Első lépésként terveztem a házba külön-külön padló-, fal-, mennyezetfűtést. Ez a fejezet egy egyszerűbb számítási mód alapján készült. Mindegyikhez használtam tervezési segédletet, amit egy felületfűtésekkel foglalkozó cég adott meg saját termékeire.

Először felvezetem a 3 önálló fűtési rendszer eredményeit.

A padlófűtést csak földszintre terveztem, mivel a cél a ház körbecsövezése felületfűtéssel, azaz a földszinten padló-, és falfűtést kell tervezni, az emeleten pedig fal-, és mennyezetfűtést.

A padlófűtés a következő:

Szint	Szám	Elnevezés	Q ₀ -tfp	A padló	Burkolat	t _{köz} =30°C			t _{köz} =35°C			t padló
						10 cm	15cm	20cm	10 cm	15cm	20cm	
Földszint	001	Hálósoba	691,00	11,91	vékony szőnyegpadló	833,7079	738,427	631,236				25,7
Földszint	002	Nappali-konyha	2524,05	38,08	kerámia burk, PVC	3198,921	2741,933	2361,109				26,6
Földszint	003	WC	251,49	5,31	kerámia burkolat	446,1124	382,382	329,2734				25,7
Földszint	004	Gépészeti szoba	334,82	4,48	kerámia burkolat	376,32	322,56	277,76				27,6
Földszint	005	Előszoba	418,32	10,82	kerámia burkolat	908,5843	778,7865	670,6217				25,7
Földszint	006	Lépcső	786,49	8,59	vékony szőnyegpadló	601,3	532,58	455,27	884,77	790,28	678,61	28,3

A táblázat oszlopai sorban azt jelentik, hogy

1. Szint
2. Helyiség szám
3. Helyiség elnevezése
4. A helyiség összes hőszükségletéből kivontam a talajra fektetett padló hőveszteségét, mivel ennyi Watt hőt kell előállítani az adott rendszerrel. Azért vontam le a Q_{tfp}-t, mert ha a talajra fektetett padlón keresztül fűtjük a helyiséget, elenyésző mennyiségű a veszteség azon a felületen. A padlófűtéshez a csöveket a beton legfelső rétegébe helyezük el, ezért sokkal kisebb az ellenállás felfelé, és a hő mindig a legkisebb ellenállású hely felé igyekszik.
5. A talajra fektetett padló felszíne
6. Burkolat típusa
7. A t_{köz} a fűtés közepes hőmérsékletét jelöli. Alatta a 10, 15 és 20 cm a csőfektetési távolságot jelenti.
8. A padló felszínének hőmérséklete

Azt, hogy melyik közepes hőmérséklet és csőfektetési távolság mennyi Watt hőt generál, az alábbi számok segítségével határoztam meg (a hőleadást $[W/m^2]$ összeszoroztam a felület nagyságával):

tköz=30°C			V.SZ.P
10	15	20	fektetési táv
70	62	53	hőleadás W/m^2
tköz=30°C			K. B vagy PVC
10	15	20	fektetési táv
84	72	62	hőleadás W/m^2
tköz=35°C			V.SZ.P
10	15	20	fektetési táv
103	92	79	hőleadás W/m^2

A V. SZ. P. a vékony szőnyegpadlót, a K. B. pedig a kerámiaburkolatot jelöli.

Az első táblázatban a sárga cellák jelölik, hogy melyik $t_{köz}$ és csőfektetési távolság kombinációja elégíti ki a helyiség hőigényét. Például a 001-es helyiségbe a 30 °C-os középhőmérsékletű, 15 cm-es csőfektetési távolságú padlófűtés fedezi a hálószoa hőigényét. A padló hőmérséklete 25,7 °C lesz.

Második a falfűtéses rendszer:

Szint	Szám	Elnevezés	Qö-kf	A külső f.	θ =15 [°C]	θ =20 [°C]	θ =25 [°C]	θ =30 [°C]
Földszint	001	Hálószoa	704,62	15,985	959,1			
Földszint	002	Nappali-konyha	2704,36	29,615	1776,9	2369,2	2961,5	
Földszint	003	WC	249,00	6,759	405,54			
Földszint	004	Gépeszeti szoba	338,13	8,67	520,2			
Földszint	005	Előszoba	442,03	2,04	122,4	163,2	204	244,8
Földszint	006	Lépcső	713,10	12	720			
Emelet	101	Gardrób	397,78	14,56	873,6			
Emelet	102	Hálószoa I	860,85	18,39	1103,4			
Emelet	103	Hálószoa II	693,06	6,8	408	544	680	816
Emelet	104	Hálószoa III	807,36	15,125	907,5			
Emelet	105	WC	154,89	4,59	275,4			
Emelet	106	Fürdőszoba	406,35	17,416	1044,96			

A táblázat oszlopai a következők:

1. Szint

2. Helyiség száma
3. Helyiség elnevezése
4. Az összes hőveszteségből kivontam a külső falon átáramló hőveszteséget (indoklása a padlófűtéses fűtési rendszer alatt ki van fejtve)
5. A külső fal felszíne
6. Az utolsó 4 oszlop a fűtési közepes hőmérsékletet jelöli.

Közepes fűtési hőmérséklet-különbség

A $\Delta \theta_m$ fűtési közepes hőmérséklet az előremenő hőmérséklet, a visszatérő hőmérséklet, és a méretezési belső hőmérséklet logaritmusos közepe (a DIN EN 1264 alapján). Ez határozza meg a fajlagos hőleadást.

(1) képlet

A DIN EN 1264 3. része alapján:

$$\Delta \theta_m = \frac{\theta_V - \theta_R}{\ln \frac{\theta_V - \theta_i}{\theta_R - \theta_i}}$$

A falfűtéses rendszer nem különálló csövekből, hanem panelekből áll. Ennek előnye a gyors felszerelés, kész falakon történő kivitelezés, és a szárazépítési módszer is.

A táblázatban a zölddel jelölt fedezi a számítások alapján a helyiségek hőszükségeit. Egyedül az előszobában nem lehetséges az arányaiban kevés falfelület miatt.

A harmadik pedig a mennyezetfűtés tervezése:

Szint	Szám	Elnevezés	Qö-paf	A padlásfödém	tköz=30°C			tköz=35°C			0
					10 cm	15cm	20cm	10 cm	15cm	20cm	
Földszint	001	Hálószoza	691,27	11,91	833,7079	738,427	631,236				25,7
Földszint	002	Nappali-konyha	2523,66	38,08	3198,921	2741,933	2361,109				26,6
Földszint	003	WC	246,57	5,31	446,1124	382,382	329,2734				25,7
Földszint	004	Gépészeti szoba	331,06	4,23	376,32	322,56	277,76				27,6
Földszint	005	Előszoba	418,22	10,82	908,5843	778,7865	670,6217				25,7
Földszint	006	Lépcső	684,22	8,59	601,3	532,58	455,27	884,77	790,28	678,61	28,3

Zölddel jelöltem azt a módot, ahol teljesül a hőigények kiszolgálása. Egyedül a lépcsőházba nem sikerült fedezni a hőszükségletet 30°C-os közepes vízhőmérséklettel, de ennek oka egyszerű: nagy légterű helyiség, mivel a belmagassága a két szint összege, plusz a szintközi födém vastagsága.

