

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Šoš, P., 2015. Analiza vpliva različnih debelin toplotne izolacije v sistemih inverznih in kombiniranih ravnih streh. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kunič, R.): 136 str.

Datum arhiviranja: 23-09-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Šoš, P., 2015. Analiza vpliva različnih debelin toplotne izolacije v sistemih inverznih in kombiniranih ravnih streh. B.Sc Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kunič, R.): 136 p.

Archiving Date: 23-09-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
KOMUNALNA SMER

Kandidatka:

PETRA ŠOŠ

**ANALIZA VPLIVA RAZLIČNIH DEBELIN TOPLOTNE
IZOLACIJE V SISTEMIH INVERZNIH IN
KOMBINIRANIH RAVNIH STREH**

Diplomska naloga št.: 3448/KMS

**THE ANALYSIS OF DIFFERENT THERMAL
INSULATION THICKNESSES IN THE SYSTEMS OF
INVERTED AND COMBINED FLAT ROOFS**

Graduation thesis No.: 3448/KMS

Mentor:

doc. dr. Roman Kunič

Ljubljana, 17. 09. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana Petra Šoš izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Analiza vpliva različnih debelin toplotne izolacije v sistemih inverznih in kombiniranih ravnih streh«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Lendava, 26. 8. 2015

Petra Šoš

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	536.28:699.8(043.2)
Avtor:	Petra Šoš
Mentor:	doc. dr. Roman Kunič, univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Analiza vpliva različnih debelin toplotne izolacije v sistemih inverznih in kombiniranih ravnih streh
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	136 str., 41 pregl., 9 sl., 16 graf., 30 en., 10 pril.
Ključne besede:	toplotna prehodnost, toplotna prevodnost, obrnjena ravna streha, kombinirana ravna streha, debelina toplotne izolacije, ISO 6946:2007

Izвлеček

Na projektu enostavne stanovanjske stavbe se zasnuje študija prehoda toplote in difuzije vodne pare skozi del ovoja stavbe. S pomočjo računalniškega programa se sestavi primere konstrukcijskih sklopov ravnih streh dveh tipov; prvič, inverzna ali obrnjena in drugič, kombinirana (tudi duo) ravna streha. Ob upoštevanju zahtev o dovoljeni toplotni prehodnosti sistema ravnih streh iz Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010) vključno s pripadajočo tehnično smernico ter obravnavi računske metode toplotne prehodnosti gradbenih elementov iz standarda ISO 6946, se preuči vpliv različnih razmerij toplotnih izolacij med dvema tipoma ravnih streh na spremembo prehoda toplote in s tem potreb po spremembi debelin toplotnoizolacijskega materiala v sistemu obravnavanih streh. V prvem delu študije prehoda toplote skozi konstrukcijske sklope se upošteva dodatek za obrnjene ravne strehe v obliki popravka, navedenega v prilogi standarda ISO 6946. Slednji vključuje popravek toplotne prehodnosti na sistemu zaradi upoštevanja dodatnih izgub toplote na račun precejanja vode skozi stike toplotnoizolacijskega sloja. Hkrati pa je v omenjenem dodatku standarda ISO 6946 dodan še zahtevek po popravku za toplotno prevodnost z upoštevanjem spremembe toplotne prevodnosti toplotne izolacije z namenom vključitve možnosti povečanja vsebnosti vlage zaradi difuzije vodne pare, kar se predstavi v drugem delu študije.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	536.28:699.8(043.2)
Author:	Petra Šoš
Supervisor:	Assist. Prof. Roman Kunič, Ph.D.
Title:	The Analysis of different Thermal Insulation Thicknesses in the Systems of Inverted and Combined Flat Roofs
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	136 p., 41 tab., 9 fig., 16 graph., 30 eq., 10 ann.
Keywords:	thermal transmittance, thermal conductivity, inverted flat roof, combined flat roof, thermal insulation thickness, ISO 6946:2007

Abstract

The aim of the project of one-dwelling building is to conduct a study of thermal flux and diffusion of water vapour through a part of the building cladding. By means of a computer program, examples of structural complexes of flat roofs of two types are made – inverted flat roof and combined flat roof. By complying to the criteria of allowed thermal transmittance of flat roofs as are written in the PURES 2010 (Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah), including the corresponding technical directive and the treatment of calculation method of the thermal transmittance of building components set by the ISO 6946 standard, the effect of different ratios of thermal insulation between the two types of flat roof on the change of thermal flux and the corresponding needed change of the thermal insulation thickness of the material in the system of the roofs in consideration is studied. An appendix on inverted flat roofs is taken into account in the first part of the study of the thermal flux through structural complexes, a correction stated in the ISO 6946 standard. The latter contains a correction on the system's thermal transmittance in regard to the additional heat loss due to the water percolation through the juncture of thermal insulation layer. Additionally, an appeal for the correction of the thermal conductivity in regard to the change of thermal conductivity of the thermal insulation is made in the aforementioned appendix, to integrate the possible increase of the moisture content due to the diffusion of water vapour. This subject is represented in the second part of the study.

ZAHVALA

Hvala mami, očiju, Živi pa babici in Zlatku, ki so tekom študija verjeli v mojo moč in vztrajnost, kljub občasnim padcem in neuspehom. Oči, srčno hvala za vso podporo in praktične življenjske nasvete. Vem, da si verjel vame in glej – Uspelo mi je! Brez tvoje in mamičine pomoči moj študij ne bi bil omogočen.

Hvala tudi vsem prijateljem za dobre in priročne nasvete pri pisanju naloge, sprostivne urice in lepe spomine na čas študija.

Hvala sošolcem, posebej Davorju in Žigi, ki so mi bili v oporo ter v spodbudo na študijski poti.

Hvala fakulteti, ki mi je predala ogromno znanja in me uvedla v nove življenjske poti ter razmišljanja. Skozi študij me je privedlo do stavka: »Gradbeništvo, ker gradim sebe«, ki je do dan danes moj odgovor na vprašanje »Zakaj gradbeništvo?«.

Posebna zahvala gre mentorju doc. dr. Romanu Kuniču, ki me je vztrajno spremljal na poti pisanja diplomske naloge in mi bil vsakič s svojimi odgovori v motivacijo in podporo. Predal mi je veliko znanja, ki je zame bilo še neodkrito.

Hvala podjetju ARI d.o.o. in FRAGMAT TIM d.d. za posredovane podatke, ki so pripomogli k izvedbi diplomske naloge.

Pa zahvala seveda Žigi (ponovno) in Eriku, ki sta mi pomagala pri izdelavi programa za izračune analiz podatkov in bila v pomoč pri oblikovanju naloge. Hvala tudi Mojci za skrben prevod.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA.....	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA.....	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO GRAFIKONOV	XII
KAZALO SLIK.....	XIV
1 UVOD.....	1
2 ZAKONODAJA IZ PODROČJA TOPLOTNE PREHODNOSTI IN TOPLOTNE ZAŠČITE ZGRADB	3
2.1 PRAVILNIK O UČINKOVITI RABI ENERGIJE V STAVBAH (PURES 2010) IN PRIPADAJOČA TEHNIČNA SMERNICA ZA GRADITEV TSG-1-004: 2010 UČINKOVITA RABA ENERGIJE	7
2.1.1 Toplotna zaščita - toplotna prehodnost konstrukcij.....	8
3 PREHOD TOPLOTE IN PROUČEVANJE POJMOV IZ STANDARDA ISO 6946: 2007	9
3.1 TOPLOTNA PREHODNOST RAVNE STREHE	12
4 PREDSTAVITEV OBJEKTA	14
4.1 PREDSTAVITEV IN ANALIZA OBSTOJEČEGA OBJEKTA.....	14
5 KONSTRUKCIJSKI SKLOP RAVNE STREHE	15
5.1 RAZVOJ RAVNIH STREH.....	15
5.2 FUNKCIJE RAVNIH STREH	18
5.3 OBLIKE KONSTRUKCIJ RAVNIH STREH	19
5.3.1 Hidroizolacija nad toplotno izolacijo: Topla streha.....	19
5.3.2 Hidroizolacija pod toplotno izolacijo: Obrnjena streha	19
5.3.3 Hidroizolacija med slojema toplotne izolacije: Kombinirana streha	20
5.4 TOPLOTNOIZOLACIJSKI MATERIALI	21
5.4.1 Priporočene debeline za sloje toplotnih izolacij	21
5.4.2 Zaščita strehe – nasutje.....	22
5.5 SESTAVA KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV	24
5.5.1 Računalniški program za račun toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa.....	25
5.5.2 Izpeljava in sestava konstrukcijskega sklopa	26
6 PREDSTAVITEV OBRAVNAVANIH TIPOV RAVNIH STREH	31
6.1 OBRNJENA RAVNA STREHA, ZAŠČITA Z NASUTJEM IZ PRODCA.....	31
6.1.1 Razmerje debelin toplotne izolacije obrnjene ravne strehe	35
6.2 KOMBINIRANA RAVNA STREHA KOT RAZLIČICA OBRNJENE RAVNE STREHE, ZAŠČITA Z NASUTJEM IZ PRODCA	39
6.2.1 Razmerje debelin toplotne izolacije kombinirane ravne strehe.....	41

6.3 PRIMERJAVA RAZMERIJ DEBELIN MED SISTEMOMA KOMBINIRANE IN OBRNJENE RAVNE STREHE.....	43
7 POPRAVEK K TOPLOTNI PREHODNOSTI	45
7.1 POPRAVKI K TOPLOTNI PREHODNOSTI: STANDARD ISO 6946, PRILOGA D	47
7.2 POSTOPEK POPRAVKA ZA OBRNJENE STREHE PO DODATKU D.4 STANDARDA ISO 6946	50
7.2.1 Popravek zaradi precejanja vode med plasti toplotne izolacije in hidroizolacije, Priloga (D.4.3) standarda ISO 6946	51
8 DODATEK ΔU_R ZA POD XPS TOPLOTNO IZOLACIJO ODTEKAJOČO SE PDAVINSKO VODO, V SKLADU S PRILOGO STANDARDA ISO 6946: 2007	53
8.1 POVPREČNI DELEŽ PADAVIN P V ČASU OGREVALNE SEZONE	53
8.1.1 Določitev reprezentativnih padavin p v Evropi.....	53
8.1.2 Določevanje trajanja kurilne sezone	53
8.1.3 Analiza klimatskih podatkov za Slovenijo	54
8.1.4 Potek izračuna povprečnega deleža padavin p v času ogrevalne sezone	57
8.2 FAKTOR ODVODNJAVANJA F IN FAKTOR POVEČANJA TOPLOTNIH IZGUB X	59
(KOMBINACIJSKI FAKTOR $F \cdot X$ TER VRSTE STIKOV MED TOPLOTNOIZOLACIJSKIMI PLOŠČAMI XPS)	
8.2.1 Priporočene vrednosti za $f \cdot x$ po smernici ETAG 031-1.....	59
8.2.2 Raziskave na obrnjeni ravni strehi z nameščenim ločilnim slojem	62
8.3 KOLIČNIK $(R_i/R_T)^2$ – OBRNJENA ALI KOMBINIRANA RAVNA STREHA?	65
8.4 IZSLEDKI ANALIZ IN DISKUSIJA - VPLIV PRECEJANJA VODE MED STIKE TI NA HI	65
8.4.1 Primer izračuna $\Delta U_r, U_c$ in d_{novi}	66
8.4.2 Obrnjena ravna streha.....	69
8.4.3 Kombinirana ravna streha	83
8.4.4 Prehod - obrnjena/kombinirana ravna streha	91
RAZMERJE DEBELIN: OBRNJENA - KOMBINIRANA RAVNA STREHA	95
8.5 RAZLAGA NEGATIVNIH VREDNOSTI U_c IN D_{NOVI} , KI NASTOPIJO V IZRAČUNIH	97
9 POVEČANJE TOPLOTNE PREVODNOSTI TOPLOTNE IZOLACIJE ZARADI SKLADIŠČENJA VLAGE PREKO DIFUZIJE VODNE PARE	100
9.1 DIFUZIJSKA UPORNOST MATERIALOV V SESTAVI RAVNIH STREH	104
9.1.1 Analize raziskav na ločilnih slojih obrnjenih streh z odprtim kritjem	104
9.1.2 Sprememba toplotne prevodnosti λ_{corr} kot upoštevanje povečanja toplotne prevodnosti izolacije zaradi skladiščenja vlage preko difuzije vodne pare	105
9.1.3 Izsledki analiz in diskusija.....	106
9.2 POPRAVKI K TOPLOTNI PREVODNOSTI: ISO 10456, PRILOGA B	107
9.2.1 Določanje projektne toplotne vrednosti	108
9.2.2 Izračun projektne toplotne prevodnosti toplotne izolacije	111
9.3 IZSLEDKI ANALIZ IN DISKUSIJA – VPLIV MOŽNOSTI POVEČANJA VSEBNOSTI VLAGE ZARADI DIFUZIJE VODNE PARE NA TOPLOTNO PREVODNOST TOPLOTNE IZOLACIJE.....	112
9.3.1 Obrnjena ravna streha.....	113
9.3.2 Kombinirana ravna streha ter primerjava razmerij debelin med sistemoma kombinirane in obrnjene ravne strehe	114
10 POPRAVEK K TOPLOTNI PREHODNOSTI KONSTRUKCIJSKEGA SKLOPA SKUPAJ S POPRAVKOM K TOPLOTNI PREVODNOSTI TOPLOTNE IZOLACIJE.....	116
10.1 OBRNJENA RAVNA STREHA	116

10.2 KOMBINIRANA RAVNA STREHA TER PRIMERJAVA RAZMERIJ DEBELIN MED SISTEMOMA KOMBINIRANE IN OBRNJENE RAVNE STREHE	118
11 VREDNOTENJE REZULTATOV	122
12 ZAKLJUČEK	125
VIRI	130

