



Evropski kmetijski sklad za razvoj podeželja: Evropa investira v podeželje



Kako se pravilno lotiti energetske sanacije energijsko zelo potratne hiše?

Inštitut za obnovljive vire energije in učinkovito rabo eksergije, INOVEKS d.o.o.,
Cesta 2. grupe odredov 17,1295 Ivančna Gorica, info@inoveks.si

Povzetek

V prispevku bomo prikazali kako se pravilno lotiti energetske sanacije hiše. Pogosto se dogaja, da s parcialnim pristopom pri energetske sanaciji ne dosežemo takšnih učinkov, kot bi jih lahko s celovito energetske sanacijo. Prikazan bo preračun tipične, popolnoma neizolirane hiše in možni koraki energetske sanacije, ki bo zadostila tudi zahtevam po maksimalni dovoljeni toplotni prehodnosti konstrukcij, ki jih predpisuje Pravilnik o učinkoviti rabe energije v stavbah iz leta 2010 [1]. V uvodu prispevka bomo predstavili kako razdelimo energije, predstavili analizirani objekt ter nato osnove prenosa toplote skozi steno, kar je pomembno za razumevanje mejnih vrednosti toplotnih prehodnosti iz katerih določimo potrebne debeline izolacije. V preračunu so analizirani možni ukrepi energetske sanacije z enostavnimi vračilnimi dobami investicije. Na koncu prispevka je predstavljena integralna celostna energetska sanacija objekta in prikazana enostavna vračilna doba investicije.

UVOD

V uvodu tega prispevka bomo na kratko predstavili nekatere energije in njihove lastnosti. Energije v splošnem lahko razdelimo na [2]:

1. **nakopičene ali shranjene energije**, ki jih lahko v dani obliki obdržimo poljubno dolgo. To so:
 - a. potencialna energija (energija zaradi lege),
 - b. kinetična energija (energija zaradi premikanja),
 - c. notranja energija (nakopičena znotraj nekega sistema).
2. **prehodne energije**, ki pri procesih prehajajo meje sistemov in za katere je značilna kratkotrajnost. V dani obliki jih torej ne moremo shraniti. Pojavijo se tedaj, ko nakopičena energija menja svojo obliko oziroma kadar nakopičena energija prehaja iz enega sistema v drugega. Prehodne energije so:
 - a. mehansko delo,
 - b. električna energija,
 - c. toplota.

Za vse energije velja zakon o ohranitvi. Energija ne more nastati iz ničesar, niti ne more izginiti, **torej je ne moremo porabiti!** Če se nekje pojavi neka energija, se je morala za to zmanjšati energija enake ali druge vrste na nekem drugem mestu. Energijo torej vedno pretvarjamo oziroma rabimo in je nikoli

ne porabimo. Za razliko od tega energente (kurilno olje, plin, biomaso) lahko porabimo tekom spreminjanja njihove notranje energije v toploto.

Pri rabi energije v stavbah je nujno potrebno razlikovati še vsaj med terminologijo za dve vrsti energije, in sicer:

- **Dovedena energija** za delovanje stavbe je energija, ki v stavbo prehaja preko systemske meje stavbe in je namenjena za delovanje sistemov ogrevanja, hlajenja, priprave tople vode in razsvetljave. To je energija, ki jo običajno lahko odčitamo na števcih ali predstavlja porabljeno količino goriva. Pogosto se za pojem dovedena energija uporablja tudi termin končna energija.
- **Primarna energija** za delovanje stavbe upošteva dovedeno energijo po posameznih energentih, pri čemer upoštevamo predpisane faktorje pretvorbe za preračun v primarno energijo, ki so predpisani v pravilniku [1].