5) Sugárzó felületfűtések tervezése II. [6]

Ez a fejezet egy összetett, hosszabb számítás alapján készült. A matematikai modellek a Kollmar-módszer alapján kerültek leírásra.

A fő matematikai modell a következő:

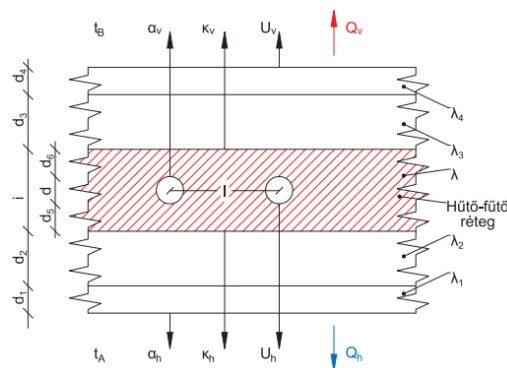
$$t_{\text{víz,átlag}} = t_A + \frac{Q_h}{A \cdot U_h} \cdot \frac{0,5 \cdot m \cdot l}{\tanh(0,5 \cdot m \cdot l)} + \frac{Q_h + Q_v}{L} \cdot R_c,$$

amiben a tagok a következőket foglalják magukba:

- $t_{\text{víz,átlag}}$ - az előremenő és visszatérő hőmérséklet átlaga

- t_A - a vizsgált helyiség hőmérséklete (20°C)
- Q_h - a helyiség hővesztesége, hőigénye
- A - a fűtőfelület nagysága
- U_h - a vizsgált helyiség levegője és a cső felszíne közötti hőátbocsátási tényező
- $m = \sqrt{\frac{\kappa_h + \kappa_v}{i \cdot \lambda}}$, ahol:
 - κ_h és κ_v -a fűtő réteg alatti és feletti U
- l - csőosztás
- L - a felületbe betekert cső hossza
- R_c - a cső hővezetési ellenállása

Mivel energetikai számításokat végeztem, a fűtött helyiségek 20°C -os hőmérsékletűek. A helyiségek hőveszteségei a 'Kutatás menete' címszó alatti táblázatban láthatóak, azonban, ha falfűtést terveztem, akkor az összes hőveszteségből ki kellett vonnom a külső falét, mivel csak elhanyagolható mértékű Q áramlik azon a felületen, ha becsövezzük. Ugyanígy jártam el a padló-, és mennyezetfűtéssel is. Az ' A ' evidens, az U_h , κ_h és κ_v szemléltetésére szolgál az alábbi ábra.



[6]

A csőosztás 30 cm-es. A betekert cső hossza helyiségenként:

Szám	Elnevezés	L külső fal	L padló	L mennyezet
001	Hálószoza	60,51	42,4	
002	Nappali-konyha	116,16	131,52	
003	WC	25,23	16,5	
004	Gépészeti szoba	32,04	16,6	
005	Előszoba	13,92	37,85	
006	Lépcső	38,5		
101	Gardrób	51,75		28,7
102	Hálószoza I	73,4		52,26
103	Hálószoza II	23,8		45,57
104	Hálószoza III	57,25		45,57
105	WC	16,8		10,2
106	Fürdőszoba	61,05		33,3
	összes:	570,41	244,87	215,6
				1030,88

A cső hővezetési ellenállását így számoltam ki:

$$R_c = \frac{1}{2\pi\lambda} \cdot \ln \frac{d_e}{d_i}$$

Fal-, és mennyezetfűtéshez 9,9x1, padlófűtéshez pedig 16x2-es műanyagcsővel számoltam. Ez azt jelenti, hogy az előbbihez a d_e (külső átmérő) érték 9,9 mm, a d_i (belső átmérő) pedig 7,9 mm, utóbbinál pedig $d_e=16$ mm, $d_i=12$ mm. Mivel műanyag a cső anyaga, ezért a $\lambda=0,21$ W/mK.

A fal-, és mennyezetfűtéshez használt cső hővezetési ellenállása:

$$R_c = \frac{1}{2\pi \cdot 0,21} \cdot \ln \frac{16 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 10^{-3}} = 0,22 \frac{mK}{W}$$

A padlófűtéshez használt cső hővezetési ellenállása:

$$R_c = \frac{1}{2\pi \cdot 0,21} \cdot \ln \frac{9,9 \cdot 10^{-3}}{7,9 \cdot 10^{-3}} = 0,1 \frac{mK}{W}$$

Az U_h (hasznos) a cső felszíne feletti hőátbocsátási tényező. Ez a hőátbocsátási ellenállás (R) reciprokja, amit a $\sum(d/\lambda)$ képlet segítségével határozhatunk meg.

U_{htfp}	5,28	W/m ² K
U_{hkf}	7,62	W/m ² K
U_{hmenny}	9,41	W/m ² K

A κ_h κ_v a csőfektetési réteg feletti (hasznos) és alatti (veszteséges) hőátbocsátási tényező, szintén az R reciprokja, csak ebben benne van már a cső felszíne felett minden.

κ_{htfp}	5,169	W/m ² K
κ_{hkf}	7,281	W/m ² K
κ_{hmenny}	8,901	W/m ² K
κ_{vtfp}	0,649	W/m ² K
κ_{vkf}	0,411	W/m ² K
κ_{vmenny}	0,385	W/m ² K

Ezen értékek segítségével ki tudjuk számolni az m -et. Képletét az alfejezet elején megjelöltem. Az ' i ' a csöveket tartalmazó fűtőréteg vastagsága. Mennyezetnél és külső falnál 0,02 m, padlónál pedig 0,04 m.

	m
padló	10,66
paf	23,94
kf	21,79

Így, hogy megvan minden, be tudunk helyettesíteni az első képletbe. Minden helyiségben arányosítottam a fűtő felület nagyságát, és ezzel az aránypárral számoltam tovább a $t_{\text{víz,átlag}}$ -ot minden helyiség külső falára és padlójára vagy mennyezetére. Az alábbi értékek jöttek ki:

Szám	Elnevezés	$t_{\text{víz,átlag}}$ padló	$t_{\text{víz,átlag}}$ mennyezet	$t_{\text{víz,átlag}}$ külső fal
001	Hálószoza	23,73		21,48
002	Nappali-konyha	25,21		23,25
003	WC	23,06		21,22
004	Gépészeti szoba	22,97		21,62
005	Előszoba	25,58		22,22
006	Lépcső			25,35
101	Gardrób		21,11	21,41
102	Hálószoza I.		21,93	21,70
103	Hálószoza II.		22,24	22,51
104	Hálószoza III.		21,46	22,59
105	WC		21,23	21,71
106	Fürdőszoba		20,96	21,20

Ezek a fűtő víz átlaghőmérsékletei:

$$t_{\text{víz,átlag}} = \frac{t_e + t_v}{2}, [^{\circ}\text{C}]$$

- t_e - előremenő víz hőmérséklete
- t_v -visszatérő víz hőmérséklete

A legmagasabb átlaghőmérséklet a $25,58^{\circ}\text{C}$. Ez alapján határozzuk meg a hőfoklépcsőt. Az egyszerűség kedvéért $25,5^{\circ}\text{C}$ -ot vettem figyelembe, így 28/23-as hőfoklépcsőt választottam. Ha minél több felületről sugárzik a hő, elegendő alacsonyabb hőmérséklettel fűteni. Ma már terveznek 32°C -os előremenő hőmérsékletet padlófűtésre, úgyhogy számításos bizonyíték nélkül is logikusnak tűnhet ez a hőfoklépcső.