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Površinski upor ($m^2 \cdot K/W$) – ravne strehe (vir: [21]).....	11
Preglednica 2: Sestava obrnjene ravne strehe.....	29
Preglednica 3: Sestava kombinirane ravne strehe (EPS:XPS= A:B)	29
Preglednica 4: Razmerje med toplotno prehodnostjo U in debelino toplotnoizolacijskega sloja d konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe.....	36
Preglednica 5: Delež toplotnega upora R_{XPS} toplotne izolacije XPS glede na zahteve po toplotnemu uporu konstrukcijskega sklopa R_{KS} (oz. U) obrnjene ravne strehe	38
Preglednica 6: Vrednosti razmerij toplotnih uporov (R_{XPS}/R_{KS}) kombinirane ravne strehe z različnimi razmerji EPS:XPS glede na zahtevano toplotno prehodnost U	42
Preglednica 7: Razmerje deleža toplotne izolacije XPS glede na celoten konstrukcijski sklop strehe (razmerje med kombinirano in obrnjeno ravno streho)	43
Preglednica 8: Dodatek ΔU za obrnjene strehe po DIN 4108-2 (vir: [37]).....	46
Preglednica 9: Simboli in enote	51
Preglednica 10: Povprečna (izračunana) količina padavin (p) v obdobju ogrevalne sezone 2013/2014 za izbrane kraje Slovenije.....	58
Preglednica 11: Stopnja propustnosti L (%) v odvisnosti od intenzitete padavin, merjene na testni strehi (mm/h) (vir: [56]).....	63
Preglednica 12: Privzete vrednosti za faktor $f \cdot x$ v odvisnosti od stopnje puščanja L	63
Preglednica 13: Kombinacijski faktorji $f \cdot x$, uporabljeni v študiji.....	64
Preglednica 14: Uporabljeni podatki za izračune ΔU_r , U_c in d_{novi}	66
Preglednica 15: Rezultati za dosego $U = 0,20 W/m^2 \cdot K$ konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe z drenažnim faktorjem $f \cdot x = 0 [(W \cdot dan)/(m^2 \cdot K \cdot mm)]$	69
Preglednica 16: Rezultati za dosego $U = 0,20 W/m^2 \cdot K$ konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe z drenažnim faktorjem $f \cdot x = 0,03 [(W \cdot dan)/(m^2 \cdot K \cdot mm)]$	70
Preglednica 17: Rezultati za dosego $U = 0,20 W/m^2 \cdot K$ konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe z drenažnim faktorjem $f \cdot x = 0,04 [(W \cdot dan)/(m^2 \cdot K \cdot mm)]$	70
Preglednica 18: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije obrnjene ravne strehe z različnimi drenažnimi faktorji $f \cdot x$ za izpolnjevanje U vrednosti $0,20 W/m^2 \cdot K$	71
Preglednica 19: Povečanje debeline toplotne izolacije XPS Δd [m] glede na prvotno zahtevano debelino d [m].....	73

Preglednica 20: Sprememba toplotne prehodnosti ΔU za različne povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone $[p]$ in različne drenažne faktorje $[f \cdot x]$, ob zahtevi za dosego $U=0,20$ $W/m^2 \cdot K$ obrnjene ravne strehe	75
Preglednica 21: Popravljen/korigirana toplotna prehodnost U_c za različne povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone $[p]$ in različne drenažne faktorje $[f \cdot x]$ za dosego $U=0,20$ $W/m^2 \cdot K$ obrnjene ravne strehe	76
Preglednica 22: Rezultati za dosego $U = 0,18$ $W/m^2 \cdot K$ konstrukcijskega sklopa z drenažnim faktorjem $f \cdot x = 0$ $[(W \cdot dan)/(m^2 \cdot K \cdot mm)]$	77
Preglednica 23: Rezultati za dosego $U = 0,18$ $W/m^2 \cdot K$ konstrukcijskega sklopa z drenažnim faktorjem $f \cdot x = 0,03$ $[(W \cdot dan)/(m^2 \cdot K \cdot mm)]$	78
Preglednica 24: Rezultati za dosego $U = 0,18$ $W/m^2 \cdot K$ konstrukcijskega sklopa z drenažnim faktorjem $f \cdot x = 0,04$ $[(W \cdot dan)/(m^2 \cdot K \cdot mm)]$	78
Preglednica 25: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije obrnjene ravne strehe z različnimi drenažnimi faktorji $f \cdot x$ za izpolnjevanje U vrednosti $0,18$ $W/m^2 \cdot K$	79
Preglednica 26: Povečanje debeline toplotne izolacije XPS Δd [m] glede na prvotno zahtevano debelino d [m]	80
Preglednica 27: Sprememba toplotne prehodnosti ΔU za različne povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone $[p]$ in različne drenažne faktorje $[f \cdot x]$, ob zahtevi za dosego $U=0,18$ $W/m^2 \cdot K$ obrnjene ravne strehe	80
Preglednica 28: Medsebojni vpliv zahtevane toplotne prehodnosti U obrnjene ravne strehe ter razmerja $(R_1/R_T)^2$	81
Preglednica 29: Sprememba toplotne prehodnosti kombinirane ravne strehe z različnimi razmerji EPS:XPS in $f \cdot x=0,04$, treh različnih krajev Slovenije (p)	83
Preglednica 30: Sprememba toplotne prehodnosti kombinirane ravne strehe z $U = 0,20$ $W/m^2 \cdot K$ glede na različne drenažne faktorje $f \cdot x$ $[(W \cdot dan)/(m^2 \cdot K \cdot mm)]$ in različne kraje po Sloveniji (p)	84
Preglednica 31: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe, s toplotno prehodnostjo $U = 0,20$ $W/m^2 \cdot K$, v odvisnosti od lokacije objekta, vrste stikov med XPS ploščami ter razmerja debelin EPS:XPS	85
Preglednica 32: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe (EPS:XPS=1:1), s toplotno prehodnostjo $U = 0,20$ $W/m^2 \cdot K$, v odvisnosti od lokacije objekta ter vrste stikov med XPS ploščami	87
Preglednica 33: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe (EPS:XPS=3:1), s toplotno prehodnostjo $U = 0,20$ $W/m^2 \cdot K$, v odvisnosti od lokacije objekta ter vrste stikov med XPS ploščami	88
Preglednica 34: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe (EPS:XPS=5:1), s toplotno prehodnostjo $U = 0,20$ $W/m^2 \cdot K$, v odvisnosti od lokacije objekta ter vrste stikov med XPS ploščami	89

Preglednica 35: Medsebojni vpliv zahtevane toplotne prehodnosti U kombinirane ravne strehe ter razmerja $(R_1/R_7)^2$ z različnimi razmerji EPS:XPS	90
Preglednica 36: Sprememba toplotne prehodnosti ΔU obrnjene in kombinirane ravne strehe z zahtevo po $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($f\cdot x=0,04$)	92
Preglednica 37: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije (XPS) obrnjene in kombinirane ravne strehe z zahtevo po $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($f\cdot x=0,04$)	93
Preglednica 38: Popravek k toplotni prevodnosti - Sprememba debeline XPS ob upoštevanju povečanja toplotne prevodnosti XPS zaradi vpliva možnosti povečanja vsebnosti vlage zaradi difuzije vodne pare v obrnjeni ravni strehi.....	114
Preglednica 39: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije obrnjene ravne strehe - Upoštevan popravek k $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ zaradi precejanja vode med toplotno- in hidroizolacijski sloj ter popravek k toplotni prevodnosti λ_{corr} zaradi možnosti povečane vsebnosti vlage v toplotnoizolacijskem materialu zaradi difuzije vodne pare	117
Preglednica 40: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe, s toplotno prehodnostjo $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, v odvisnosti od lokacije objekta, vrste stikov med XPS ploščami ter razmerja debelin EPS:XPS (vpliv popravka k U in λ).....	119
Preglednica 41: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije (XPS) obrnjene in kombinirane ravne strehe z zahtevo po $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($f\cdot x=0,04$) ter vplivom obeh popravkov za obrnjene strehe.....	120

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Razmerje med toplotno prehodnostjo U konstrukcijskega sklopa in debelino toplotnoizolacijskega sloja d (XPS) za razred toplotne prevodnosti $\lambda_{XPS} = 0,036 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	37
Grafikon 2: Delež toplotnega upora R_{XPS} toplotne izolacije XPS glede na zahteve po toplotnemu uporu konstrukcijskega sklopa R_{KS} (oz. toplotne prehodnosti U_{KS}) obrnjene ravne strehe	38
Grafikon 3: Razmerje deleža toplotne izolacije XPS glede na celoten konstrukcijski sklop strehe (razmerje med kombinirano in obrnjeno ravno streho)	44
Grafikon 4: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije obrnjene ravne strehe z različnimi drenažnimi faktorji $f \cdot x$ za izpolnjevanje U vrednosti $0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	71
Grafikon 5: Povečanje debeline toplotne izolacije XPS Δd glede na prvotno zahtevano debelino d [m]	74
Grafikon 6: Sprememba toplotne prehodnosti ΔU za različne povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone $[\rho]$ in različne drenažne faktorje $[f \cdot x]$, ob zahtevi za doseg $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ obrnjene ravne strehe	75
Grafikon 7: Popravljen/korigirana toplotna prehodnost U_c za različne povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone $[\rho]$ in različne drenažne faktorje $[f \cdot x]$, ob zahtevi za doseg $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ obrnjene ravne strehe	77
Grafikon 8: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije obrnjene ravne strehe z različnimi drenažnimi faktorji za izpolnjevanje U -vrednosti za $0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	79
Grafikon 9: Sprememba toplotne prehodnosti ΔU za različne povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone $[\rho]$ in različne drenažne faktorje $[f \cdot x]$, ob zahtevi za doseg $U=0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ obrnjene ravne strehe	81
Grafikon 10: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe (EPS:XPS=1:1), s toplotno prehodnostjo $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, v odvisnosti od lokacije objekta ter vrste stikov med XPS ploščami	87
Grafikon 11: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe (EPS:XPS=3:1), s toplotno prehodnostjo $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, v odvisnosti od lokacije objekta ter vrste stikov med XPS ploščami	88
Grafikon 12: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe (EPS:XPS=5:1), s toplotno prehodnostjo $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, v odvisnosti od lokacije objekta ter vrste stikov med XPS ploščami	89
Grafikon 13: Sprememba toplotne prehodnosti ΔU obrnjene in kombinirane ravne strehe z zahtevo po $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($f \cdot x=0,04$)	92
Grafikon 14: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije (XPS) obrnjene in kombinirane ravne strehe z zahtevo po $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($f \cdot x=0,04$)	94

Grafikon 15: Primer nastopa negativnih vrednosti v primeru obrnjene ravne strehe z $U=0,20$ $W/m^2 \cdot K$, ob različnih p ter $f \cdot x$ 98

Grafikon 16: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije (XPS) obrnjene in kombinirane ravne strehe z zahtevo po $U=0,20$ $W/m^2 \cdot K$ ($f \cdot x=0,04$) ter vplivom obeh popravkov za obrnjene strehe..... 120

KAZALO SLIK

Slika 1: Sestava obrnjene ravne strehe	31
Slika 2: Sestava kombinirane ravne strehe.....	39
Slika 3: Toplotne izgube obrnjene strehe (vir: [56])	45
Slika 4: Vpliv ločilnega sloja na s prodom kriti obrnjeni strehi - Dodatek ΔU k toplotnemu uporu (a: Voda deloma odteka pod izolacijo-filc; b: Voda v celoti odteka nad izolacijo v odvajalni sistem-vodoodvajalni-ločilni sloj) (vir: [37])	47
Slika 5: Povprečna letna vsota korigiranih padavin za obdobje 1971-2000 (vir: [60])	55
Slika 6: Povprečna količina korigiranih padavin (mm) po mesecih za obdobje 1971-2000 (vir: [60]).....	56
Slika 7: Vrste robov toplotnoizolacijskih plošč XPS	59
Slika 8: Stopnja propustnosti L (%) v odvisnosti od intenzitete padavin, merjene na testni strehi (mm/h)) (vir: [69])	63
Slika 9: Izračunana porazdelitev (vsebnost) vlage v središču XPS izolacijskih plošč.....	105

(prazna stran)

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

A	površina konstrukcijskega sklopa (tudi S), m^2
AB	armiran beton
d_{novi}	povečana debelina toplotne izolacije (XPS), m
ETAG 031-1	Guideline for European Technical Approval of Inverted Roof Insulation Kits, Part 1: General, Version November 2010 (EOTA)
EPS	ekspandirani polistiren
HI	hidroizolacija
ISO 6946	Building components and building elements -- Thermal resistance and thermal transmittance -- Calculation method, 2007
ISO 10456	Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values, 2007
K	kelvin
KS	konstrukcijski sklop
m	meter
m^2	kvadratni meter
NK	nosilna konstrukcija
PURES 2010	Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, 2010 (Ur. l. RS, št. 52/10)
PZ	parna zapora
$R_1 = R_{TI} = R_{XPS}$	toplotni upor toplotnoizolacijskega sloja ekstrudiranega polistirena (XPS), $m^2 \cdot K/W$
RS	ravna streha
R_{se}	zunanja površinska upornost (toplotni upor mejne zunanje zračne plasti za $1m^2$ površine konstrukcijskega sklopa)
R_{si}	notranja površinska upornost (toplotni upor mejne notranje zračne plasti za $1m^2$ površine konstrukcijskega sklopa)
$R_T = R_{KS}$	toplotni upor konstrukcijskega sklopa, $m^2 \cdot K/W$
TI	toplotna izolacija
TSG -1- 004	Tehnična smernica za graditev TSG -1- 004:2010 Učinkovita raba energije
$U = U_{KS}$	toplotna prehodnost konstrukcijskega sklopa, $W/m^2 \cdot K$
U_c	popravljen toplotna prehodnost U po ISO 6946, $W/m^2 \cdot K$
ΔU	celoten popravek k toplotni prehodnosti, $W/m^2 \cdot K$
ΔU_r	popravek k toplotni prehodnosti za obrnjene strehe, $W/m^2 \cdot K$