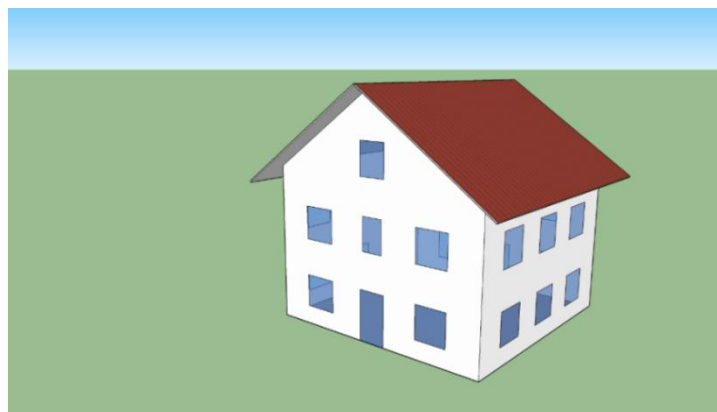
Visoke cene energentov in s tem visoki stroški energije so primarni vzrok za izvedbo energetske sanacije objekta. Morebitna sredstva za sofinanciranje pa izhajajo iz prizadevanj, da bi omejili rabo energije in s tem toplogredne izpuste plinov. World Wildlife Fund in druge organizacije so naredile kompleksne izračune za determinacijo okoljskega vpliva na našem planetu, ki so ga poimenovali *total ecological footprint*. Rezultat izračuna kaže, da se naš planet izkorišča 170 % relativno glede na možnost samoobnove [3]. Iz tega naslova so prisotne globalne spremembe, ki se kažejo tudi v globalnem segrevanju ozračja. Večja energetska učinkovitost, s katero bomo omejili tudi izpuste toplogrednih plinov, predstavlja enega izmed temeljnih ciljev bodoče preskrbe z energijo.

PREDSTAVITEV PRIMERA HIŠE ZA ANALIZO ENERGETSKE SANACIJE HIŠE

Za praktični primer energetske sanacije smo izbrali hišo brez izolacije, ki se nahaja v Ivančni Gorici. Slika 1 prikazuje 3D model analizirane hiše. Klimatski podatki za naselje Ivančna Gorica so:

- temperaturni primanjkljaj: 3300 K dan,
- projektna temperatura: -16 °C,
- povprečna temperatura zraka najhladnejšega meseca: -1 °C,
- povprečna letna temperatura zraka : 9,9 °C.

Tabela 1 prikazuje osnovne lastnosti hiše. Pri preračunu bomo upoštevali, da je hiša polno zasedena, pri čemer so vsi zasedeni prostori tekom ogrevalne sezone vse dni ogrevani 24 ur na dan na notranjo temperaturo zraka 20 °C.



Slika 1: 3D model analizirane hiše

Tabela 1: Lastnosti analizirane hiše

leto gradnje	1975
v uporabi	pritličje in 1. nadstropje
dimenzije stavbe	10 x 10 m (P+1), etažna višina 3 m slemenska lega sever - jug
neto uporabna površina stavbe	$A_u = 180,00 \text{ m}^2$
bruto ogrevana prostornina	$V = 600,00 \text{ m}^3$
neto ogrevana prostornina	$V = 480,00 \text{ m}^3$
površine toplotnega ovoja stavbe	$A_{sten} = 192 \text{ m}^2$ $A_{oken} = 48 \text{ m}^2$ $A_{tal} = 100 \text{ m}^2$ $A_{plošče} = 100 \text{ m}^2$

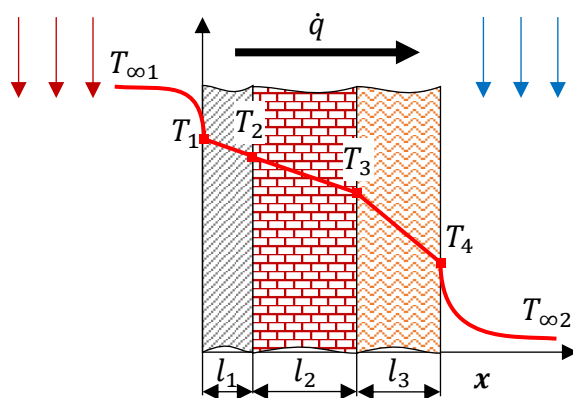
Tabela 2 prikazuje sestavo posameznih konstrukcij pred energetske sanacije, ki so bile analizirane v preračunu.

Tabela 2: Lastnosti konstrukcij

Sestava stene	<ol style="list-style-type: none"> 1. Podaljšana apnena malta 1800 – 1 cm 2. Apnena malta 1600 – 1,5 cm 3. Mrežasta in votla opeka 1200 – 29 cm 4. Pigmentna fasadna malta – 0,7 cm
Sestava tal (do hidroizolacije)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Keramične ploščice 1 cm 2. Cementni estrih 6 cm
Sestava stropa proti neogrevanemu prostoru	<ol style="list-style-type: none"> 1. AB plošča 15 cm
Okna	<ol style="list-style-type: none"> 1. Starejša, vezana okna: <ol style="list-style-type: none"> a. 30% okvirja, $U=1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$, b. 70% stekla, $U=2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

PRERAČUN PREHODA TOPLOTE SKOZI GRADBENE KONSTRUKCIJE [4]

Za razumevanje prenosa toplote in predpisanih mejnih vrednosti toplotne prehodnosti moramo razumeti osnove prenosa toplote. Slika 2 prikazuje primer enodimenzijskega stacionarnega prehoda toplote skozi konstrukcijo, ki ima tri plasti, pri čemer velja, da je temperatura zraka na notranji strani $T_{\infty 1}$ višja od temperature zraka zunaj $T_{\infty 2}$, $T_{\infty 1} > T_{\infty 2}$.