6) Hőleadók méretezése

A felületfűtést úgy terveztem meg, hogy az adott helyiség hőigényét elosztottam felületarányosan- a földszinten a talajra fektetett padló és a külső fal között, az emeleten pedig a padlásfödém és a külső fal között. A 001-es helyiség példaként: $472,86 \text{ [W]}$ a hőigény, $11,91 \text{ [m}^2\text{]}$ a padló felülete, a külső falé pedig $15,98 \text{ [m}^2\text{]}$. A padlófűtésnek az alábbi hőt kell leadnia:

$$472,86 \cdot \frac{11,91}{11,91 + 15,98} = 201,92 \text{ [W]}$$

A radiátorok kiválasztásánál egy olyan katalógust hívtam segítségül, amiben csak 90/70/20-as hőfoklépcső volt megadva. Ezt a logaritmikus hőmérsékletkülönbség képletével korrigáltam, a 65/50/20-as hőfoklépcsőre:

$$\Delta t_{ln} = \ln \frac{\frac{t_e - t_v}{t_e - t_i}}{\frac{t_v - t_i}{t_v - t_i}} = \ln \frac{90 - 70}{90 - 20} = \ln 14,29 = 2,66^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t'_{ln} = \ln \frac{\frac{t_e - t_v}{t_e - t_i}}{\frac{t_v - t_i}{t_v - t_i}} = \ln \frac{65 - 50}{65 - 20} = 2,9^{\circ}\text{C}$$

$$q' = q_0 \left(\frac{\Delta t'_{ln}}{\Delta t_{ln}} \right)^n = q_0 \cdot \left(\frac{2,9}{2,66} \right)^{1,32} = q_0 \cdot 0,824$$

A jelölések az alábbiakat takarják:

- t_e : előremenő hőmérséklet

- t_v : visszatérő hőmérséklet
- t_i : belső hőmérséklet
- q' : a radiátor által ténylegesen leadott hő
- q_0 : a radiátor által a 90/70/20-as hőfoklépcső alapján leadott hő
- n : radiátor kitevő, esetünkben 1,32
- a két logaritmikus hőmérsékletkülönbség hányadosa egy korrekciós faktor

7) Fűtési energiaigény meghatározása [2]

Először is szükséges definiálni a fűtési napot és a fűtési határhőmérsékletet (t_b). Az előbbi az a nap, amelynek átlaghőmérséklete kisebb, vagy egyenlő az épület fűtési határhőmérsékletével, az utóbbi pedig az a külső napi átlaghőmérséklet, amely mellett az épület hőnyereségei (Q_g - gains) éppen egyenlőek az épület hőveszteségeivel (Q_l - losses).

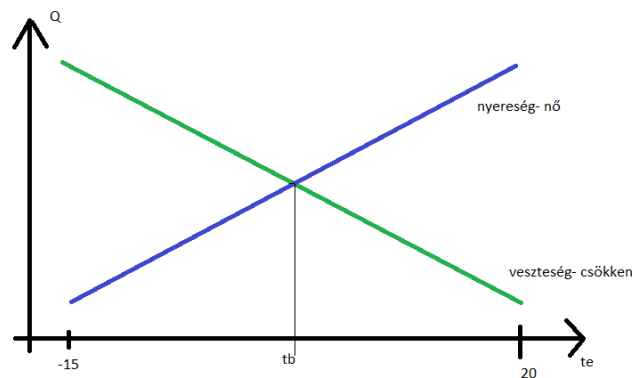
$$Q_g = Q_l$$

$$Q_g = Q_i + Q_s$$

$$Q_l = Q_{tr} + Q_v$$

Az alsóindexek az alábbiakat jelölik:

- i-internal, pl: emberek leadott hője (110-120W), gépek (50-100W), világítás, elektronikus eszközök, használati melegvíz
- s-solar, sugárzásos hőnyereség
- tr-transzmissziós, korábban említettem
- v-ventilation, szellőzés



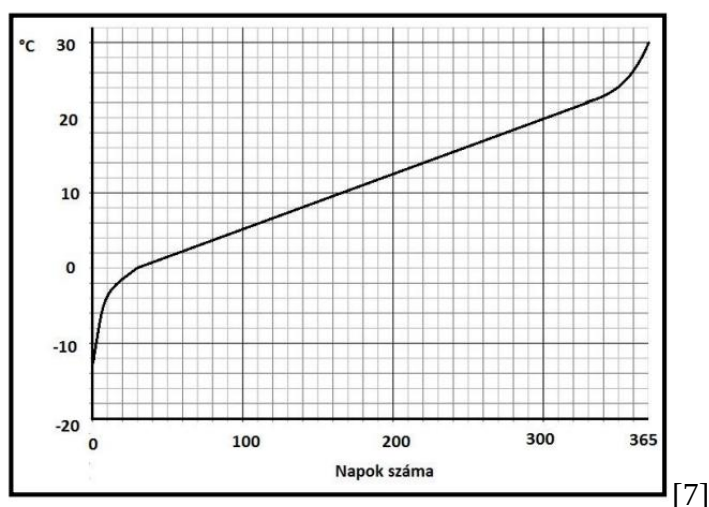
A fenti ábrán látható, hogy határozzuk meg a fűtési határhőmérsékletet.

A Q_l -t másfajta számítási móddal is meg lehet határozni:

$$Q_l = \kappa \cdot (t_i - t_e)$$

A kappa az épület hőveszteség tényezője, állandó érték, ebből a képletből tudjuk kiszámolni.

A külső hőmérséklet egy fűtési idény során folyamatosan változik. A napi átlaghőmérsékleteket a hőfokgyakorisági diagramban ábrázoljuk, amit az elmúlt 30 év átlaga segítségével kaptunk meg.



Egy fűtési nap hőfokhídja (hőfok=hőmérséklet) a belső méretezési hőmérséklet és a külső napi átlaghőmérséklet különbsége.

$$H_{day} = t_i - t_{e, \text{átlag}}$$

Egy időszak hőfokhídja a fűtési napok hőfokhídjainak összege.

$$H = (t_i - t_{e, \text{átlag}}) \cdot N,$$

ahol N a napok száma, dimenzió nélküli szám.