W	vat (izvirno angl. watt), izpeljana enota za toplotni tok [=J/s]
XPS	ekstrudirani polistiren
λ	toplotna prevodnost toplotne izolacije, W/m·K
λ_{corr}	popravek na toplotni prevodnosti toplotne izolacije (XPS), W/m·K
λ_D	deklarirana toplotna prevodnost, W/m·K
λ_{XPS}	toplotna prevodnost XPS, W/m·K

SLOVAR STROKOVNIH BESED IN TUJK

„Energetska učinkovitost stavbe“ pomeni izračunano ali izmerjeno količino energije, potrebno za zadovoljevanje potreb po energiji, povezanih z običajno uporabo stavbe, ki med drugim vključuje energijo za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, toplo vodo in razsvetljavo; (EPBD, 2010)

»Element stavbe« pomeni tehnični stavbni sistem ali element ovoja stavbe; (EPBD, 2010)

»Površina toplotnega ovoja stavbe« je zunanja površina dela stavbe s kontroliranim notranjim okoljem, skozi katero prehaja toplota ali hlad, določena po standardu SIST EN ISO 13789, v okolje (A (m²)); (PURES, 2010)

»Povprečna toplotna prehodnost stavbe«, U_m (W/(m²·K)), je računsko uravnotežena povprečna vrednost toplotnih prehodnosti ovoja stavbe z upoštevanjem toplotnih mostov; (TSG - 1 - 004: 2010)

»Projektna notranja temperatura«, θ_{iph} , θ_{eph} , θ_{ipc} , θ_{epc} (°C), je računsko temperatura zraka za izračun toplotnih obremenitev z indeksi: notranja –ip, zunanja –ep; pozimi –h in poleti c; (TSG - 1 - 004: 2010)

»Projektna zunanja temperatura« je temperatura zunanjega zraka, ki jo je treba upoštevati pri načrtovanju ogrevalnega in hladilnega sistema in je za posamezno lokacijo določena s karto projektne zunanje temperature. (TSG - 1 - 004: 2010)

»Toplotna prehodnost«, U (W/(m²·K)), je celotna toplotna prehodnost, ki upošteva prehod toplote skozi element ovoja stavbe in vključuje prevajanje, konvekcijo in sevanje; (TSG - 1 - 004: 2010)

»Toplotna prevodnost«, λ (W/(m·K)) je snovna lastnost materiala, določena pri srednji delovni temperaturi in vlažnosti materiala; (TSG - 1 - 004: 2010)

»Toplotni most« je mesto povečanega prehoda toplote v konstrukciji ali napravi zaradi spremembe materiala, debeline ali geometrije konstrukcije; (TSG - 1 - 004: 2010)

»Trajanje ogrevalne sezone« je število dni med začetkom in koncem ogrevalne sezone. Začetek in konec ogrevalne sezone sta za posamezno lokacijo določena s kartama začetka in konca ogrevalne sezone;⁽¹⁾ (TSG - 1 - 004: 2010)

»Zunanja temperatura«, θ_e (°C) je temperatura zunanjega zraka. (TSG - 1 - 004: 2010)

⁽¹⁾ Karte s krajevno ugotovljenimi podnebnimi podatki so dostopne na spletni aplikaciji pregledovalnika podnebnih podlag na spletnem naslovu:

(prazna stran)

1 UVOD

Zniževanje stroškov energije je zadnje čase vse bolj aktualno. Vendar pa izkušnje kažejo, da so potenciali varčevanja z energijo in s tem zniževanja stroškov večinoma še neizkoriščeni. Mnogo ukrepov, s katerimi bi potenciali postali uresničljivi, ne zahteva večjih investicij, temveč le nekoliko več finančnih vložkov ter stroškov na samem začetku izvedbe ukrepov, kot je npr. namestitev debelejše toplotne izolacije na strehi objekta [1]. Kakovostna toplotna izolacija (v nadaljevanju TI) strehe je bistvenega pomena pri zmanjševanju porabe energije za ogrevanje objekta in s tem povezanih stroškov. Pravilno izbrana in pravilno vgrajena TI v zimskih mesecih prepreči odvajanje toplote, v poletnih mesecih pa pretirano segrevanje stavbe. Še posebej pomembna pa je kakovostna strešna TI v primeru, ko je podstrešni prostor namenjen bivanju [2].

V Sloveniji je 1. julija 2010 začel veljati Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010) vključno s pripadajočo Tehnično smernico za graditev TSG-1-004: 2010 Učinkovita raba energije. Le-ta med drugim določa ostra merila za toplotno zaščito stavb. V njej so zapisane maksimalne vrednosti toplotne prehodnosti (v nadaljevanju tudi U) za vsak konstrukcijski sklop objekta [3].

Poleg pravilnika je za izračun toplotne prehodnosti pomemben tudi standard ISO 6946: 2007 - *Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method* (slovenski naslov: Gradbene komponente in gradbeni elementi - Toplotna upornost in toplotna prehodnost - Računska metoda) – (v nadaljevanju standard) in njegova priloga D - Popravki k toplotni prehodnosti. Standard namreč obsega metodo za izračun toplotne prehodnosti gradbenih komponent in gradbenih elementov.

V diplomski nalogi se osredotočamo na toplotne prehodnosti ravnih streh enostavnih stanovanjskih stavb. V gradbeništvu poznamo več tipov ravnih streh. Zaradi specifičnosti sestave konstrukcijskega sklopa obrnjene in kombinirane ravne strehe, se v tej nalogi koncentriramo le na ta dva tipa.

Namen naloge je z analizo različnih debelin toplotnih izolacij doseči zahtevano toplotno prehodnost omenjenih ravnih streh. Pri izračunih si pomagamo z računalniškima programoma TEDI in Microsoft Excel.

Za primerjavo podatkov in analizo izvajamo več lokacij po Sloveniji, kamor navidezno lociramo enostavno stanovanjsko stavbo z navedenimi konstrukcijskimi sklopi. Na projektu te enostavne stanovanjske stavbe se zasnuje študija prehoda toplote in difuzije vodne pare skozi del ovoja stavbe, v tem primeru strehe.

Ob upoštevanju zahtev o dovoljeni toplotni prehodnosti sistema ravnih streh iz pravilnika, vključno s pripadajočo tehnično smernico ter obravnavi standarda, se preučijo vpliv različnih razmerij toplotnih izolacij med dvema tipoma ravnih streh na spremembo prehoda toplote in s tem potrebo po spremembi debelin toplotnoizolacijskega materiala.

V začetnem delu naloge predstavljamo zgodovino za nas pomembne zakonodaje in trenutno veljavne zakonodaje, s pomočjo katere se lotevamo računskih postopkov v nalogi. Iz opisa pravilnika in tehnične smernice, ki podajata zahteve glede največje dovoljene toplotne prehodnosti konstrukcije, preidemo na predstavitev standarda. Ta je z metodami izračuna U podrobneje prikazan skozi opis standarda, ki nam služi za sestavo konstrukcijskega sklopa.

Na podlagi obstoječega sklopa ravne strehe stanovanjske stavbe zasnujemo dva primera ravne strehe, in sicer obrnjeno ali inverzno ter kombinirano ali duo ravno streho. S pomočjo

pridobljenih podatkov za obravnavani del ovoja stavbe – strehe - ter za to primernih računalniških programov sestavimo konstrukcijska sklopa za potrebe naše analize.

Konstrukcijska sklopa ravnih streh sta v analizi predstavljena ločeno.

V nadaljevanju dimenzioniramo debeline toplotnih izolacij, kot sestavni del konstrukcijskih sklopov. Na podlagi zahteve po največji dovoljeni toplotni prehodnosti U za ravne strehe, kot ga definira PURES 2010 oziroma pripadajoča tehnična smernica TSG-1-004, na vnaprej poznanih sestavnih elementih ravne strehe ter s pomočjo podatkov, pridobljenih iz kataloga podjetja, na novo oblikujemo konstrukcijski sklop obrnjene in nato še kombinirane ravne strehe.

Z upoštevanjem zahtev po dovoljeni toplotni prehodnosti U za ravne strehe izračunamo najmanjšo potrebno debelino toplotne izolacije, ki še ustreza danim zahtevam. Upoštevamo tudi strožje zahteve glede toplotne prehodnosti, z nižjimi vrednostmi U , ki so glede na zahteve po energetski učinkovitosti stavb vedno bolj aktualne.

Prav tako obravnavamo tudi standard in njegovo prilogo D. Slednja zajema popravek ΔU k toplotni prehodnosti U . Za potrebe naše naloge analiziramo le popravek naveden v prilogi D, v poglavju D.4 - Postopek popravka za obrnjene strehe. Postopek naveden v poglavju D.4 velja le za toplotne izolacije iz ekstrudiranega polistirena, kar pomeni, da so slednje predmet naše analize. Ker je kombinirana streha modificirana oblika obrnjene strehe, velja popravek tudi za njo.

V osrednjem delu naloge se osredotočamo na popravek k toplotni prehodnosti ΔU_r , naveden v podpoglavju D.4.3., in tudi končni vrednosti popravljenega toplotne prehodnosti U_c . Postopek poprave upošteva dodatne toplotne izgube, ki nastanejo zaradi precejanja padavinske vode med toplotnoizolacijski sloj ter sloj hidroizolacije. Tako na račun upoštevanja vpliva izgub toplote na sistemu prikažemo potrebe po večjih debelinah toplotne izolacije, z namenom ohranitve prvotno zahtevanega U .

V tem delu naloge predstavljamo tudi popravek naveden v podpoglavju standarda D.4.4 – Popravek k toplotni prevodnosti. Ta zahteva popravek k toplotni prevodnosti toplotne izolacije zaradi možnega povečanja vsebnosti vlage, povzročene z difuzijo vodne pare. Na račun vlage se namreč poveča prehod toplote skozi material, ta pa s tem izgublja svojo funkcijo zadrževanja toplote. Po znanih zahtevah za U izračunamo nove najmanjše dovoljene debeline toplotnih izolacij, ki se spremenijo z upoštevanjem povišane toplotne prevodnosti kot posledice vpliva difuzije, in sicer z namenom zagotovitve zahtev po standardu računane U . Z upoštevanjem povečanih vrednosti toplotne prevodnosti toplotnoizolacijskih materialov naredimo še analizo toplotne prehodnosti obravnavanih konstrukcijskih sklopov z upoštevanjem popravka k U . Upoštevanje obeh popravkov, ločeno in skupaj, podaja vpogled vpliva upoštevanja le-teh k spremembi prvotno računanih debelin toplotnih izolacij v sistemu, kjer popravek za obrnjene strehe ni upoštevan.

V zaključnem delu naloge predstavljamo vrednotenje rezultatov v okrajšani obliki analize iz vsebine naloge.

2 ZAKONODAJA IZ PODROČJA TOPLOTNE PREHODNOSTI IN TOPLOTNE ZAŠČITE

ZGRADB

Posredno zadevajoče predpise glede toplotne zaščite zgradb na območju današnje Slovenije lahko najdemo že v "Stavbnem redu za Vojvodino Kranjsko" iz leta 1875. Tudi po letu 1945 je toplotna zaščita le posredno zajeta v priporočilih in pravilnikih s področja zidanih stavb in stanovanjske gradnje. Leta 1970 so bili izdani prvi predpisi o toplotni zaščiti v gradbeništvu, veljavni na območju Slovenije. "Pravilnik o tehničnih ukrepih in pogojih za toplotno zaščito stavb" (Uradni list SFRJ 35/70) je predpisoval največje dovoljene toplotne prehodnosti »k« ($W/m^2 \cdot K$), danes imenovane »U«, elementov ovoja zgradbe glede na klimatsko cono, v kateri zgradba stoji.

Napredek na področju zmanjševanja toplotnih izgub v zgradbah predstavlja standard z obvezno uporabo JUS.U.J5.600 "Tehnični pogoji za projektiranje in graditev stavb". Ta je stopil v veljavo leta 1980. Standard predpisuje največje dovoljene vrednosti toplotne prehodnosti »k« za posamezne elemente zgradbe, ki so bistveno manjše kot v predhodnih predpisih, pa tudi zahteve glede toplotne stabilnosti ovoja zgradbe v poletnem obdobju ter zahteve glede difuzije vodne pare skozi ovoj zgradbe.

Leta 1980 se standardu JUS.U.J5.600 priključujejo tudi izdani standardi, ki navajajo metode računanja toplotne prehodnosti, difuzije vodne pare in toplotne stabilnosti zunanjih gradbenih konstrukcij z obvezno uporabo JUS.U.J5.510, 520, 530, ki s tem zaokrožujejo regulativo s področja toplote v zgradbah.

Na področju Slovenije je standard JUS.U.J5.600 dopolnjeval "Pravilnik o racionalni rabi energije ..." (Uradni list SRS 31/84), ki je predpisoval tudi specifične toplotne izgube zaradi prehoda toplote skozi obodne konstrukcije in prezračevanja v odvisnosti od razčlenjenosti zgradbe. Kljub temu, da so vsi standardi iz leta 1980 bili sedem let kasneje novelirani, spremenjeni, dopolnjeni in poostreni, so predpisane toplotne prehodnosti gradbenih konstrukcij ostale po letu 1987 skoraj nespremenjene.

Takrat veljavni standardi na področju omejevanja toplotnih izgub zgradbe postavljajo dve osrednji zahtevi:

- o največjih dovoljenih specifičnih toplotnih izgubah zgradbe,
- o največjih dovoljenih toplotnih prehodnostih gradbenih konstrukcij.