Slika 2: Enodimenzijski stacionarni prehod toplote skozi večplastno konstrukcijo [4]

Toplotni tok skozi posamezno konstrukcijo s površino A popišemo z enačbo:

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) \quad (1)$$

V zgornji enačbi je U toplotna prehodnost posamezne konstrukcije, ki ima fizikalno enoto $W/(m^2K)$ in A pripadajoča površina v m^2 . Skupni toplotni tok oziroma potrebna toplotna moč za pokrivanje toplotnih izgub predstavlja seštevek vseh toplotnih tokov skozi posamezne konstrukcije. Skupna ali celotna toplotna upornost posamezne gradbene konstrukcije R_{tot} je določena z izrazom:

$$R_{tot} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (2)$$

V zgornji enačbi predstavlja l debelino materiala, λ toplotno prevodnost materiala, ki je snovska lastnost, α pa toplotno prestopnost s stene na zrak. Slednja je predpisana s pravilnikom in za zunanje konstrukcije velja, da znaša toplotna prestopnost na notranji strani, α_1 , $8 W/(m^2K)$, toplotna prestopnost na zunanji strani, α_2 , pa $25 W/(m^2K)$. Toplotna prehodnost U , ki jo podajamo v fizikalnih enotah $W/(m^2K)$, je definirana kot recipročna vrednost skupne toplotne upornosti konstrukcije:

$$U = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3)$$

Tabela 3 prikazuje vrednosti maksimalno dovoljenih toplotnih prehodnosti U , ki jih predpisuje pravilnik [1]. Če želimo zadostiti zahtevam pravilnika, potem je potrebno na konstrukcije namestiti ustrezno kombinacijo materialov, z ustrezno toplotno prevodnostjo in ustrezno debelino.

Tabela 3: Dovoljena toplotna prehodnost U gradbenih konstrukcij po pravilniku [1]

Gradbeni elementi stavb, ki omejujejo ogrevane prostore	U_{max} [$W/(m^2K)$]
1. Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom	0,28
2. Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom - manjše površine, ki skupaj ne presegajo 10% površine neprozornega dela zunanje stene	0,60
3. Zunanja stena ogrevanih prostorov proti terenu	0,35
4. Tla na terenu, nad neogrevano kletjo, neogrevanim prostorom ali garažo	0,35
5. Tla nad zunanjim zrakom	0,30
6. Strop proti neogrevanemu prostoru	0,20
7. Vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi iz lesa ali umetnih mas	1,30
8. Vhodna vrata	1,60
9. Garažna vrata	2,00

KAKO SE LOTITI ENERGETSKE SANACIJE?

Ob energetske sanaciji se nam uvodoma pojavi vprašanje kako se je lotiti. Zamenjati okna, namestiti izolacijo, zamenjati vir ogrevanja ...? V ta namen je potreben ekspertni preračun strokovnjaka, ki bo lahko izračunal kaj se v danem primeru najbolj splača. Še pred tem pa se je potrebno vprašati ali imamo vse gradbene konstrukcije ustrezno izolirane proti navlaževanju oziroma ali je hidroizolacija ustrezna.

Gradbene konstrukcije se navlažijo, če so v stiku z vodo ali vodno paro. Navlaževanje gradbenih konstrukcij je nezaželeno iz več razlogov. Med te razloge štejemo zlasti dejstvo, da vlažne konstrukcije povečujejo vlažnost zraka v stavbi in ustvarjajo pogoje za razvoj mikroorganizmov in s tem nevarnost nezdravega okolja. Prav tako se materialom poveča toplotna prevodnost in s tem večina toplotnih izolacij delno izgubi svojo funkcijo. Zato je nujno, da pred energetske sanacije poskrbimo, da so naše gradbene konstrukcije ustrezno zaščitene pred vplivom navlaževanja.