Az adott épület hőfoklépcsője:

Napok száma	t_i	$t_{e, \text{átlag}}$	$t_i - t_{e, \text{átlag}}$	$N(t_i - t_{e, \text{átlag}})$
10 (10.)	20	-13	33	330
20 (30.)	20	-2,5	22,5	450
40 (70.)	20	1	19	760
60 (130.)	20	5	15	900

170 (300.)	20	12,2	7,8	1326
H=3766°nap=90 384hK				

A fűtési energiaigény kiszámítása:

$$E_f = \sigma \cdot \kappa \cdot H$$

Az épület hőszükséglete 8039 W. A szigma egy korrekciós tényező, a szakaszosságot veszi figyelembe. Egy korszerűbb rendszer σ értéke 0,9 körül mozog, én ezt az értéket vettem figyelembe. A kappa érték a következő:

$$Q = \kappa(t_i - t_e)$$

$$\kappa = \frac{Q}{t_i - t_e}$$

$$\kappa = \frac{8039}{20 - (-15)} = 229,69 \frac{W}{K}$$

$$E_f = 0,9 \cdot 229,69 \cdot 90\,384 = \mathbf{18\,684 [kWh]}$$

8) Szabályozás [2]

A leadott hőmennyiség szabályozása a fűtőközeg hőmérsékletével (minőségi szabályozás) vagy tömegáramával (mennyiségi szabályozás) történik, de előfordulhat vegyes is.

Ebben a kutatásban minőségi szabályozással terveztem, azaz a tömegáram mindig ugyanakkora.

$$Q = c \cdot \dot{m} \cdot \Delta t$$

$$\dot{m} = \frac{Q}{c \cdot \Delta t}$$

$$\dot{m} = \frac{8039}{4181 \cdot 5} = 0,38 \frac{kg}{s}$$

Ez azt jelenti, hogy a hőtermelő berendezés 0,38 kg vizet forgat meg egy másodperc alatt.

A c a víz fajhőjét jelöli, értéke 4181 [J/(kgK)]. A Δt az előremenő és visszatérő víz hőmérsékletének különbsége. Mivel 28/23-as hőfoklépcsővel dolgozok, ezért ennek értéke 5K.

A helyiségekben a felületfűtéseket figyelembe véve a hőveszteségek az alábbi táblázatban leolvashatóak (fentről lefele sorban vannak a helyiségek számozva, legelső a summázott érték).

Szám	Elnevezés	Q_h^e
001	Hálószoa	621,58
002	Nappali-konyha	2575,59
003	WC	219,92
004	Gépészeti szoba	282,37
005	Előszoba	481,55
006	Lépcső	696,96
101	Gardrób	394,14
102	Hálószoa I	830,80
103	Hálószoa II	609,16
104	Hálószoa III	775,12
105	WC	151,24
106	Fürdőszoba	400,53
		8038,97

A helyiségenkénti összes hőveszteséget úgy számoltam, hogy először meghatároztam a pályamunka elején leírt módszer alapján minden helyiségre külön-külön a Q -t, majd ebből kivontam a talajra fektetett padló, a külső fal és a padlásfödémén keresztül áramló hőveszteségeket. Így maradt a hőhidak, szellőzés és az ablakok hővesztesége. Meghatároztam a kivonandó szerkezetek hőveszteségeit(alább leírom, hogyan számoltam ki), majd minden egyes helyiségben hozzáadtam a megmaradó hőveszteségekhez.

A talajra fektetett padló, a külső fal és a padlásfödém rétegek hőveszteségeit egyenként az alábbi képlet segítségével tudjuk kiszámítani:

$$Q_v = \frac{\tanh(0,5 \cdot m \cdot \Delta t)}{0,5 \cdot m \cdot \Delta t} \cdot A \cdot U_v \cdot (t_A - t_B) + Q_h \cdot \frac{U_v}{U_h}$$

Az U_v hasonló, mint az U_h , csak a cső felszíne alatti (veszteséges) hőátbocsátási tényező.

U_{vfp}	0,64 W/m ² K
U_{vkf}	0,41 W/m ² K
U_{vmenny}	0,397 W/m ² K

Mindent behelyettesítve a képletekbe:

Szám	Elnevezés	Qv tfp 30	Qv kf 30	Qv menny. 30
001	Hálószoza	72,28	78,71	
002	Nappali-konyha	267,58	179,44	
003	WC	29,13	32,19	
004	Gépészeti szoba	29,28	42,64	
005	Előszoba	63,30	18,96	
006	Lépcső	69,48	64,23	
		531,06		
101	Gardrób		69,14	31,08
102	Hálószoza I		97,46	70,58
103	Hálószoza II		41,98	60,15
104	Hálószoza III		83,51	60,47
105	WC		22,12	12,96
106	Fürdőszoba		79,50	39,92
			809,87	275,16

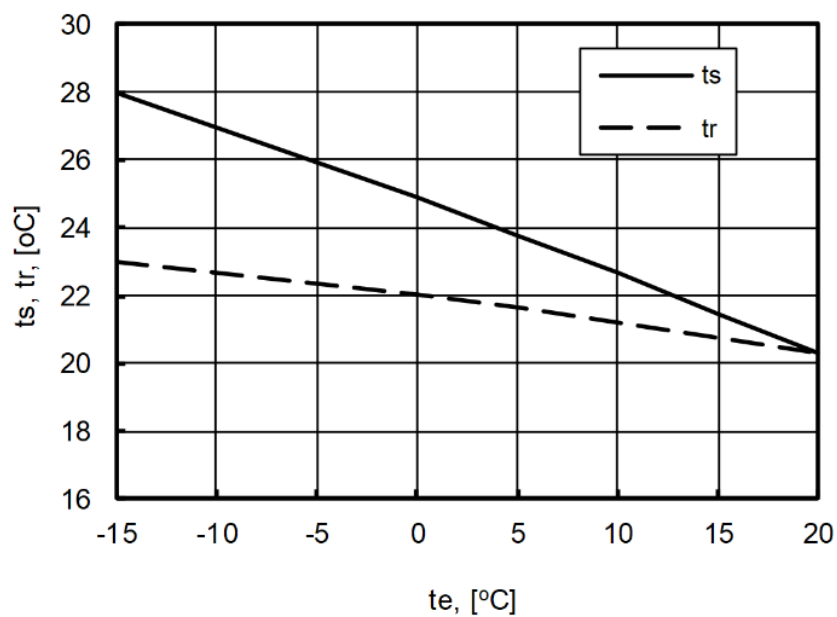
Balról a harmadik oszlop a padló hővesztései, a negyedik a külső falé, az ötödik pedig a padlásfödémé. Látható a számítások alapján, hogy valóban elhanyagolható lehetne, de a számításaimban figyelembe veszem ezeket az értékeket.

Tehát:

$$\dot{m} = \frac{8039}{4181 \cdot 5} = 0,38 \frac{kg}{s}$$

Ez azt jelenti, hogy a hőtermelő berendezés 0,38 kg vizet forgat meg egy másodperc alatt.

Alább látható a szabályozási görbe:



A hőfoklépcső számításnál felosztottam a fűtési időnyt 5 időintervallumra -ugyanarra az 5 szakaszra, amire felosztottam a fűtési energiaigény meghatározásánál is a hőfokgyakorisági görbét-, ahol más-más átlag külső hőmérsékletek uralkodnak. Első külső átlaghőmérséklet a -13 °C. A szabályozási görbén leolvasom ennél a kinti hőmérsékletnél az előremenő (t_s) és a visszatérő (t_r) hőmérsékletet, ami 27,6°C, valamint 23°C. Ennek a hőmérsékletkülönbsége 4,6°C. Ezt behelyettesítem újra a következő képletbe:

$$Q = c \cdot \dot{m} \cdot \Delta t = 4181 \cdot 0,38 \cdot 4,6 = 7396 \text{ W}$$

Ezt beszorzom 24-gyel, hogy Wh-t kapjak, majd osztom 1000-rel, hogy kWh-t: 177,5 kWh. Az időintervallumom 10 napos, úgyhogy még szorzom 10-zel: 1775 kWh a fűtési energiafogyasztás (E_{ff}) erre az időszakra.