Takratni kriteriji največjih dovoljenih toplotnih prehodnosti gradbenih konstrukcij so poleg tega, da posamezni elementi zgradbe morajo imeti toplotne prehodnosti manjše od predpisanih, še morali upoštevati linijske toplotne prehodnosti kot je to predpisoval standard JUS.U.J5.510. Z upoštevanjem linijskih toplotnih prehodnosti se želi v račun toplotnih izgub zajeti tudi bočne toplotne tokove [4].

V drugi polovici devetdesetih let je v procesu pridruževanja Slovenije Evropski uniji potekalo tudi usklajevanje slovenskega pravnega reda z evropskim [5].

V procesu harmonizacije naše regulative z evropsko je bila ena od nalog tudi vzpostavitev strožje regulative za toplotno zaščito stavb, z namenom izboljšanja kakovosti bivanja in toplotnega ugodja v stavbah, zmanjšanja rabe energije za ogrevanje in s tem povezanih stroškov ter manjšega obremenjevanja okolja [4].

Iz področja v zvezi z energetsko učinkovitostjo stavb sta bili ključni dve direktivi. Prva je Direktiva o gradbenih proizvodih (89/106/EEC) (CPD), ki je bila prenesena v Zakon o

gradbenih proizvodih (ZGPro). Ta navaja šest bistvenih zahtev, ki jih mora stavba izpolnjevati, med katerimi je za naše obravnavano področje pomembna šesta zahteva, imenovana »Gospodarno ravnanje z energijo in zadrževanje toplote«, danes spremenjena v »Varčevanje z energijo in ohranjanje toplote«. Druga izmed ključnih direktiv je bila tedanja direktiva SAVE (93/76/EEC), ki je med ostalim zahtevala oblikovanje strožje zakonodaje za toplotno zaščito stavb [5].

Na podlagi takratnega Zakona o graditvi objektov (ZGO) je bil leta 2002 izdan Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah (PTZURES, Ur. list 42/2002) kot gradbeni predpis, izdan v skladu z določbami tega zakona. Pravilnik je predstavljal prvi korak v tej smeri in je zaostрил zahteve starih JUS standardov. Predpisoval je omejevanje količine dovedene energije, povprečno toplotno prehodnost in, kot rezervno mejo, še največje dovoljene toplotne prehodnosti [6].

Pravilnik je postavljал zahteve glede dovoljene potrebne letne toplote za stanovanjske stavbe izražene v kWh/m²a. Bistvena razlika med dosedanjimi predpisi in novim predpisom je v tem, da se namesto specifičnih toplotnih izgub (W/m³), kjer se pri dosedanjih prepisih govori o potrebni toplotni moči za ogrevanje stavbe, pri novem pravilniku opisuje energijska učinkovitost stavbe v odvisnosti od oblikovnega faktorja stavbe s podatkom o potrebni letni rabi energije na enoto uporabne površine stavbe (kWh/m²a). Druge bistvene zahteve se nanašajo na potrebne dosežene povprečne toplotne prehodnosti celotnega ovoja stavbe in toplotne prehodnosti posameznih elementov ovoja. Podaja tudi olajšave za upoštevanje vpliva toplotnih mostov, stopnje izmenjave zraka, zahteve za vgradnjo energijsko učinkovitih oken, senčenje zastekljenih površin, zahteve glede difuzije vodne pare in zahteve glede vgradnje termostatskih ventilov [7].

V istem letu je Evropska komisija, zato da bi izkoristili velik energijsko varčevalni potencial na področju stavb, sprejela Direktivo EU o energetske učinkovitosti stavb (2002/91/ES) (direktiva EPBD), ki je od posameznih držav članic zahtevala:

- Opredelitev nacionalne metodologije za izračun energijske bilance stavbe in minimalnih standardov energetske učinkovitosti stavb pri novogradnjah in večjih prenovah stavb.
- Vzpostavitev sistema obveznih študij izvedljivosti za alternativne energetske sisteme v fazi projektiranja stavb.
- Uvedbo energetske izkaznice za stavbe, ki vstopajo v promet z nepremičninami (energetsko certificiranje stavb).
- Redne preglede kotlov in klimatskih sistemov [8].
- Omejevanje rabe energije na nivoju letne potrebne energije za delovanje stavbe, torej energije za ogrevanje, hlajenje, toplo vodo, razsvetljavo, klimatizacijo [6].

Direktiva EPBD je bila podlaga za slovenski Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2008, kasneje posodobljen s PURES 2010) in pravilnike, ki urejajo metodologijo izdajanja energetske izkaznice stavbe, redne preglede klimatskih sistemov in preglede kotlov ter licence neodvisnih strokovnjakov, ki naj te naloge izvajajo [8].

Slovenija je v letu 2008 s sprejemom Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (v nadaljevanju PURES 2008) formalno izpolnila obveznosti iz direktive EPBD. Pravilnik je predpisal ambiciozne zahteve glede energetske učinkovitosti stavb in izrabe obnovljivih virov energije, ki se odražajo v zahtevah po boljši toplotni zaščiti ovoja stavbe, vgradnji učinkovitejših naprav in sistemov ter obvezni uporabi obnovljivih virov [5].

Sprejem Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah je ena od nalog države v okviru prenosa Direktive o energetske učinkovitosti stavb - EPBD (2002/91/EC) - in vsebinsko pokriva naslednje obveznosti iz direktive:

- oblikovanje računske metodologije za določanje energijske lastnosti stavbe,
- postavitev minimalnih zahtev za novogradnje in
- minimalnih zahtev za učinkovito rabo energije pri večjih prenovah stavb [9].

V letu 2010 je bila sprejeta prenovljena direktiva EPBD (2010/31/EU), ki upošteva cilje "20-20-20 do 2020" evropske podnebno-energetske politike, ki tudi pri stavbah zahteva znaten prispevek k 20-odstotnemu zmanjšanju emisij CO₂, k 20-odstotnemu povečanju energijske učinkovitosti (URE) in k 20-odstotnemu deležu obnovljivih virov energije (OVE) v primarni energijski bilanci. Bistvo prenovljene direktive EPBD je želja po povečanju učinkov prvotne direktive iz leta 2002; zmanjšati rabo energije, zmanjšati izpuste CO₂, povečati energijsko učinkovitost in povečati rabo obnovljivih virov.

Prenovljena direktiva EPBD iz leta 2010 določa zahteve v zvezi s:

- splošnim okvirom metodologije za izračun celovite energijske učinkovitosti stavb in stavbnih enot;
- uporabo minimalnih zahtev glede energetske učinkovitosti novih stavb in novih stavbnih enot;
- uporabo minimalnih zahtev glede energetske učinkovitosti:
 - stavb, stavbnih delov ali elementov stavb, kjer potekajo velika prenovitvena dela,
 - elementov stavb, ki so del ovoja in imajo znaten vpliv na energetske učinkovitost, kadar se obnovijo, nadomestijo z boljšimi ali zamenjajo,
 - tehničnih sistemov v stavbi ob njihovi vgradnji, zamenjavi ali nadgradnji;
- oblikovanje nacionalnih načrtov za povečanje števila skoraj nič energijskih stavb;
- energetskim certificiranjem stavb ali stavbnih enot;
- rednimi pregledi ogrevalnih sistemov in klimatskih sistemov v stavbah;
- neodvisnimi sistemi nadzora nad energetskimi izkaznicami in poročili o rednih pregledih ogrevalnih in klimatizacijskih sistemov [8].

Prenovljena direktiva uvaja termin skoraj nič energijskih stavb. Poseben poudarek je na spodbujanju gradnje le-teh, še posebej v javnem sektorju. Merilo za energijsko učinkovitost stavbe po novem predstavlja izključno celotna raba energije, in sicer na ravni primarne energije in s tem povezane emisije CO₂. Pri postavitvi minimalnih zahtev za nove stavbe in pri priporočenih ukrepih za prenovo starejših stavb je treba upoštevati stroškovno učinkovitost ukrepa v celem življenjskem krogu (*Life Cycle Costing* - LCC) in poiskati dolgoročno optimalne rešitve [9].

Bistvo prenovljene direktive je, da želi poleg nič energijskih novogradenj tudi povečati obseg energijske prenove starejših stavb [10].

Direktiva o energetske učinkovitosti stavb EPBD 2002/91/EC in predvsem prenovljena direktiva EPBD 2010/31/EU, ki še bistveno zaostre nekatere zahteve, omejujeta rabo energije v stavbah.

Obe direktivi predvidevata omejevanje rabe na ravni celotne stavbe, ki poleg ovoja stavbe vključuje tudi posamezne tehnične sisteme v stavbah kot je prezračevanje, ogrevanje, klimatizacija, hlajenje, priprava tople vode in razsvetljava [11].

Zaradi predvidenega sprejema prenovljene Direktive o energetske učinkovitosti stavb se je začel pripravljati novi oziroma prenovljen Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (v nadaljevanju PURES 2010), ki je moral slediti prenovljeni direktivi EPBD. Tedanji PURES 2008 je tako bil potreben prenove [9].

Ključnega pomena ob pripravi prenovljenega pravilnika PURES 2010 so usmeritve EU in Slovenije na podnebno energetske področju. Direktiva EPBD oziroma njena prenovljena verzija predstavlja konkretizacijo teh zahtev na področju graditve novih stavb in večje prenove obstoječih stavb (rekonstrukcije, investicijsko vzdrževanje).

Pravilnik o učinkoviti rabi energije iz leta 2010, PURES 2010, ki temelji na zahtevah direktive, skupaj s pripadajočo Tehnično smernico za graditev (TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije), povzema in prenaša zahteve evropske direktive o učinkoviti rabi energije v stavbah v slovensko zakonodajo. Cilji so zmanjšanje rabe energije, bolj učinkovita raba in bistveno povečanje rabe energije iz obnovljivih virov v stavbah.

Pri tem so nujne zahteve:

- Enotna metodologija računanja celovitih energijskih lastnosti stavbe in minimalnih zahtev o toplotnih lastnostih novih stavb,
- izkazovanje energijskih lastnosti stavbe z energetske izkaznico stavbe,
- redni pregledi ogrevalnih in klimatskih sistemov [11].

Bolj ali manj neposredno na učinkovito rabo energije (URE) in večji delež obnovljivih virov (OVE) v stavbah vplivajo tudi druge direktive, kot na primer Direktiva o gradbenih proizvodih (89/106/EEC) - CPD (s šesto bistveno zahtevo o učinkoviti rabi energije in zadrževanju toplote) [9].

Evropska direktiva EPBD se je v slovenski pravni red prenesla z vrsto zakonov in pravilnikov:

a) Zakon o graditvi objektov (ZGO-1)

Opreljuje metodologijo računa in minimalne zahteve za novogradnje in večje prenove.

- Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES 2008 in PURES 2010,
- Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah PTZURES 2002 in
- Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb.

b) Energetske zakon (EZ)

Predpisuje energetske izkaznice, študije izvedljivosti za alternativne energetske sisteme in redne preglede klimatizacijskih sistemov.

- Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetske izkaznic stavb,
- Pravilnik o metodologiji izdelave in vsebini študije izvedljivosti alternativnih sistemov za oskrbo stavb z energijo.

c) Zakon o varstvu okolja (ZVO)

Predpisuje redni pregled kotlov [12].

2.1 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010) in pripadajoča Tehnična smernica za graditev TSG-1-004: 2010 Učinkovita raba energije

Na podlagi drugega odstavka 10. člena Zakona o graditvi objektov ZGO-1 (UL RS, št. 102/04) je izdan PRAVILNIK o učinkoviti rabi energije v stavbah (Uradni list RS, št 52/10), ki predstavlja podzakonski gradbeni predpis ZGO-1 (glej [13]).

Pravilnik je stopil v veljavo v letu 2010. S tem je prenehal veljati stari Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah iz leta 2002 [14].

K Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah obvezujoče pridata še:

- Tehnična smernica za graditev TSG-1-004: 2010 Učinkovita rabe energije
- Pregledovalnik podnebnih podlag (podnebni podatki Geodetske uprave) iz spletnega naslova http://www.geodetska-uprava.si/DHTML_HMZ/wm_ppp.htm, ki se mora uporabiti pri izračunu toplotnih karakteristik.

Pravilnik določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ali njihove kombinacije, priprave tople vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije za delovanje sistemov v stavbi ter metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavbe v skladu z Direktivo 31/2010/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (UL L št. 153 z dne 18. 6. 2010, str. 13) [15].

Tekst pravilnika je ločen od tehničnih določil, ki so zajeta v tehnični smernici [16], v primerjavi s PURES 2008, kjer so tehnična določila objavljena znotraj vsebine pravilnika.

Pravilnik v 5. členu pod naslovom Tehnična smernica navaja obvezno uporabo Tehnične smernice za graditev TSG- 1 -004 Učinkovita raba energije (v nadaljnjem besedilu: tehnična smernica). Slednja določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za doseg zahtev iz tega pravilnika in določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe [15].

Novi pravilnik pomeni velik preobrat na področju toplotne zaščite stavb, ogrevanja, prezračevanja, hlajenja, klimatizacije, priprave tople vode in razsvetljave v stavbah, ki jih ta obravnava usklajeno z Direktivo EU.

Kar je prinesel dejansko svežega so nove določbe za strokovnjake. Projektantom določa način izračuna energetskih karakteristik in učinkovitosti novih in obstoječih stavb. Pravilnik določa nekoliko spremenjeno in dodatno metodologijo izračuna mejnih transmisijskih, ventilacijskih in skupnih energijskih izgub za ogrevanje ter hlajenje. Po novem pravilniku je zahtevana uporaba najmanj 25% moči enega ali več obnovljivih virov energije, pridobljenih iz sončnega obsevanja, biomase, vetra, geotermalne energije [14].