Ekspert po tem predstavi izračun za obstoječe stanje in nato na osnovi tega lahko ovrednoti posamezne ukrepe energetske sanacije.

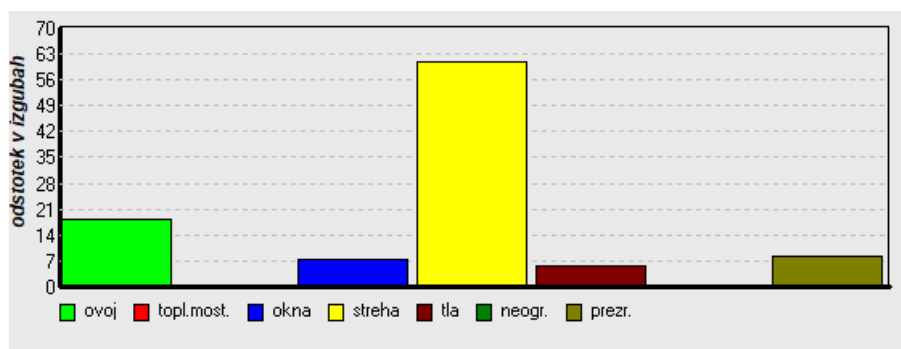
PREDSTAVITEV IZRAČUNA ZA OBSTOJEČE STANJE (NEIZOLIRANO HIŠO)

Za predstavljeni objekt je bil narejen preračun gradbene fizike objekta s pomočjo programske opreme Gradbena fizika URSA 4, ki ima v svoj algoritem integriran preračun, ki je skladen s tehnično smernico TSG-1-004:2010 [5], ki jo predpisuje pravilnik. Pri preračunu je bilo predpostavljeno, da je v objektu nameščen kotel na ekstra lahko kurilno olje (ELKO) in da je objekt netesen, s čimer je omogočena izmenjava zraka 0,7 izmenjave na uro, kar pomeni, da se v objektu vsako uro zamenja 336 m³ zraka. Tabela 4 prikazuje izračunano in dovoljeno toplotno prehodnost uporabljenih konstrukcij. Iz preračuna je razvidno, da konstrukcije na objektu ne ustrezajo zahtevam pravilnika.

Tabela 4: Izračunana in dovoljena toplotna prehodnost gradbenih konstrukcij analiziranega objekta

Gradbeni elementi stavb, ki omejujejo ogrevane prostore		U_{dej} [W/(m ² K)]	U_{max} [W/(m ² K)]
1.	Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom	1,295	0,28
4.	Tla na terenu, nad neogrevano kletjo, neogrevanim prostorom ali garažo	4,532	0,35
6.	Strop proti neogrevanemu prostor	4,178	0,20
7.	Vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi iz lesa ali umetnih mas.	2,1	1,30

Iz rezultatov preračuna sledi tudi, da bi za stalno ogrevanje objekta potrebovali kar do 125882 kWh primarne energije oziroma 114438 kWh dovedene energije, kar ustreza 11353 l kurilnega olja na sezono. Slika 3 prikazuje graf toplotnih izgub po posameznih konstrukcijah. Največ toplote se izgubi skozi streho (60,8 %), čemur sledi izguba toplote skozi ovoj stavbe (18,1 %), nato sledijo izgube zaradi prezračevanja in vtekanja zraka skozi netesne konstrukcije (8,3 %), šele nato sledi izguba toplote skozi okna (7,3 %) in izguba toplote skozi konstrukcijo tal hiše (5,4 %).



Slika 3: Toplotne izgube neizoliranega objekta v odstotkih po površinah

Iz predstavljene analize je razvidno, da bomo energetske najbolj učinkoviti z ukrepi v vrstnem redu, ki jih dobimo iz vrstnega reda velikosti toplotnih izgub. Sledi torej, da bo najučinkovitejši ukrep izolacija strehe, nato izolacija fasade ter zamenjava oken.