Ezt megcsinálom mindegyik időintervallummal:

Időintervallum	Δt [K]	Q [W]	*24 [Wh]	/1000 [kWh]	*N [kWh] - E_{ff}
1.	4,6	7396	177 504	177,5	1775
2.	3,3	5243,7	125 849	128,8	2517
3.	2,8	4449	106 781	106,78	4271
4.	2	3178	76 272	76,27	4576
5.	0,9	1430	34 322	34,32	5835
$E_{ff}=18\,974$ [kWh]					

9) Radiátoros fűtési rendszer hőszigetelés nélkül: fűtési energiaigény meghatározása, szabályozás és radiátorok kiválasztása

Ugyanazzal az eljárással, mint a felületfűtési rendszerénél, végig számolok. A hőveszteség ez esetben 10 576 [W]. A hőfoklépcső 65/50/20-as, így a $\Delta t=65-50=15^\circ\text{C}$. Számolok egy tömegáramot:

$$m = \frac{Q}{c \cdot \Delta t} = \frac{10\,576}{4181 \cdot 15} = 0,17 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Fűtési energiaigény meghatározása:

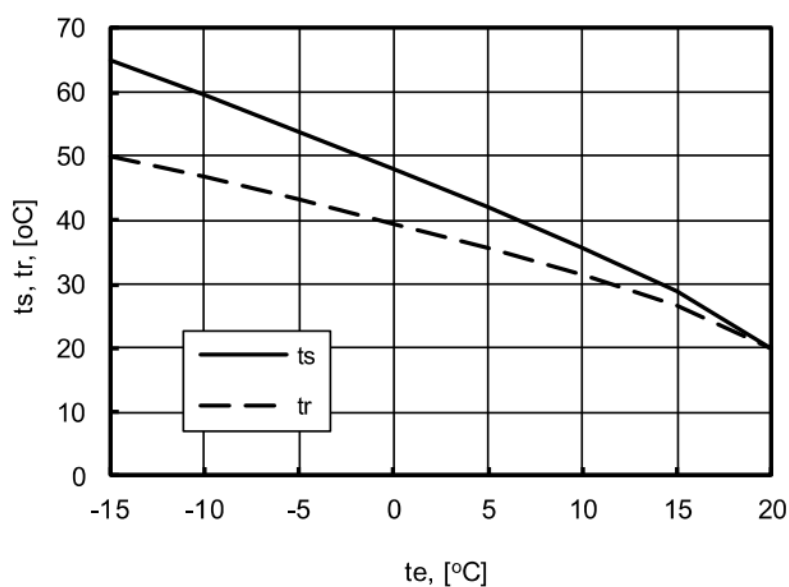
$$Q = \kappa(t_i - t_e)$$

$$\kappa = \frac{Q}{t_i - t_e}$$

$$\kappa = \frac{10\,576}{20 - (-15)} = 302 \frac{W}{K}$$

$$E_f = 0,9 \cdot 302 \cdot 90\,384 = 24\,566 [kWh]$$

A 65/50 szabályozási görbe:



Fűtési energiafogyasztás számítása:

Időintervallum	Δt [K]	Q [W]	*24 [Wh]	/1000 [kWh]	*N [kWh] - E _{ff}
1.	14,5	10310	247428	247	2474
2.	12	8529	204702	205	4094
3.	9	6399	153576	154	6143
4.	7	4977	119448	119	7167
5.	2,5	1778	42660	43	7252
					E_{ff}=27 130 [kWh]

Radiátorok kiválasztása:

Szobaszám	Hőszükséglet [W]	Radiátor szélessége [mm]	Radiátor típusa	Leadott hő [W]
001	923	1400	10	961
002	1036	1000	21	1449
002	1036	1120	11	1117
002	1036	1400	11	1396
003	342	400	11	443
004	460	720	10	495
005	1050	1320	11	1316
006	290	600	10	370
101	600	720	11	798
102	1135	1800	10	1235
103	784	1200	10	824
104	1025	1600	10	1098
105	218	400	10	247
106	645	720	11	718

A 002-es helyiségbe 3 darab radiátort terveztem, tekintettel a nagy légtérre. Összesen 3109 Watt hőre van szükség. Mivel egyenletesen el lehet a radiátorokat térben helyezni, ezért csak osztottam a 3109-et 3-mal, azaz 1-1 radiátornak 1036 W hőt kell leadnia. A táblázatban az első 1449 Wattot ad le. Az ettől egyel kisebb radiátor már csak 997-et, így ott nagyobb a hőleadás.

A 006-os helyiség a lépcsőből és az emeleti, lépcsővel egy légterű közlekedőből áll. Mivel a meleg levegő felfele száll, ezért ennek a légtérnek a radiátor által leadott hőjét úgy osztottam meg, hogy az összes hőigény kétharmadát hozzáadtam a 005-ös helyiséghez, az előszobához (innen indul a lépcső), a maradék egyharmadot pedig az emeleti közlekedő radiátora adja le, ezt írtam a 006-os helyiséghez a táblázatba.

Bizonyos helyiségekben nem lehetett ablak alá betenni a radiátort. Itt 0,9-es korrekciós tényezővel szoroztam a hőleadást. [8]

10) Radiátoros fűtési rendszer hőszigeteléssel: fűtési energiaigény meghatározása, szabályozás és radiátorok kiválasztása

Először kiszámoltam a ház hőveszteségét. Terveztem olyan vastagságú hőszigetelést, hogy a külső fal, talajra fektetett padló és a padlásfödém hővesztesége egyenlő legyen a felületfűtéssel körbetekert szerkezetekével:

Külső fal:

$$Q_{kf}' = A_{kf} \cdot U_{kf}' \cdot (t_i - t_e)$$

$$810 = 154 \cdot U_{kf}' \cdot (20 - (-15))$$

$$U_{kf}' = 0,15 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R_{kf}' = \frac{1}{U_{kf}} = \frac{1}{0,15} = 6,667 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{kf}' = R_{kf} + R_{sz1} + R_{sz2} + R_5 = 2,57 + \frac{x}{0,06} + \frac{0,02}{0,077} + \frac{0,003}{0,99} = 6,667$$

Az R_{sz1} és R_{sz2} az utólagos hőszigetelés hővezetési ellenállása. Az utóbbi az átázott 2 [cm] R értéke.