Zahteve novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah:

- največje toplotne prehodnosti konstrukcij,
- povprečna toplotna prehodnost,
- toplotne izgube in moč naprav za gretje in prezračevanje stavbe,

- toplotne obremenitve in moč naprav za hlajenje stavbe,
- letna dovoljena energija za gretje in hlajenje stavbe,
- zahteve glede uporabe obnovljivih virov energije,
- zahteve za vgradnjo stavbnega pohištva,
- zahteve za zračno prepustnost ovoja,
- zaščita proti sončnemu obsevanju,
- zahteve za grelne in hladilne naprave,
- zahteve za naprave za pripravo tople pitne vode,
- zahteve za prezračevalne in klimatizacijske naprave,
- zahteve za razsvetljavo [6].

V Pravilniku so zahtevani še drugi pomembni kriteriji, kot npr. predpisan izkaz o toplotnih karakteristikah stavbe z izjavo [14].

Področje, ki se ga dotikamo v nalogi, je t.i. toplotna zaščita stavb, in sicer z namenom izpolnitve ene izmed tehničnih zahtev iz PURES 2010 za doseg učinkovite rabe energije, največje toplotne prehodnosti konstrukcije.

2.1.1 Toplotna zaščita - toplotna prehodnost konstrukcij

PURES 2010 v 7. členu določa mejne vrednosti učinkovite rabe energije. Da je dosežena energetska učinkovitost stavbe, morajo biti izpolnjeni navedeni pogoji iz tega člena. Eden izmed teh pogojev je tudi mejna vrednost toplotne prehodnosti skozi ovoj stavbe, ki ne sme biti presežena. Njene mejne vrednosti so določene v tabeli 1 točke 3.1.1 tehnične smernice [15].

Tehnična smernica [16] v poglavju »Toplotna zaščita«, podpoglavju »Toplotna prehodnost«, navaja, da toplotna prehodnost elementov zunanje površine stavbe in ločilnih elementov delov stavbe z različnimi režimi notranjega toplotnega ugodja, ki se določi po standardih SIST EN ISO 6946 in SIST EN ISO 10211, ne sme presegati vrednosti, navedenih v tabeli 1. Vrednosti za največjo dovoljeno toplotno prehodnost U_{max} [W/(m²·K)] iz tabele so dane za gradbene elemente stavb, ki omejujejo ogrevane prostore.

Poglavje »Toplotna zaščita« tehnične smernice vsebuje tudi za nas pomembno podpoglavje »Prehod vodne pare«, kjer določa zahteve za gradbene konstrukcije v primeru prehoda vodne pare vanjo. Slednje obravnavamo v drugem delu naloge.

Obravnavano zakonodajo shematično prikazujemo v **Prilogi A**.

Računska metoda, ki nam je v pomoč pri izračunu prehoda toplote (U) ravnih streh, podrobneje obravnava standard ISO 6946:2007. Ta je podrobneje opisan v sledečem poglavju.

3 PREHOD TOPLOTE IN PROUČEVANJE POJMOV IZ STANDARDA ISO 6946: 2007

V stavbah želimo porabiti čim manj energije, da bi zagotovili primerne bivalne in delovne pogoje. Za ta namen moramo celoten ovoj stavbe dobro toplotno zaščititi s primerno debelino toplotnoizolacijskega materiala. S tem bistveno zmanjšamo pretok in izgube toplote [17].

Toplota je oblika energije, katera zaradi razlike v temperaturi prehaja iz enega telesa na drugo. O njej govorimo, kadar imamo opravka s spreminjanem notranje energije telesa. Ker je merilo za notranjo energijo temperatura, se z dovajanjem toplote (segrevanjem telesa) notranja energija in s tem temperatura povečuje, z odvajanjem toplote (ohlajanjem telesa) pa zmanjšuje. Če snov sprejme toploto, se poveča njena notranja energija, če snov odda toploto, se njena notranja energija zmanjša. Torej je toplota del notranje energije, ki se pretaka z mesta z višjo temperaturo na mesto z nižjo temperaturo. Z medsebojnimi trki molekul toplejši del oddaja, hladnejši del za sprejema notranjo energijo. Skladno s prvim zakonom termodinamike je sprememba notranje energije toplotno izoliranega telesa enaka vsoti prejetega ali oddanega dela in toplote [17].

Toplotna prevodnost je podatek, ki pove, kako dobro neka snov prevaja toploto. Toplotni tok P , ki teče skozi snov je sorazmeren s toplotno prevodnostjo. Izračunamo ga s pomočjo enačbe:

$$P = S \cdot \lambda \cdot \frac{\Delta T}{d}, \quad (1)$$

kjer S predstavlja površino telesa, ki oddaja ali prejema toplotni tok, d je debelina materiala s toplotno prevodnostjo λ (W/m·K). Debelejši ko je material, manjši toplotni tok teče skozenj. Seveda je toplotni tok odvisen tudi od temperaturne razlike. Večja ko je temperaturna razlika ΔT , večji je toplotni tok [18].

Toplotni tok (oznaka P) je fizikalna količina, ki pove, koliko toplote v časovni enoti preteče med dvema telesoma v toplotnem stiku:

$$P = \frac{dQ}{dt}. \quad (2)$$

Skladno z 2. zakonom termodinamike teče toplotni tok spontano vedno le v smeri od telesa z višjo temperaturo k telesu z nižjo. Mednarodni sistem enot določa za merjenje toplotnega toka enoto watt (W) [19].

Vrnimo se k pojmu toplotne prevodnosti.

Toplotna prevodnost z oznako ' λ ' v Evropi in ' k ' v Ameriki z izpeljano enoto W/(m·K) je snovna lastnost materiala, določena pri srednji delovni temperaturi (običajno 20°C) in vlažnosti (na 50-odstotni zračni vlagi) materiala. Ta pove, kolikšen toplotni tok P preteče pri stacionarnih pogojih v 1 uri skozi material z debelino 1 m in površino 1 m² pri temperaturni razliki 1 stopinje Kelvina (K) v smeri pravokotno na mejno ploskev. Toplotna prevodnost za trdnine se v splošnem zelo malo spreminja, za pline in tekočine pa je zelo odvisna od temperature. Toplotna prevodnost je prav tako odvisna od stopnje vlage v materialu.

Zelo pomembno je, da pri tem ločimo volumsko od težnostne stopnje vlage, kajti v primeru izolacijskih materialov, ki so lahki na enoto prostornine, visok odstotek težnostne vlage še ne pomeni veliko zmanjšanje izolativnosti, medtem ko že majhen odstotek volumske vlage zelo poslabša toplotno izolativnost.

Materiali s čim manjšo vrednostjo toplotne prevodnosti ' λ ' izkazujejo boljšo izolativnost, saj se v tem primeru prevaja manj wattov na dolžinski meter pri enotni razliki stopinje Kelvina. Toplotne prevodnosti izolacijskih materialov so v praksi večje kot pri mirujočem zraku, saj k povečanju prevodnosti doprinesejo tudi prevodnost toplote po vlaknih ali stenah celic izolacijskih materialov in predvsem prevodnost zaradi lokalnega sevanja znotraj samega materiala (topla površina v delcu materiala se ohlaja proti hladni). Nadaljnja izboljšanja toplotnoizolacijskih lastnosti materialov temeljijo ravno na tem mehanizmu [17].

Toplotna prevodnost je v splošnem odvisna od gostote materiala (ni v direktnem obratnem sorazmerju!), od oblike in velikosti celic ali vlaken ter stopnje naravne vlažnosti (pri idealnih laboratorijskih pogojih je izolativnost lahko bistveno boljša!). Izolativnost izotropnih materialov je enaka ne glede na smer toplotnega toka, medtem ko predvsem vlaknasti materiali izkazujejo za približno četrtno slabše izolativne lastnosti v smeri vlaken, kakor pravokotno na vlakna, kar je vzrok, da so tako imenovane »lamele« slabše izolativne od običajnih plošč [17].

Faktor toplotne prevodnosti (λ -vrednost) je podlaga za izračun U -vrednosti gradbenih elementov [20].

TOPLOTNI UPOR

TOPLOTNI UPOR HOMOGENEGA SLOJA

Kot navaja standard ISO 6946 [21] so projektne toplotne vrednosti lahko dane bodisi kot projektna toplotna prevodnost bodisi kot projektna toplotna upornost.

Kadar nas zanima toplotni tok skozi več materialov, ki so med seboj v toplotnem stiku, raje uporabimo pojem toplotne upornosti. Ta podatek nam pove, kako slabo nek material prevaja toploto [18].

Toplotni upor (oznaka ' R ' in enota $((m^2 \cdot K)/W)$) ustreza padcu temperature med dvema obravnavanima mejnima ploskvama, ko skozi njih teče toplotni tok ali drugače povedano: R pove, koliko K kelvinov temperaturne razlike mora biti med obema stranema zidu, da skozenj steče $1W$ toplotnega toka P . Izolativnost je tem boljša, čim večji je toplotni upor. Upoštevamo tako vrednost toplotnega upora posameznih plasti materiala kot tudi sevanje toplote znotraj materiala, morebitno sevanje med plastmi konstrukcijskega sklopa in upor toplotne prestopnosti (konvekcije) na zunanji in notranji strani.

Če je dana toplotna prevodnost, dobimo toplotno upornost sloja s pomočjo enačbe:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (W/(m^2 \cdot K)) \quad (3)$$

d ... debelina posamezne plasti materiala v določenem konstrukcijskem sklopu (m),

λ ... toplotna prevodnost materiala $(W/(m \cdot K))$ [17].

Standard definira λ kot projektno toplotno prevodnost materiala, računano v skladu z ISO 10456 ali pridobljeno iz tabelaričnih vrednosti.

Vrednosti toplotnega upora, uporabljene v vmesnih izračunih, morajo biti računane vsaj na 3 decimalna mesta, kot to zahteva ISO 6946.

POVRŠINSKA UPORNOST – UPOR TOPLLOTNE PRESTOPNOSTI MEJNE PLASTI

Vrednosti za površinski upor ravnih površin, kot je stik konstrukcijskega sklopa z notranjimi in zunanji zračnimi plastmi, so podane v standardu ISO 6946 [21]. Toplotni upor mejne zračne plasti za 1m^2 konstrukcijskega sklopa je definiran z:

$$R = \frac{1}{\alpha} \quad (4)$$

α ... toplotna prestopnost mejne plasti ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$) – prestopni koeficient toplote [22].

Zunanjjo površinsko upornost $R_{s,e}$ - upor zunanjega zraka in notranjo površinsko upornost $R_{s,i}$ – upor notranjega zraka upoštevamo glede na smer toplotnega toka.

Uporabimo vrednosti za ravne površine, dane v Tabeli 1 standarda ISO 6949. Vrednosti pod področjem, ki veljajo za horizontalni potek smeri toplotnega toka, kot je v primeru ravnih streh, se uporabljajo za smeri toka $\pm 30^\circ$ glede na horizontalno ravnino. Vrednosti v tabeli predstavljajo računске/projektne vrednosti.

Preglednica 1: Površinski upor ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) – ravne strehe (vir: [21])

	Smer toplotnega toka
	Horizontalno
$R_{s,i}$	0,13
$R_{s,e}$	0,04

Površinske upornosti se uporabljajo za površine, ki so v kontaktu z zrakom. Površinska upornost se ne uporablja, če je v stiku z drugim materialom [21].

CELOTNI TOPLLOTNI UPOR

CELOTNI TOPLLOTNI UPOR KONSTRUKCIJSKEGA SKLOPA, SESTAVLJENEGA IZ HOMOGENIH SLOJEV

Kadar imamo več materialov skupaj, izračunamo posamezne upornosti in jih seštejemo [18].

Celotni toplotni upor (R_t , tudi R_7) ravninskega gradbenega elementa, sestavljenega iz toplotno homogenih slojev, ki so pravokotni glede na toplotni tok, se računa po naslednjem izrazu:

$$R_t = R_{s,i} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{s,e} \quad ((\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}) \quad (5)$$

$R_{s,i}$, $R_{s,e}$... notranji oziroma zunanji upor toplotne prestopnosti ($(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$),
 R_1 , R_2 , ..., R_n ... toplotni upori posameznih slojev ($(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$) [17].

Celotna toplotna upornost konstrukcijskega sklopa predstavlja torej zaporedno vezavo plasti d_i s toplotno prevodnostjo λ_i [22].

$$R_t = \sum \left(\frac{d_i}{\lambda_i} \right) \quad (6)$$

Če je celotni toplotni upor predstavljen kot končni rezultat, mora biti zaokrožen na dve decimalni mesti [21].

Toplotni tok sedaj računamo kot:

$$P = S \cdot \frac{\Delta T}{R} \quad (7)$$

Večja ko je toplotna upornost dela ovoja objekta, manjši toplotni tok teče skozenj.

TOPLOTNA PREHODNOST

Za razliko od toplotne prevodnosti (' λ '), ki je lastnost posameznega materiala, je toplotna prehodnost lastnost celotnega konstrukcijskega sklopa, sestavljenega lahko tudi iz več različnih materialov, vključno s toplotno prestopnostjo zaradi vpliva konvekcije in radiacije.

Toplotna prehodnost (oznaka ' U ' in enota $W/(m^2 \cdot K)$) je celotna toplotna prehodnost, ki upošteva prehod toplote skozi element ovoja stavbe in vključuje prevajanje (kondukcija), prestop (konvekcija) in sevanje (radiacija). Označuje toplotni tok skozi konstrukcijo, pravokotno na ploskev, ki pri doseženem stacionarnem stanju prehaja skozi ploščinsko enoto, če je temperaturna razlika zraka na obeh straneh konstrukcije enaka enoti temperature, to je ena stopinja Kelvina. Z drugimi besedami: toplotna prehodnost konstrukcijskega sklopa pove, kolikšen toplotni tok preteče pri stacionarnih pogojih v 1 uri skozi 1 m^2 površine, če je temperaturna razlika zraka na obeh straneh sklopa 1 K .

Toplotna prehodnost je dana z:

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (W/(m^2 \cdot K)) \quad (8)$$

R_t ...skupni toplotni upor konstrukcijskega sklopa ($(m^2 \cdot K)/W$) [17].