PREDSTAVITEV IZRAČUNA ZA POSAMEZNE UKREPE

Samo izolacija strehe oziroma AB plošče proti podstrešju (brez izolacije sten in zamenjave oken)

Da bi zadostili pogoju, da je debelina izolacije na strešni konstrukciji ustrezna, je potrebno na streho (na AB ploščo) položiti 18 cm toplotne izolacije, na primer ekstrudirani polistiren z visoko tlačno trdnostjo in s toplotno prevodnostjo $\lambda = 0,036 \text{ W/(mK)}$, kar pomeni skupno toplotno prehodnost konstrukcije $U = 0,191 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. S tem ukrepom dosežemo, da bi za stalno ogrevanje objekta potrebovali 73829 kWh primarne energije oziroma 67117 kWh dovedene energije, kar ustreza 6658 l kurilnega olja na sezono. Ta ukrep torej prinaša prihranek okoli 4695 l kurilnega olja na sezono. Ob trenutni maloprodajni ceni ELKO, ki znaša 0,911 EUR/l to pomeni prihranek 4.277 EUR na sezono. Ob predvidenem strošku, ki za tak ukrep znaša približno 4.500 EUR, je enostavna vračilna doba približno leto dni.

Samo izolacija stene (brez izolacije strehe in zamenjave oken)

Da bi zadostili pogoju, da je debelina izolacije na zunanji steni ustrezna, je potrebno na steno namestiti 10 cm toplotne izolacije, kot na primer ekstrudirani polistiren (stiropor), s toplotno prevodnostjo $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$, kar pomeni skupno toplotno prehodnost konstrukcije $U = 0,276 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. S tem ukrepom dosežemo, da bi za stalno ogrevanje objekta potrebovali 99891 kWh primarne energije oziroma 90810 kWh dovedene energije, kar ustreza 9009 l kurilnega olja na sezono. Ta ukrep torej prinaša prihranek okoli 2344 l kurilnega olja na sezono. Ob trenutni ceni ELKO, ki znaša 0,911 EUR/l to pomeni prihranek 2.135 EUR na sezono. Ob predvidenem strošku, ki za tak ukrep znaša približno 10.000 EUR, je enostavna vračilna doba približno pet let.

Samo menjava oken (brez izolacije strehe in izolacije sten)

V nadaljevanju predstavljamo preračun tako za dvoslojna kakor tudi za trislojna okna. Trislojna stekla imajo sicer nižjo toplotno prehodnost oken, so pa s tem zmanjšani tudi toplotni dobitki skozi okna, ki jih dobimo s pomočjo sevanja sonca. Pri tem bi poudarili, da analiza velja za Ivančno Gorico.

Dvoslojna okna s toplotno prehodnostjo stekel $U = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in PVC okvirjem

V tem primeru na objekt namestimo okna s toplotno prehodnostjo petkomornega PVC okvirja $U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ter s toplotno prehodnostjo dvoslojnih stekel z nizkoemisijским nanosom $U = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Toplotna prehodnost takih oken znaša $U = 1,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Pri preračunu upoštevamo, da je stavba bolj tesna in da omogoča 0,5 izmenjave zraka na uro, kar pomeni izmenjavo 240 m^3 zraka na uro. Nižja izmenjava zraka ni dovoljena zaradi potrebnega zraka za higienski minimum za bivanje. S tem ukrepom dosežemo, da bi za stalno ogrevanje objekta potrebovali 116906 kWh primarne energije oziroma 106278 kWh dovedene energije, kar ustreza 10544 l kurilnega olja na sezono. Ta ukrep torej prinaša prihranek približno 810 l kurilnega olja na sezono. Ob trenutni ceni ELKO, ki znaša 0,911 EUR/l to pomeni prihranek 737 EUR na sezono. Ob predvidenem strošku, ki za tak ukrep znaša približno 8.000 EUR, je enostavna vračilna doba približno enajst let.

Trislojna okna s toplotno prehodnostjo stekel $U = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in PVC okvirjem

V tem primeru na objekt namestimo okna s toplotno prehodnostjo petkomornega PVC okvirja $U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ter s toplotno prehodnostjo troslojnih stekel z nizkoemisijским nanosom $U = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Toplotna prehodnost takih oken znaša $U = 0,88 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Tudi tu pri preračunu upoštevamo, da je stavba bolj tesna in da omogoča 0,5 izmenjave zraka na uro, kar pomeni izmenjavo 240 m^3 zraka na uro. Nižja izmenjava zraka ni dovoljena zaradi potrebnega zraka za higienski minimum za bivanje. S tem ukrepom dosežemo, da bi za stalno ogrevanje objekta potrebovali 117706 kWh primarne energije oziroma 107006 kWh dovedene energije, kar ustreza 10616 l kurilnega olja na sezono. Ta ukrep torej prinaša prihranek okoli 737 l kurilnega olja na sezono. Ob trenutni ceni ELKO, ki znaša 0,911 EUR/l to pomeni prihranek 672 EUR na sezono. Ob predvidenem strošku, ki za tak ukrep znaša približno 8.000 EUR, je enostavna vračilna doba približno dvanajst let.