$$x_{kf} = 0,36 [m]$$

Talajra fektetett padló:

$$Q_{tfp}' = \sum l \cdot \psi' \cdot (t_i - t_e)$$

$$531 = 35,06 \cdot \psi' \cdot (20 - (-15))$$

$$\psi' = 0,43 \frac{W}{mK}$$

A ψ (vonalmonti hőátbocsátási tényező) táblázatos adat:

z (m)	Szigete- letlen	0,20- -0,35	0,40- -0,55	0,60- -0,75	0,80- -1,00	1,05- -1,50	1,55- -2,00	2,05- -3,00	3,05- 4,00	4,05- 5,00	5,05- 6,00	6,05- 7,00
-6,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-6,00...-4,05	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0	0	0	0
-4,00...-2,55	0,40	0,40	0,35	0,35	0,35	0,35	0,30	0,30	0,10	0,10	0	0
-2,50...-1,85	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,50	0,45	0,40	0,20	0,15	0,10	0
-1,80...-1,25	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,45	0,30	0,22	0,177	0,13
-1,20...-0,75	1,00	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,55	0,40	0,31	0,25	0,21
-0,70...-0,45	1,20	1,05	1,00	0,95	0,90	0,80	0,75	0,65	0,50	0,40	0,33	0,29
-0,40...-0,25	1,40	1,20	1,10	1,05	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,49	0,41	0,37
-0,20...+0,20	1,75	1,45	1,35	1,25	1,15	1,05	0,95	0,85	0,70	0,58	0,50	0,45
0,25...0,40	2,10	1,70	1,55	1,45	1,30	1,20	1,05	0,95	0,75	0,62	0,53	0,48
0,45...1,00	2,35	1,90	1,70	1,55	1,45	1,30	1,15	1,00	0,80	0,66	0,56	0,51
1,05...1,50	2,55	2,05	1,85	1,70	1,55	1,40	1,25	1,10	0,95	0,70	0,60	0,55

Nincs benne $0,43 \frac{W}{mK}$ -hez R érték már, kb. $7,5 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ lehet az R_{tfp}' értéke ($z=0[m]$).

$$R_{tfp}' \approx 7,5 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R'_{tfp} = R_{tfp} + R_{sz} = 1,76 + \frac{x}{0,047} = 7,5$$

$$x_{tfp} = 0,27 [m]$$

Padlásfödém:

$$Q_{paf}' = A_{paf} \cdot U_{paf}' \cdot (t_i - t_e)$$

$$275 = 62,24 \cdot U_{paf}' \cdot (20 - (-8))$$

$$U_{paf}' = 0,158 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$R_{paf}' = \frac{1}{U_{paf}'} = \frac{1}{0,158} = 6,33 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{paf}' = R_{paf} + R_{sz} = 2,71 + \frac{x}{0,042} = 6,33$$

$$x_{paf} = 0,152 [m]$$

Újra számoltam a hőhidak hőveszteségét, mivel más értékek (alacsonyabbak) lesznek, ha hőszigeteltjük a házat:

Szám	Elnevezés	Q _{hh'}	Q _{hh}
001	Hálószoza	26,943	94,34
002	Nappali-konyha	52,101	284,34
003	WC	8,442	40,88
004	Gépészeti szoba	23,478	64,76
005	Előszoba	7,2345	51,90
006	Lépcső	8,3265	65,06
101	Gardrób	26,46	76,42
102	Hálószoza I	29,022	130,53
103	Hálószoza II	9,555	70,39
104	Hálószoza III	28,1505	124,60
105	WC	7,77	36,70
106	Fürdőszoba	27,111	55,97
		254,5935	1095,88

A jobb szélső oszlop a hőszigetelés nélküli hőhíd által okozott hőveszteség, mellette balra pedig a hőszigetelés utáni Q_{hh} értékek.

Nyílászáró korszerűsítéssel nem terveztem, hogy egyszerűbb legyen összehasonlítani az épület különböző felújítási fázisait, úgyhogy azok értéke maradt a régi (U_{ablak}=2 [W/m²K], U_{ajtó}=2,2 [W/m²K]). Így a ház ezen állapotában a hőveszteség:

Szám	Elnevezés	Q _v tfp	Q _v kf	Q _v paf	Q szellőzés	Q _{hh}	Q _a
001	Hálószoza	72,28	78,71		194,775	26,943	183,75
002	Nappali-konyha	267,58	179,44		622,79	52,101	1212,7
003	WC	29,13	32,19		86,8525	8,442	31,5
004	Gépészeti szoba	29,28	42,64		69,2125	23,478	78,8
005	Előszoba	63,30	18,96		176,89	7,2345	161,7
006	Lépcső	69,48	64,23		355,25	8,3265	210
		531,06					
101	Gardrób		69,14	31,08	138,229	26,46	78,75
102	Hálószoza I		97,46	70,58	251,5905	29,022	288,75
103	Hálószoza II		41,98	60,15	235,1265	9,555	210
104	Hálószoza III		83,51	60,47	224,4935	28,1505	288,75
105	WC		22,12	12,96	49,392	7,77	31,5
106	Fürdőszoba		79,50	39,92	159,75225	27,111	70
			809,87	275,16	2564,35375	254,5935	2846,2
							7281,23

Fűtési energiaigény meghatározása:

A választott hőfoklépcső 40/33/20. A Δt így 8 °C.

$$m = \frac{Q}{c \cdot \Delta t} = \frac{7281}{4181 \cdot 8} = 0,218 \frac{kg}{s}$$

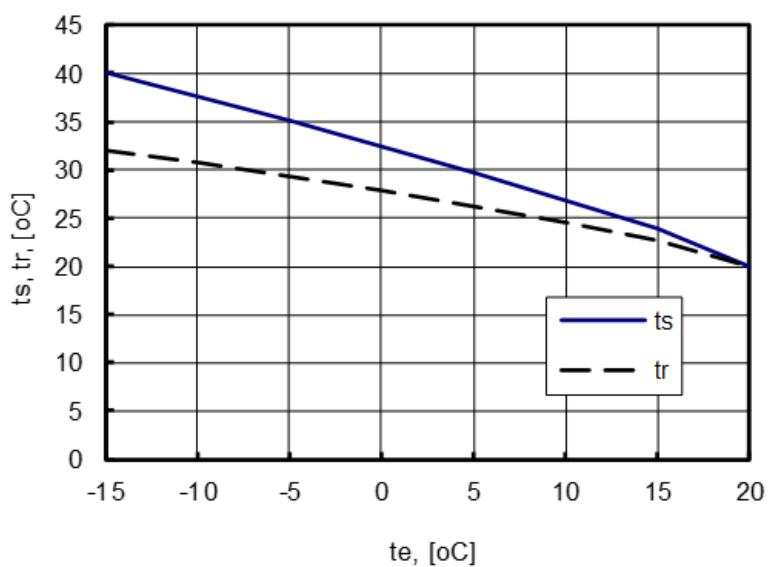
$$Q = \kappa(t_i - t_e)$$

$$\kappa = \frac{Q}{t_i - t_e}$$

$$\kappa = \frac{7281}{20 - (-15)} = 208 \frac{W}{K}$$

$$E_f = 0,9 \cdot 208 \cdot 90\,384 = \mathbf{16\,922 [kWh]}$$

A szabályozási görbe:



Fűtési energiafogyasztás számítása:

Időintervallum	Δt [K]	Q [W]	*24 [Wh]	/1000 [kWh]	*N [kWh] - E _{ff}
1.	7,45	6854	164 496	164,5	1644,96
2.	5,1	4692	112 608	112,6	2252,16
3.	4,25	3910	93 840	93,8	3753,6
4.	3,35	3082	73 968	74	4438,08
5.	1,3	1196	28 704	28,7	4879,68
					E_{ff}=16 969 [kWh]

Radiátorok kiválasztása:

Szobaszám	Hőszükséglet [W]	Radiátor szélessége [mm]	Radiátor típusa	Leadott hő [W]
001	557	600	21	584
002	778	920	21	806
002	778	920	21	806
002	778	920	21	806
003	188	400	11	268
004	243	720	10	298
005	899	800	22	912
006	235	400	11	241
101	343	600	11	401
102	737	800	21	778
103	556	600	21	584
104	685	720	21	701
105	123	400	10	149
106	376	520	21	455

Ahogy az előző radiátoros tervezésnél, úgy itt is megosztottam a 006-os helyiséget (lépcső plusz emeleti közlekedő): a hőigényének 1/3-át a fenti közlekedőbe terveztem, a maradék 2/3-át pedig hozzáadtam a 005-ös előszoba hőigényéhez.