Popravki za toplotno prehodnost se uporabljajo v skladu s Prilogo D standarda ISO 6946. Če je celoten popravek k U manjši od 3% vrednosti U , popravek ni potrebno upoštevati.

Če je toplotna prehodnost predstavljena kot končen rezultat, naj bo zaokrožena na dve številki. Ta se posreduje za vhodne podatke, ki se uporabljajo za izračune [21].

3.1 Toplotna prehodnost ravne strehe

Pri projektiranju in gradnji stavb moramo upoštevati določene standarde. Veljavni standardi, Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES 2010 in obvezujoče pripadajoča Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije (v nadaljevanju besedila: tehnična smernica), nas tako poleg zahtev glede največjih dovoljenih vrednosti toplotne prehodnosti (U) zunanjega ovoja tudi obvezujejo, da se zanje preveri še difuzija vodne pare v zimskih pogojih. Nepravilna sestava gradbene konstrukcije ima lahko za posledico kondenzacijo v posameznih plasteh, kar povzroči poslabšanje U vrednosti ali celo poškodbo strehe. Za strop v sestavu ravnih ali poševnih streh in strop proti neogrevanemu prostoru je določena največja dovoljena vrednost toplotne prehodnosti z $U_{max} = 0,20 \text{ W/m}^2 \cdot K$. To je najnižja toplotna prehodnost od vseh gradbenih sklopov na objektu [2]. Toplotna prehodnost ne sme prekoračiti predpisane vrednosti. Za nizkoenergijske in pasivne hiše (NEH in PH) je ta kriterij še strožji.

Če upoštevamo za kriterij toplotne prehodnosti še vse toplotne mostove, ki nastajajo okoli oken, vogalov, itd, se toplotne prehodnosti streh bistveno povečajo [23]. V nalogi zanemarimo vplive pojava toplotnih mostov.

Po starem Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah iz leta 2002 je bila zahtevana največja dovoljena toplotna prehodnost ravne strehe $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, po novem pravilniku se ta vrednost zmanjša na $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, kar predstavlja kar 20% nižje vrednosti.

Zavedati se moramo tudi, da je bistveno merilo za stavbe letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH} in koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub H'_T (ali drugače rečeno povprečna toplotna prehodnost), in pa za stanovanjske stavbe še dodatno celotna letna dovedena energija Q_f . To pomeni, da pogostokrat ni dovolj, če projektiramo in gradimo stavbe s konstrukcijami, ki izpolnjujejo zahteve po največji dovoljeni toplotni prehodnosti, temveč je treba toplotno zaščito še povečati [24].

V primeru obrnjene in kombinirane strehe moramo upoštevati tudi povečanje toplotne zaščite na račun dodatnega upada toplote v sistemu. Ta nastopi zaradi same sestave konstrukcijskega sklopa, kjer je toplotna izolacija s postavitvijo nad hidroizolacijo izpostavljena atmosferskim vplivom. Meteorna voda, ki ponika skozi stike toplotne izolacije pod le-to, ohlaja nivo na mestu prej zadržane vode in spodnje konstrukcije. Upad energije se upošteva v obliki dodatka k U -vrednosti (ΔU) – za obrnjene strehe, kot ga opisuje obravnavani standard v prilogi D. V nadaljevanju naloge vpliv dodatka (popravka) opisujemo podrobneje.

4 PREDSTAVITEV OBJEKTA

Iz projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja, ki nam ga je posredoval arhitekturno projektantski studio ARI d.o.o., smo pridobili podatke o etažnosti objekta, razporeditvi prostorov v etažah, sestavi konstrukcijskih sklopov oziroma gradbenih elementov, dimenzijah objekta ter njegovi lokaciji. Bistven podatek predstavlja sestava konstrukcijskega sklopa ravne strehe, katerega smo nato s pomočjo računalniškega progama TEDI in podatkov podjetja FRAGMAT TIM d.d. še dopolnili in preoblikovali za potrebe naše naloge. Ob tem smo upoštevali zahteve Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah 2010 in pripadajoče tehnične smernice TSG-1-004 ter standard ISO 6946.

4.1 Predstavitev in analiza obstoječega objekta

Obravnavani objekt je stanovanjska stavba, v fazi gradnje. Objekt je prostostoječ, ni prislonjen na že obstoječo stavbo ali v strnjen niz objektov. Lociran je v Sloveniji, natančneje v kraju Podbrezje, občine Naklo.

Objekt ima tri etaže in sicer klet, pritličje ter 1. nadstropje.

Zasnovana je kompaktna in enostavna - kvadratna - oblika objekta. Na ta način se doseže, da se skozi objekt izgubi čim manj toplote. To se doseže, ko je le-ta čim manj razgiban. Razmerje med površino ovoja glede na volumen objekta je tako čim manjše, kar nam pove faktor oblike, definiran v PURES 2010. Tip gradnje je masivna gradnja, ki jo opredeljuje eksoskeletna nosilna konstrukcija, in sicer v vertikalni smeri nadstropij je to modularni opečnati blok debeline 29 cm, v kleti betonski blok debeline 29 cm, v horizontalni smeri pa armiranobetonska (v nadaljevanju AB) plošča, katere debelina se spreminja glede na etažo.

Streha je primer klasične tople ravne strehe z minimalnim naklonom 2%, ki ga tvori nosilna betonska konstrukcija. Zaščitno kritje strehe je nasutje iz proda.

Za potrebe nadaljnje študije obravnavan primer strehe preoblikujemo v sestavo obrnjene in kombinirane ravne strehe. V študiji računamo na 1m² površine strehe.

Strešina je izvedena nad tlorisom pravilnih oblik – pravokotne oblike, kapi (atika) so v istih višinah. Nagib strešine je enostranski – odvodnjavanje poteka po obrobju strehe. Pod streho se nahajajo ogrevani prostori.

Objekt je zaščiten s toplotno izolacijo po celotni površini ovoja gradbene konstrukcije.

Krajši izračun pokaže, da celotna površina zunanjega toplotnega ovoja stavbe, vključno s površinami odprtin, znaša 585 m², ogrevana prostornina stavbe pa 757 m³.

Skupna neto tlorisna površina prostorov meri 206,7 m², od tega je 127,8 m² uporabne neto tlorisne površine.

Predpostavljena življenjska doba strehe je 60 let, s tremi obnovitvami v času njene življenjske dobe, kar pomeni, da bodo te izvedene na vsakih 15 let.

5 KONSTRUKCIJSKI SKLOP RAVNE STREHE

5.1 Razvoj ravnih streh

Ravne strehe so bile že dobro uveljavljene v mnogih kulturah in v mnogih klimatskih pogojih predno so se začele širiti tudi preko Srednje Evrope in Severne Amerike. Dodatna uporabna površina na strehi in prednost protipožarne zaščite sta bila glavna razloga za njihovo novoodkrita priljubljenost. Ko so hidroizolacijski materiali dosegli določeno stopnjo razvoja in so bila zastavljena pravila prakse za oblikovanje in konstrukcijo ravnih streh, so se v šestdesetih letih 20. stoletja dosegle osnove za kvalitetne ravne strehe tudi za hladna in vlažna območja. Od časa do časa je bila ravna streha modna muha, za časa začetkov modernega gibanja. Danes ravna in poševna streha stojita ena ob drugi kot enakovredni zasnovi streh.

V začetku 20. stoletja, ko se je ravna streha začela postopoma širiti tudi na območju Srednje Evrope, so jo njeni najbolj predani zagovorniki, kot sta Adolf Loos in Le Corbusier, preoblikovali skoraj v mit. Ne samo zaradi tega, ker je omogočila obliko kubistične stavbe, tako iskane v teh časih zaradi estetskih razlogov, ampak prvotno zaradi njene uporabnosti.

Kadarkoli je tehnična izvedljivost ali kjerkoli je klimatska pogojenost dovoljevala, so ljudje uporabili ravno streho kot dobrodošlo razširitev njihovih dnevnik (življenjskih) prostorov, kot pomožno površino ali kot teraso, pa tudi za osvetljevanje in zračenje prostorov pod njo.

Tradicionalno se ravne strehe nahajajo večinoma na območjih z visokimi temperaturami in majhnimi količinami padavin (Jemen, Tibet, Kašmir (Pakistan), Novi Mexico (ZDA)) in so manj pogoste v klimatskih conah z vlažnimi, vročimi pogoji ali obilnim sneženjem. Velik razlog za to je dosegljivost gradbenih materialov (šibje, listje, drevesa, ...) na lokalnem območju ter lokalna intenzivnost atmosferskih vplivov. Ti narekujejo njeno obliko, sestavo, dimenzije in ji dajejo kulturno dimenzijo.

Medtem ko je bila ravna streha že od nekdaj v uporabi v mnogih državah Mediterana, Azije in Amerike, je ostala kot nepomembna oblika stavbe v Srednji in Severni Evropi tisoče let. Tako je bilo do časa renesanse, ko so geometrijsko enostavne oblike objektov in fasad začele zamenjevati gotsko arhitekturo koničastih obokov in stranskih opornikov; ljudje so začeli izražati željo po zgornjem horizontalnem zaključku strehe. V istem času so vodilni arhitekti, kot sta Leonardo da Vinci in Leon Battista Alberti, začeli eksperimentirati z izvedljivostjo ravnih streh. V času baroka so se začele pojavljati prve strehe s strešnimi vrtovi, in sicer severno od Alp.

Ključni preboj v izvedljivosti ravnih streh za namene praktične uporabe in izvedljivosti za splošno javnost so prodrle sto let kasneje z idejo po razvoju lesno-cementnih streh (s prodnatim nasutjem), razvito po Samuel Häusler-ju; na leseno podlago položeni sloji oljnatega papirja, lepljenega s katransko smolo (bitumna), naknadno kritega s peskom ali prodom. Ta tip strehe se je hitro uveljavil v drugi polovici 19. stoletja, prvotno za pomožne objekte v mestih, zaradi manjših požarnih tveganj v primerjavi z leseno konstrukcijo poševnih streh in tudi relativno dobrimi toplotnoizolacijskimi lastnostmi. Istočasno so v času romantike strešni vrtovi pridobili na pomembnosti. Drugi ključni dogodek v razvoju ravnih streh se dogodi z armiranim betonom.

V drugi polovici 19. stoletja so prevzele vodstvo v uporabi ravnih streh v veliki meri ZDA, predvsem Chicago. Na zgodnjih nebotičnikih z klasicističnimi fasadami je bil horizontalen zaključek streh ne samo estetsko zaželen, ampak je predstavljal tudi funkcionalen prostor. Konstrukcija ravnih streh je bila omogočena z razvojem bitumenskih materialov, ki so prevzeli vlogo hidroizolacijskega materiala. Ta je bil dosegljiv v ZDA od srede 19. stoletja.

Nekaj desetletij kasneje je Frank Lloyd Wright prenesel ideje čikaške šole iz pisarn in veleblagovnic mest na majhne objekte ameriških predmestij. Imel je odločilen vpliv na celotno generacijo arhitektov in skupino artistov v Evropi (kot so De Stijl, Walter Gropius, Mies van der Rohe) [25].

Ko so gradbene konstrukcije postajale vse večje, in ustrezne večje površine ni bilo mogoče učinkovito kriti s poševnimi strehami, se je razvila tehnologija ravnih streh. Vodo-odvajalnega naklona poševnih streh ni več in potreben je bil razvoj novega elementa – hidroizolacije [26].

V začetku modernega gibanja (obdobje po 1. svetovni vojni) je bil še vedno velik razkol med arhitekturnimi željami oblikovalcev na eni strani ter konstrukcijskimi in tehničnimi zmožnostmi na drugi. Veliko novih vodoodpornih materialov se je pojavilo na trgu, vendar zanesljivih izkušenj je tistega časa primanjkovalo. Tako je na začetku 1920-ih let lesno-cementna streha nadaljevala prevlado, čeprav je armiran beton postopoma prevzemal vlogo nosilne konstrukcije lesa. Lesno - cementnemu zaključku kot obliki hidroizolacije so se pridružili asfalt (bitumen) in klobučevina (filc). Z razvojem materialov za tesnjenje (asfalt, katranska smola, strešna lepenka) se je spreminjala tudi oblika strehe. Bitumenski materiali so v arhitekturo vnesli principe gradbenih tehnologij od drugod in omogočili razvoj ravnih streh, ki je prevzel funkcijo hidroizolacijskega sloja strehe [25]. Ti so se v začetku 20. stoletja nadgrajevali z mešanjem sintetičnih polimerov in bitumna [27]. Uporaba in razvoj hidroizolacijskih materialov se prilagaja razvoju tipa ravnih streh.

Predno so strehe bile toplotno izolirane, je bila hidroizolacija položena direktno na strešno ploščo. Hidroizolacija je bila izpostavljena ekstremnim temperaturnim nihanjem, tako poleti kot pozimi. Ker so cene goriva naraščale, je bilo velike objekte z ravnimi strehami potrebno izolirati. Edini dostopni toplotnoizolacijski materiali so bili produkti kot pluta in lesna vlakna, ki so bili občutljivi na vlago. Hidroizolacijo je bilo tako potrebno premakniti iz nosilne konstrukcije na vrh toplotne izolacije. Zaradi infiltriranja vodne pare v obliki vlage iz notranje strani sistema, so bile na nosilni sloj vgrajene parne zapore [28]. V začetku 20. stoletja se je pričelo vgrajevati toplotno izolacijo v minimalnih debelinah. Z večanjem stroškov goriva v 40. letih 20. stoletja se je podala nova zahteva za strehe – energetska učinkovitost. Potreba po preprečevanju izgub energije je narekovala dodajanje toplotne izolacije k sistemu streh. Ker toplotnoizolacijski materiali v teh časih še niso bili vodoodporni, je slednja morala biti nameščena pod hidroizolacijsko membrano, ki je predstavljala njeno zaščito. Ta sistem je postal znan kot konvencionalen izolacijski strešni sistem. S izbiro tega sistema je toplotna izolacija zaščiten pred zunanjim okoljem, vendar pa je hidroizolacijska membrana tu ločena od nosilne konstrukcije. Ker je ni moč ohranjati v zmernem temperaturnem območju stavbe, je ta predmet novih pogojev in nastalih napetosti. Pri tej sestavi pa predstavlja težavo tudi možna poškodba hidroizolacije; ta povzroči povečan vnos vlage v konstrukcijski sklop in izgube toplotne v njem. Boljšo rešitev temu predstavlja toplotna izolacija z zaprto celično strukturo, z visoko odpornostjo vlagi; to omogoča zamenjavo položaja hidroizolacije v strehi na notranjo stran konstrukcijskega sklopa, ki predstavlja razvoj sistema obrnjene ravne strehe [26].