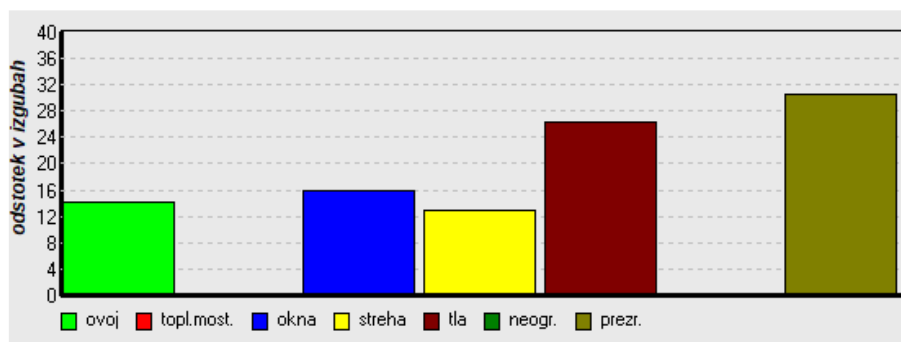
Integralni scenarij sanacije

Po izračunu smo se odločili za integralni scenarij, ki obsega:

- namestitev 15 cm stiropora na zunanje stene,
- vgradnjo trislojnih oken s toplotno prehodnostjo stekel $U=0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in PVC okvirjem,
- vgradnjo 20 cm toplotne izolacije na AB ploščo.

S takim ukrepom dosežemo, da bi za stalno ogrevanje objekta potrebovali 36956 kWh primarne energije oziroma 33596 kWh dovedene energije, kar ustreza 3333 l kurilnega olja na sezono. Ta ukrep torej prinaša prihranek približno 8020 l kurilnega olja na sezono. Ob trenutni ceni ELKO, ki znaša 0,911 EUR/l to pomeni prihranek 7.306 EUR na sezono. Ob predvidenem strošku, ki za tak ukrep znaša približno 22.400 EUR, je enostavna vračilna doba približno tri leta.

Integralna sanacija prinaša uskladitev toplotnih izgub po površinah (Slika 4). Iz slike sledi, da je naslednji ukrep, ki bi bil najbolj smiseln, vgradnja prezračevalnega sistema z rekuperacijo in pa sanacija tal.



Slika 4: Toplotne izgube saniranega objekta

ZAKLJUČEK

Analizirani objekt, ki je bil pred energetske sanacije izjemno potraten, s smiselnimi ukrepi sanacije doseže izjemen prihranek pri rabi energije za ogrevanje. Z izvedenim celostnim scenarijem sanacije bomo dosegli, da stavba za delovanje potrebuje samo 30 % energije v primerjavi z neizoliranim objektom. Pri tem so dejanski potenciali prihranka še višji, saj je za enako doseganje toplotnega ugodja v prostorih v izolirani hiši potrebno imeti nekoliko nižjo temperaturo zraka.

LITERATURA

- [1] URADNI LIST RS. *Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah* [na spletu]. 2010. Dostopno: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/98727>
- [2] MUHIČ, Simon in Bogdan BLAGOJEVIČ. *Tehniška termodinamika*. Novo mesto: Fakulteta za tehnologije in sisteme, 2016. ISBN 978-961-6770-34-7.
- [3] LIN, David idr. Ecological Footprint Accounting for Countries: Updates and Results of the National Footprint Accounts, 2012–2018. *Resources* [na spletu]. 2018, **7**(3), 58 [dostopano 21. 01. 2019]. ISSN 2079-9276. Dostopno:10.3390/resources7030058
- [4] MUHIČ, Simon. *Prenos toplote in snovi v stavbah*. Novo mesto: Fakulteta za tehnologije in sisteme, 2017. ISBN 978-961-6770-38-5.
- [5] MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR. *Tehnična smernica TSG-1-004:2010. Učinkovita raba energije*. 2010

OPOMBA

Operacija Informiranje in ozaveščanje o potencialu učinkovite rabe energije in obnovljivih virov energije za sonaravni razvoj (in.OVE.in.URE) je bila potrjena na drugem Javnem pozivu za izbor operacij za uresničevanje ciljev Strategije lokalnega razvoja na območju LAS STIK v letu 2017.