11) Beépített energia [9] [10] [11]

Mint ahogy a bevezetésben is írtam erről, a beépített energia magába foglalja a az adott anyag/termék kitermelésével, formára gyártásával, szállításával, felszerelésével, karbantartásával és megsemmisítésével járó összes energiát. Környezettudatosság szempontjából egy nagyon fontos adat, amivel érdemes számolni egy épület felújításakor/építéskor. A kutatásban használt épületet 3 esetben néztem meg: csak felületfűtéssel „körbe szigetelt”, hőszigetelés nélküli, radiátoros eset és a harmadik pedig a

hőszigetelt és radiátoros fűtéssel felszerelt ház. Ezen eseteknél a felületfűtéshez felhasznált polietilén csövek, a radiátorok és a hőszigetelés beépített energiáját néztem meg:

műanyag cső	113,4 [MJ/kg]
polisztirol hőszigetelés	256,1 [MJ/kg]
acél	24 [MJ/kg]

1. Hőszigetelés nélküli, felületfűtéses rendszer

PE-XA csövekkel számoltam. Ennek a sűrűsége 951 [kg/m³]. A mennyezeten és a külső falon 9,9x1 [mm]-es csövek vannak méretezve.

$$T = \pi(D - d)(D + d) = \pi(9,9 - 7,9)(9,9 + 7,9) = 111,84 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$L = 215,6 + 570,4 = 786 \text{ [m]}$$

$$V = T \cdot L = 0,00011184 \cdot 786 = 0,0879 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$m = V \cdot \delta = 0,0879 \cdot 951 = 83,59 \text{ [kg]}$$

$$E_{beép,9,9x1} = 9479 \text{ [MJ]}$$

A talajra fektetett padlón 16x2 [mm]:

$$T = \pi(D - d)(D + d) = \pi(16 - 14)(16 + 14) = 351,85 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$L = 245 \text{ [m]}$$

$$V = T \cdot L = 0,00035185 \cdot 245 = 0,0862 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$m = V \cdot \delta = 0,0862 \cdot 951 = 81,98 \text{ [kg]}$$

$$E_{beép,16x2} = 9296 \text{ [MJ]}$$

$$E_{beép,felületfűtés} = 9479 + 9296 = 18\,775 \text{ [MJ]} = 5215,28 \text{ [kWh]}$$

2. Hőszigetelés nélküli, radiátoros fűtéses rendszer [9]

Radiátor típusa	Radiátor szélessége [mm]	Radiátor tömege [kg]
10	400	5,08
	600	7,15

	720	8,4
	1200	13,38
	1400	15,63
	1600	17,97
	1800	20,15
11	400	7,52
	720	12,46
		12,46
	1120	18,64
	1320	22,03
	1400	23,27
21	1000	26,6

A radiátorok tömegét summázva 210,73 [kg]-ot kapunk.

$$E_{beép,rad} = 210,73 [kg] \cdot 24 \left[\frac{MJ}{kg} \right] = 5057,52 [MJ] = 1404,87 [kWh]$$

3. Hőszigetelt, radiátoros fűtéses rendszer

Ennél az esetben össze kell adni a radiátorok és a hőszigetelés beépített energiáját. A radiátoroké:

Radiátor típusa	Radiátor szélessége [mm]	Radiátor tömege [kg]
10	400	5,08
	720	8,4
11	400	7,52
		7,52
	600	10,61
21	520	14,36
	600	16,39
		16,39
	720	19,43
	800	21,46

	920	24,57
		24,57
		24,57
22	800	25,07

Ezek tömegét is summázva, 225,94 [kg]-ot kapunk.

$$E_{beép,rad,2} = 225,94 [kg] \cdot 24 \left[\frac{MJ}{kg} \right] = 5422,56 [MJ]$$

A hőszigetelés beépített energiája:

Külső fal:

$$\lambda = 004 \left[\frac{W}{mK} \right] \rightarrow \delta = 15 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$V_{kf,szig} = A_{kf} \cdot x_{kf} = 230 \cdot 0,36 = 82,8 [m^3]$$

$$m = V \cdot \delta = 82,8 \cdot 15 = 1242 [kg]$$

$$E_{beép,kf-hőszig.} = 1242 [kg] \cdot 256,1 \left[\frac{MJ}{kg} \right] = 318\,076 [MJ]$$

Padlásfödém:

$$\lambda = 0042 \left[\frac{W}{mK} \right] \rightarrow \delta = 20 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$V_{paf,szig} = A_{paf} \cdot x_{paf} = 62,24 \cdot 0,152 = 9,46 [m^3]$$

$$m = V \cdot \delta = 9,46 \cdot 20 = 189,2 [kg]$$

$$E_{beép,paf-hőszig.} = 189,2 [kg] \cdot 256,1 \left[\frac{MJ}{kg} \right] = 48\,454 [MJ]$$

Talajra fektetett padló:

$$\lambda = 0047 \left[\frac{W}{mK} \right] \rightarrow \delta = 28 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$V_{tfp,szig} = A_{tfp} \cdot x_{tfp} = 76,22 \cdot 0,27 = 20,58 [m^3]$$

$$m = V \cdot \delta = 20,58 \cdot 28 = 576,24 [kg]$$

$$E_{beép,tfp-hőszig.} = 576,24 [kg] \cdot 256,1 \left[\frac{MJ}{kg} \right] = 147\,575 [MJ]$$

$$E_{beép,hőszig} = 318\,076 + 48\,454 + 147\,575 = 514\,105 \text{ [MJ]}$$

A hőszigetelésből és a radiátorokból együttesen származó beépített energia:

$$E_{beép,rad+hőszig.} = 5422,56 + 514\,105 = 519\,527,6 \text{ [MJ]} = 144\,313,2 \text{ [kWh]}$$