Sistem obrnjene ravne strehe se je prvič uveljavil v ZDA v šestdesetih letih prejšnjega stoletja, ko so se na trgu pojavili novi materiali. Njeno oblikovanje je omogočil razvoj ekstrudiranega polistirena (XPS), ki omogoča vgradnjo toplotne izolacije nad sloj hidroizolacije in tako strehi podaljša življenjsko dobo. Ta sistem je v tujini poznan tudi kot IRMA (*Inverted Roofing Membrane Assembly*) ali PMR (*Protected Roofing Membrane*) sistem. Kot nadgradnja te, v obliki modificiranega tipa, se pojavi kasneje tudi tako imenovana kombinirana ravna streha [27].

Koncept obrnjene ravne strehe je razvilo ameriško podjetje (*The Dow Chemical Company*) v 50-ih letih prejšnjega stoletja, patentirano in prvič na trgu v poznih 60-ih kot IRMA sistem. Prvotni sistem je bil sestavljen iz treh plasti organske klobučevine (filc), položene na nosilno konstrukcijo, ki mu je sledil sloj glazure in nato tekoči sloj asfalta (bitumna). Po ohlavitvi se je na tekoči sloj bitumna vgradil sloj ekstrudiranega polistirena (*Styrofoam Roofmate®*), preko katerega se je položil sloj drobljenca. Zaščita membrane pred ultravijoličnimi žarki, termičnimi šoki in pohodnimi površinami nudi počasnejše staranje hidroizolacijskega sloja in dosega dolgotrajnešo življenjsko dobo strehe. V začetku IRMA sistema so bili v uporabi kot hidroizolacijski material le asfalt, katranska smola in gumirane asfaltne membrane. Ekstrudirani polistiren je predstavljal edino toplotno izolacijo, ki se lahko namesti nad hidroizolacijski sloj, izpostavljeno zunanjim vplivom, medtem pa ohranja prvotne fizikalne lastnosti, kot *R* vrednost, tlačno trdnost in odpornost vlagi. Te lastnosti so bile ključnega pomena za izvedljivost in delovanje sistema IRMA. Z večanjem popularnosti sistema in vedno več instaliranih streh, je bilo očitno, da ima ta strešni sistem veliko več prednosti kot konvencionalni strešni sistem. Poškodbe fizične narave so bile skoraj nemogoče. Sistem ni potreboval parne zapore, saj je hidroizolacija s svojo lego služila dvojni vlogi. Vodna para ni bila ujeta v sistemu. Iz vrha sistema je bil preprečen vstop tekočinske vlažnosti in tudi vdor pare iz spodnjega dela hidroizolacije (notranjih prostorov) ni predstavljal težav. Pristop k zaščiteni hidroizolaciji je rešil težavo nadzora točke rosenja. V večini primerov, kjer konvencionalni strešni sistem ni uspel, je parna zapora delovala kot hidroizolacija in toplotna izolacija je bila večinoma nasičena z vlago. Klobučevina (filc) in asfalt sta bila uporabljena še veliko let kot spodnja hidroizolacija. Nekaj težav se je pojavilo v primeru, ko ekstrudirani polistiren ni bil ustrezno vgrajen. To se je ponavadi pojavljalo, ko je bil XPS nameščen na prevroč ali premrzel bitumen in s tem je bil oprijem pene ogrožen. Z naraščajočo priljubljenostjo enoslojnih membran je bilo potrebno razviti nadomestni način zagotavljanja zaščite toplotne izolacije. To se je doseglo z namestitvijo tkanine iz geotekstila preko XPS plošč, ki je povezal sistem in obdržal skupaj posamične toplotnoizolacijske plošče v primeru plavanja plošč ali lahkega nasutja ter ščitil pred možnostjo prodiranja majhnih delcev nasutja v sistem. Preprosta sprememba je izboljšala učinkovitost sistema zaščite hidroizolacije in omogočila XPS ploščam ponovno uporabo v primeru, ko je bila potrebna zamenjava hidroizolacijskega sloja. Ker je bil toplotnoizolacijski sloj svoboden, ni povzročalo nobenih napetosti na hidroizolacijo in je še naprej opravljala vlogo izolacije in zaščite. To je predstavljalo naslednjo generacijo PMR sistema, sistema zaščitenih enoslojnih hidroizolacij strehe, znanega kot ne-lepljen sistem. Ta sistem strehe se je v 90-ih letih 20. stoletja pokazal kot idealna rešitev za veliko problemov na strehi. Ti sistemi so lahko kriti z nasutjem, mehansko pritrjeni ali lepljeni. Namestitev hidroizolacije na nosilno ploščo je bil sprejet pristop in membrane iz gumiranega asfalta, ki so bile uspešno uporabljene v tej vlogi za več kot 25 let [28].

5.2 Funkcije ravnih streh

Danes poznamo dve glavni izvedbi ravne strehe (z naklonom do 10 stopinj), in sicer tako imenovano toplo streho in obrnjeno streho. Obe rešitvi sta z vidika funkcionalnosti enakovredni.

Ravne strehe so se pogosto izvajale kot tako imenovane »tople strehe«, pri katerih kritino oziroma zaščito pred meteorno vodo sestavlja zgornji funkcionalni sloj strešne konstrukcije, to je hidroizolacija (v nadaljevanju HI). Taka HI je izpostavljena vremenskim in podnebnim spremembam, kar lahko povzroči poškodbe HI in s tem zamakanje strehe. Pojavljal se je tudi problem difuzije vodne pare in kondenzacije v toplotni izolaciji (v nadaljevanju TI), saj je HI hkrati tudi močna parna zapora. Teh težav naj ne bi bilo več, ko je bilo s pojavom ekstrudiranega polistirena (XPS) na tržišču TI za gradbeništvo omogočeno izvajanje obrnjenih ravnih streh [29].

Strehe imajo horizontalno pozicijo v ovoju stavbe in opravljajo nosilno ter zaščitno funkcijo. Obremenitev se po horizontalni nosilni konstrukciji prenaša na vertikalno nosilno konstrukcijo in od tam v temeljna tla. Razmejujejo zunanji in notranji prostor, kjer je zunanji prostor zrak. Prevezajo vplive podnebnih in vremenskih razmer ter prenašajo velike obremenitve. Pri strehah moramo biti pozorni, da preverimo lastnosti in zahteve obeh prostorov. Konstrukcijski sklop mora optimalno opraviti ločevalno funkcijo [30].

Sodobne ravne strehe morajo poleg zahtevane nosilnosti imeti predvsem dobro toplotno izolativnost za zimsko in poletno obdobje, nuditi zaščito pred meteorno vodo in kondenzacijo, končno pa morajo biti tudi požarno varne in zvočno izolativne pred zunanjim hrupom [31].

Predpis, ki navaja zahteve glede zaščite pred meteorno vodo oziroma vlago, je Pravilnik o zaščiti stavb pred vlago [32]. Ta med drugim podaja tehnične zahteve za ovoj stavbe, tudi za strehe. V 3. členu splošnih zahtev pravi, da mora biti ovoj stavbe, med katerega spada tudi streha, projektiran, izveden in vzdrževan oziroma grajen tako, da stavbo ščiti pred:

- prodorom vlage v notranjost stavbe in/ali
- navlaževanjem materialov ali gradbenih konstrukcij, ki bi jih vlaga lahko poškodovala, povzročila razvoj plesni in gliv ali poslabšala njihove lastnosti do te mere, da bi bila ogrožena zanesljivost stavbe.

V 4. členu pravilnik navaja, da streha oziroma deli stavbe, ki opravljajo vlogo strehe, morajo biti ob upoštevanju lokalnih podnebnih razmer (npr. količina in vrsta padavin, smer in jakost vetra) grajeni tako, da stavbo v skladu s prejšnjim členom ščitijo pred atmosferskimi padavinami in njihovimi posrednimi vplivi (npr. zameti) ter zagotavljajo odvajanje meteorne vode [32].

Ravne strehe so zelo izpostavljene atmosferskim vplivom in mehanskim obremenitvam, zato jih moramo načrtovati in narediti tehnično – strokovno in povsem neoporečno [31].

V primerjavi s položnimi in strmimi strehami imajo ravne strehe več prednosti. Ena izmed njih je, da jih lahko izkoristimo za terase, parkirišča in druge namene. Predvsem pa »zeleno« streho, ki se v svetu vse bolj uveljavlja in se dobro zлива z okoljem, težje izdelamo na poševnih strehah [31].

5.3 Oblike konstrukcij ravnih streh

Za konstrukcije in materiale se uporabljajo različne zahteve, v odvisnosti od položaja toplotne izolacije in hidroizolacije. Kategorizacija ravnih streh glede na položaj hidroizolacije v konstrukcijskem sklopu je sledeča:

- Topla ravna streha - hidroizolacija nad toplotno izolacijo
- Obrnjena ravna streha - hidroizolacija pod toplotno izolacijo
- Kombinirana ravna streha - hidroizolacija med plastema toplotnih izolacij

Ta delitev se posledično kaže v različnih zahtevah, katere morajo konstrukcija, toplotna izolacija in hidroizolacija izpolnjevati [33].

5.3.1 Hidroizolacija nad toplotno izolacijo: Topla streha

Najpogosteje uporabljena oblika ravne strehe je ta, kjer je hidroizolacija pozicionirana nad toplotno izolacijo. Gledano iz vrha proti dnu konstrukcijskega sklopa si sledijo plasti sledeče: hidroizolacija, toplotna izolacija, nosilna konstrukcija [33].

Kadar je hidroizolacija vgrajena nad toplotno izolacijo in nima posebno dobre zaščite, je le-ta podvržena vplivom, ki lahko poškodujejo celotno streho. Velika temperaturna nihanja, ultravijolično sevanje in mehanske poškodbe običajno povzročijo predčasno staranje hidroizolacije. Če postane hidroizolacija vodoprepustna, potem meteorna voda navlažuje toplotno izolacijo, nosilno konstrukcijo in prostore pod njo [31]. Navedenim obremenitvam hidroizolacije, ki je ena od pomembnih delov ravne strehe, se izognemo z izbiro obrnjene strehe ali z dodatno zaščitno plastjo nad HI, kot je nasutje iz prodca.

Posebnosti konstrukcije

Kadar je hidroizolacija položena nad toplotno izolacijo, ponavadi nima trdne podlage, dejansko je ta lahko celo položena na mehko toplotno izolacijo. Premikanja materiala hidroizolacije, povzročena, na primer zaradi temperaturnih napetosti, lahko vodijo k večjim mehanskim napetostim predvsem pri spojih in robovih. Izbran material za toplotno izolacijo bi zato moral imeti tlačno trdnost, ki prenese največje možne obremenitve. To velja tudi za primer kombinirane ravne strehe [33].

5.3.2 Hidroizolacija pod toplotno izolacijo: Obrnjena streha

Obrnjena streha je poimenovanje, dano za obrnjeno zaporedje hidroizolacije in toplotne izolacije, to je kadar hidroizolacija leži pod toplotno izolacijo. Takšna razporeditev plasti konstrukcijskega sklopa ščiti hidroizolacijo pred hudimi temperaturnimi nihanji in mehanskimi vplivi. Vendar pa je po drugi strani sedaj toplotna izolacija izpostavljena k večjim obremenitvam z vlago zaradi pronicanja padavin pod njo. Toplotnoizolacijski materiali, uporabljeni v obrnjeni strehi, morajo biti ne samo odporni proti difuziji vodne pare - difuzijska upornost, temveč tudi vodoodporni ter odporni proti zmrzali. Trenutno so v obrnjeni strehi dovoljene samo toge oziroma trdne plošče iz ekstrudiranega polistirena (XPS). V nasprotju z ostalimi primeri obravnavanih streh, obrnjena streha ne more biti grajena brez zaključnega zaščitnega sloja strehe, kajti toplotna izolacija mora biti zaščitena pred plavanjem, sesalnim učinkom vetra - srkom in ostalimi vplivi okolja.

Dejstvo, da je toplotna izolacija na zunanji strani obrnjene strehe pomeni, da ta tip strehe izkazuje določene posebnosti, ki jih je treba upoštevati. Ena najpomembnejših izmed njih je ta, da padavine lahko pronicajo pod toplotno izolacijo [33]. Delu pronicajoče količine padavin se izognemo s pravilno izvedbo odvodnjavanja, izvedeno nad slojem toplotne izolacije.

Odvodnjavanje na obrnjeni strehi ponavadi poteka na dveh ravneh. Večina padavin odteče v ali po strešnih zaključnih slojih nad toplotno izolacijo. Vendar pa nekatere padavine počasi pronicajo skozi stike plošč toplotne izolacije proti sloju hidroizolacije, od koder potem odtečejo vstran. Tukaj moramo opomniti na to, da hladne padavine ali taljena voda, stoječa na hidroizolaciji, vodijo do toplotnih izgub, ki jih moramo upoštevati pri izračunu toplotne učinkovitosti. Strešno odvodnjavanje mora biti zato oblikovano tako, da nakopičene vode okoli toplotne izolacije ne upoštevamo. Za kratek čas nakopičena voda med močnim deževjem je neškodljiva. Predpisan minimum padca strehe 2% mora biti vedno upoštevan [33].