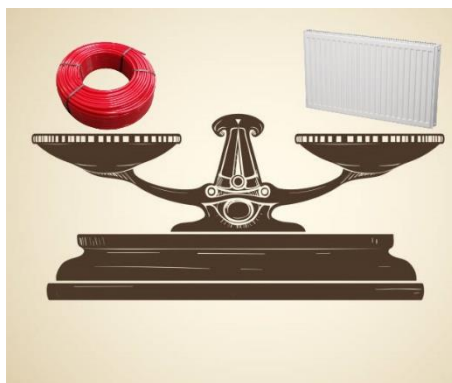
IV) Konklúzió

Fontosnak tartom, hogy a mai világban az energiaspórolásra és a megújuló energiaforrások használatára minél többen figyeljenek oda, mivel véges energiánk van sok mindenből, például földgázból is, valamint a saját bolygónkat, a Földünket tesszük tönkre, ha így haladunk, ahogy megindult a világ az ipari forradalmak után. 2022. őszén pedig kiemelten fontos téma az energiaválság miatt, nem mindegy, hogy mivel és hogyan fűtünk az otthonunkban, munkahelyünkön, hogy a megszokott komfortunkból egyáltalán ne, vagy csak kis mértékben kelljen lejjebb adni. Mivel az épületek építése, üzemeltetése, karbantartása veszi el a bolygónk összes energiájának majdnem felét, tanácsos ezen szektorban megoldást keresni. Bármikor történhet valami a világban, ami az anyagiakat is megmozgatja rossz irányba, pl. koronavírus járvány, vagy az orosz-ukrán háború, és ezek csak az elmúlt 3 év eseményei. Ezek miatt hangsúlyos témának gondolom a kutatási témámat is.

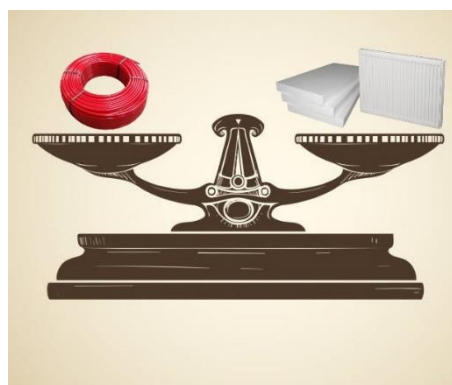
A családi házat, amivel a kutatásban foglalkoztam, 3 féleképpen ruháztam fel:

- 1. variáció: Padló-, fal- és felületfűtéssel körbe „szigeteltem”, hőszigetelésből 5 cm van a padlón, 10 cm a padlásfödémén, a külső falalakon pedig nincs hőszigetelés,
- 2. variáció: Ugyanezzel a kevés hőszigeteléssel radiátoros fűtést méreteztem a házba,
- 3. variáció: Akkora hőszigetelést terveztem, hogy a hőveszteség azonos legyen a felületfűtéses házéval, a fűtés radiátorokkal oldottam meg.

Ezeknek a variációknak vizsgáltam, hogy milyen fűtési energiaigénye, fűtési energiafogyasztása és beépített energiája van. Mérlegelni kell, hogy melyik a jobb rendszer energiamegtakarítás szempontjából. A felületfűtéses vagy a radiátoros fűtési rendszer hőszigetelés nélkül?



A felületfűtési rendszer vagy a radiátoros fűtési rendszer a rengeteg hőszigeteléssel?



A fűtési energiaigényeket és -energiafogyasztásokat összehasonlítva a ranglétra legfelső lépcsőfokán a harmadik variáció áll, a legalsón pedig a második variáció. A kettő között több, mint 10 000 [kWh] van. A felületfűtési és a harmadik eset között már csak ennek ötöde van, kicsi lemaradással van a dobogó középső fokán a felületfűtési rendszer.

A beépített energiához figyelembe kellett venni a felületfűtések csövének, a radiátoroknak és a hőszigetelésnek a tömegét. A hőszigetelés beépített energiája önmagában majdnem harmincszorosa a felületfűtési polietilén csövekének. Ez óriási differencia, érdemes figyelembe venni építkezés előtt. A harmadik verzió beépített energiája több, mint hét és félszer meghaladja a felületfűtési rendszer fűtési energiafogyasztását. Tehát legalább 7 éven keresztül annyi energiával van fűtve az a ház, mint amennyi energiába kerül előállítani, szállítani, felszerelni stb. a harmadik variációhoz tartozó hőszigetelést és radiátorokat. Érdekesség, hogy az első esetben kicsivel több, mint 1 [km] csövet kell beszerezni a házba. A hőszigetelés összesen több, mint 2000 [kg]. Ez 25 felnőtt férfi tömege.

A hőfoklépcső is izgalmas téma. A második verzió hőfoklépcsője a legmagasabb, 65/50-es. Ehhez hőtermelőnek kell a kazán. A harmadik variáció már csak 40/32-es hőfoklépcsővel működik, ezt a hőmérsékletet már elő tudja állítani egy hőszivattyú. A felületfűtési rendszer

pedig csak 28/23 °C-kal dolgozik, és a csőosztás csak 30 cm-es! Ha 20, vagy netalántán 10 cm-es csőosztással dolgozunk, 20 °C belső hőmérséklethez mennyivel alacsonyabb hőfoklépcső kellene? Ilyen fűtési rendszerből -mindamellett, hogy ez adja a legnagyobb komfortot- könnyen lehet zöld házat csinálni, nem csak közel nulla energiaigényűt, hanem akár energiatermelő házat. Hőszivattyúval működne, napkollektorral lenne előállítva a meleg víz, napelem pedig a villamos energiaigényt szolgálná.

Köszönetnyilvánítás:

A kutatás a Körös Campus Alapítvány támogatásával valósult meg.

A TKP2020-IKA-04 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2020-4.1.1-TKP2020 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

V) Források:

- [1] Zöld András, Szalay Zsuzsa, Csoknyai Tamás: Energiatudatos építészet 2.0, 2016
- [2] Prof. Dr. habil. Kalmár Ferenc „Épületenergetika” című előadásai, órákon elhangzottak, 2022
- [3] <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/technical-definition-for-nearly-zero-energy-buildings>
- [4] <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/technical-definition-for-nearly-zero-energy-buildings>
- [5] <https://www.neuffer.de/en/passive-house-windows.php>
<https://www.internorm.com/hu-hu/tanacsadas/passzivhazak>
- [6] A csőfektetési mélység hatása a padló- és mennyezet- fűtés-hűtésre. 1. rész - L. Szabó Gábor, Bodó Béla
- [7] hőfokgyakorisági görbe Macskásy Á. szerint
(<file:///C:/Users/ZBOOK/Downloads/1.+Az+%C3%A9p%C3%BClet+bemutat%C3%A1sa+S.+REHO.pdf>)E
- [8] Menyhárt J.: Az épületgépészet kézikönyve, Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1978 (176.o.)
- [9]https://www.vogelundnoot.com/static_files/hu/media/downloads/VN%20TD%202022_I.pdf (17.o.)
- [10] <https://mester.szerelvenybolt.hu/hu-hu/install-padl%C3%B3f%C5%B1t%C3%A9scs%C5%91-%C3%B6tr%C3%A9teg%C5%B1-pe-xa-20x2-500m-install--pexa5202500>
- [11] Embodied energy analysis of building materials: An improved IO-based hybrid method using sectoral disaggregation, Manish K. Dixit, Department of Construction Science, Texas A&M University, 2017
- [12] Uponor fal és mennyezet fűtés/hűtés termékkatalógus, 2015