Na obrnjeni strehi je nujno potrebno izvesti tudi nasutje. To naj bi bilo sestavljeno iz minimalno 50 mm debeline prodca v času uporabe. Takšna plast ščiti toplotno izolacijo proti srku vetra in proti plavanju v primeru pretiranega zbiranja količine padavin pod njo. Hkrati pa ščiti toplotno izolacijo proti direktnemu efektu UV sevanja, toči, iskrenju in prekomernim mehanskim vplivom. Obrnjene ravne strehe se lahko primerno oblikuje za posebne uporabe strehe kot so strešno vrtnarjenje, za peš oziroma vozni promet (vozne oziroma parkirne ploščadi) ali kot pristajalno stezo za helikopterje. Kot zaščitne plasti se lahko uporabijo prodec, kamen ali betonski tlaki, tlakovci, vegetacija in drugo. Pomembno je, da je zagotovljeno odvajanje vode.

Med plastmi nasutja in toplotne izolacije mora vedno biti nameščen ločilni sloj oziroma membrana za zaščito pred spiranjem drobnih delcev nasutja med stike plošč toplotne izolacije. Za zaključno plast pa ne sme biti uporabljena mešanica peska in prodca, kajti katerokoli ločevanje, ki se pojavi, privede do plasti z visokim deležem majhnih delčkov, ki vpijajo vodo in po možnosti povečujejo vsebnost vlage in težo konstrukcije. Poleg tega pa je tudi verjetnost, da drobni delčki najdejo pot med stiki plošč toplotne izolacije in preprečijo pravilno odvodnjavanje. Namesto tradicionalne ločilne membrane je lahko nameščen difuzijsko - propusten material, ki deluje kot plast za odvajanje vode, tako da večina padavin odteče še preden doseže plast toplotne izolacije. Učinek tega je zmanjšanje toplotnih izgub, povzročenih s pronicanjem vode pod toplotno izolacijo, do take mere, da jih ne rabimo več upoštevati pri računu U -vrednosti.

Nosilna konstrukcija

Navezujoče se na nemško Direktivo o ravnih strehah (*Flachdachrichtlinie*) bi naj obrnjene strehe bile grajene na termično počasno odzivni podporni konstrukciji. Slednje je namenjeno preprečevanju pojavljanja kondenzacije v primeru nenadne spremembe vremena (na primer nevihta), saj hladna voda, ki steče pod toplotno izolacijo, lahko povzroči precejšnje ohladitve notranje konstrukcije [33].

5.3.3 Hidroizolacija med slojema toplotne izolacije: Kombinirana streha

Ena izmed možnosti postavitve plasti v konstrukcijskem sklopu ravne strehe je položitev hidroizolacije med dve plasti toplotnih izolacij. To predstavlja kombinacijo ravne strehe s hidroizolacijo nad toplotno izolacijo, klasične tople strehe, in nanjo položene obrnjene strehe. Taka zasnova minimalizira toplotne izgube, ki nastanejo zaradi odtekanja padavin pod toplotno izolacijo. Izolacijski učinek spodnje plasti toplotne izolacije ohrani svojo polno učinkovitost četudi pride do velikih količin padavinske vode, ki začasno pronicajo pod plast zgoraj ležeče toplotne izolacije [33].

Posebnosti konstrukcije

Kjer je hidroizolacija pozicionirana med dve plasti toplotnih izolacij, se zahteve obrnjene strehe glede toplotne izolacije nad hidroizolacijo še vedno upoštevajo. Bistvenega pomena je

težki zaključni sloj strehe. Pogoji pod hidroizolacijo so isti kakor pogoji pri klasični (topli) ravni strehi s hidroizolacijo nad toplotno izolacijo. Kot pri obrnjeni strehi je hidroizolacija zaščitena pred velikimi temperaturnimi nihanji in mehanskimi vplivi. Vendar pa je v nasprotju z obrnjeno streho hidroizolacija postavljena na vrh spodnjega sloja toplotne izolacije, ne pa na trdno nosilno konstrukcijo. Toplotni premiki lahko zato vodijo do večjih mehanskih napetosti, posebno pri stikih in robovih [33].

5.4 Toplotnoizolacijski materiali

Ker se v nalogi osredotočamo na toplotnoizolacijske materiale ravnih streh in njihove debeline, namenimo del poglavja tudi opisu le-teh.

Sloj toplotne izolacije obrnjene in kombinirane ravne strehe je s tem, ko je položen nad plast hidroizolacije izpostavljen vremenskim vplivom, med katerimi so problematične vlaga, voda in zmrzal. Slabosti so v zmanjševanju toplotnoizolacijskih sposobnosti plošč in slojev, ki so tako izpostavljeni stalni prisotnosti vlage in vode (nekateri predpisi zato zahtevajo povečano debelino toplotne izolacije, kar prikažemo kasneje v nalogi na primeru sklopov obrnjene in kombinirane strehe s standardom ISO 6946). Hkrati pa moramo omeniti prednosti tako projektiranega sklopa, saj so plasti hidroizolacije dobro zaščitene pred vremenskimi vplivi - temperaturnimi spremembami in pred sončnim sevanjem [34].

Zahtevana debelina toplotnoizolacijskega materiala izvira iz gradbeno fizikalnih zahtev [35].

Pri izbiri materiala za toplotno izolacijo (v nadaljevanju TI) je razen ustrezne toplotne prevodnosti in debeline TI pomembno upoštevati še ostale gradbeno-fizikalne lastnosti, kot so požarna odpornost, gostota, zahteve glede toplotne stabilnosti, karakteristika toplotne zakasnitve, dušenje temperature, toplotna vpojnost materiala, zvočna izolacija, zaporna vrednost za vodno paro [36].

5.4.1 Priporočene debeline za sloje toplotnih izolacij

Čedalje bolj stroge zahteve v zvezi z toplotno učinkovitostjo pomenijo, da predpisane debeline plasti izolacij tudi precej naraščajo. Novi objekti ne samo, da morajo biti skladni s predpisi oziroma zakoni o varčevanju z energijo, veljavnim v času njihove gradnje, ampak tudi kjer je to mogoče bi naj upoštevali dejstvo, da bo zakonodaja z leti postajala še strožja. Takšen pristop je priporočljiv tudi za sanacijske projekte. V skladu s presojo, se obstoječa izolacija, če sploh je vgrajena, lahko obdrži in doda nova plast izolacije [37].

V skladu z določbami nemškega zakona o varčevanju z energijo (*Energieeinsparverordnung*, EnEV) so pogosto rezultirajoče debeline 20 cm ali danes že več. Za izbiro našemu namenu potrebne izolacije so pomembne lastnosti tako vnetljivost/gorljivost, vrsta uporabe/položaja izolacije in tlačna trdnost izolacijskega materiala kot tudi njegova toplotna prevodnost.

Samo v primeru prezračevane ravne strehe je lahko uporabljen katerikoli toplotnoizolacijski material. V ostalih primerih oziroma tipih ravnih streh morajo toplotnoizolacijski materiali izpolnjevati pogoje razredov tlačne trdnosti glede na vrste obtežb, ki nanje delujejo v odvisnosti od uporabnosti strehe [35].

Toplotnoizolacijski materiali so po strukturi lahko iz penaste plastične mase ali različne vrste vlaken. V nalogi se osredotočamo na materiale iz penaste plastične mase.

Ti materiali ponujajo možnost proizvodnje plošč z ravnimi ali medsebojno povezanimi robovi plošč. Plošče z ravnimi robovi morajo biti položene tako, da premiki nimajo učinka na celotno površino in posledično, da s tem ne privedejo do nastanka toplotnih mostov [35].

Polistiren je proizveden preko procesa polimerizacije monomera imenovanega stiren. Ločimo med ekspanziranim polistirenom (EPS) in ekstrudiranim polistirenom (XPS), odvisno od metode izdelave. Zaradi nizkega temperaturnega razpona v času uporabe (75-85 °C), toga polistirenska pena ne more biti vezana z vročim bitumnom [35].

Ekspanzirani polistiren (EPS)

Sinonim za ekspanzirani polistiren je stiropor. Ime »Styropor« je zaščitena blagovna znamka prvega proizvajalca ekspanziranega polistirena BASF, ki je proizvodnjo EPS-a patentiral leta 1950. EPS - ekspanzirani polistiren - je v bistvu surovina, ki se s pomočjo plina in vročega zraka močno poveča. Je lahek, vendar čvrst izolacijski material, izdelan iz drobnih kroglic polistirena, ki med postopkom izdelave zaradi vsebnosti penilnega plina pentana in segrevanja z vodno paro povečajo prostornino za 40-50 krat, zapolnijo kalup poljubne oblike in se zvarijo med seboj. Vsaka posamezna kroglica je sestavljena iz velikega števila zaprtih celic, v katerih je ujet zrak. EPS vsebuje 98 % zraka, ujetega v zaprto celično zgradbo, zato ima izredno nizko toplotno prevodnost, 0,034 – 0,041 W/m·K, s posebnimi dodatki tudi manj [38]. So tudi dober zvočni izolator.

Ostali koraki v procesu proizvodnje omogočajo različne lastnosti materiala, ki se spreminjajo glede na zahteve.

EPS izolacijske plošče so standardizirane v razrede, navezujoče na standard SIST EN 13163. Ustrezen razred mora biti vključen v CE označevanje. V glavnem so vodoodporne (v vodi se ne razkrajajo), je pa možno, da dosežejo pri dolgotrajnem vpijanju vode do več kot 5% volumskega deleža izolacije. Imajo sestavo, ki omogoča zelo dobro dihanje in prehajanje difuzijske pare (paropropustnost). EPS plošče so požarno varne, odporne na plesni, pojav gnilobe, alkalije in soli, ne pa na UV žarke ali topila. Produkti EPS plošč sprva izkazujejo krčenje zaradi vpliva sredstva za penjenje oz. pihanje, zato je ustrezen čas shranjevanja pred namestitvijo na objekt ključnega pomena [35].

Ekstrudirani polistiren (XPS)

V proizvodnji ekstrudirane polistirena je surov material, ki je v obliki granulato, upenjen v napravi za iztiskanje z dodajanjem sredstva za penjenje (ponavadi CO₂) pri temperaturi približno 200°C in potem formiran v neprekinjene trakove penaste mase. Dobljen penasti material je karakteriziran z njegovo zaprto celično strukturo, ki naredi XPS manj občutljivega na vlago in mu daje večjo tlačno trdnost v primerjavi z ekspanziranim polistirenom. SIST EN 13164 opisuje standardizirane razrede. XPS je zelo priljubljen pri obrnjenih ravnih strehah zaradi zaprte celične strukture, kar pomeni, da plošče ne vpijajo nobene količine vode. Dolgotrajno vpijanje vode lahko doseže samo okoli 0,3% volumna v celoti. Izolacijske plošče, narejene iz XPS, so odporne na bitumen, sol, razredčene kisline in alkalije ter kažejo dobro odpornost proti mikrobom. Kakorkoli, niso pa odporne na UV žarke, na karbonu temelječih snoveh, barvna razredčila ali druga topila [35].

5.4.2 Zaščita strehe – nasutje

Nad plastjo toplotnoizolacijske plošče iz XPS je nujna dodatna obtežba, ki je potrebna za preprečevanje vzgona in s tem plavanja izolacijskih plošč (v primeru obrnjene in kombinirane ravne strehe). Ponavadi je to kritje z nasutjem prodca [34]. Tudi na robovih in višinskih prehodih strehe mora biti ekstrudirani polistiren (XPS) zaščiten pred UV sevanjem in zavarovan pred direktnim udarom vetra [31]. Obtežena streha predstavlja sistem, pri katerem se sloji »pripnejo« na podlago z obtežitvijo. Pri tem je pomembno, da je lastna teža končnega sloja dimenzionirana tako, da lahko prevzame obremenitev vetra.

V primeru tople strehe, kjer je izpostavljen in obremenjen hidroizolacijski material, ki kot sam ni dovolj vzdržljiv, so prav tako potrebni dodatni materiali za zaščito hidroizolacijskega materiala pred mehanskimi vplivi in učinki vremena (npr. nihanje temperature in vlažnosti ter UV sevanje). Dodatna zaščitna plast nad hidroizolacijo podaljša življenjsko dobo materiala pod njo. Razlikujemo med lahki in težki zaščitni materiali. Lahki površinski materiali v obliki drobljencev oziroma zrncev peska se uporabljajo za bitumenske fleksibilne folije in v bistvu zagotavljajo zaščito pred UV žarki. Težka površinska zaščita je lahko v obliki pranege prodca, kamna, betonskih tlakovcev/plošč ali vegetacije. Taka težka zaščitna plast tudi hkrati deluje kot ravnotežje proti dvigu vetra, čeprav je v tem primeru potrebno ustrezno konstrukcijsko preverjanje. Velika masa takih zaključnih plasti na strehi zmanjšuje učinke temperaturnega nihanja in hkrati podaljšuje življenjsko dobo hidroizolacijskega materiala, položenega pod njimi. Težek material, običajno sloj nasutega prodca minimalne debeline 50 mm s frakcijo 16/32 mm, je ugoden tudi kot požarna zaščita, za zagotavljanje zaščite proti iskrenju in toplotnemu sevanju [35].

Za zaščito enoplastne hidroizolacije tople strehe mora biti pod nasutjem prodca položena zaščitna membrana. Na obrnjeni strehi pa mora biti na toplotno izolacijo položen filtrski sloj iz filca, z namenom preprečevanja izpiranja finih oziroma drobnih delcev med stike toplotnoizolacijskih plošč [33].

Z namestitvijo dodatne strešne strukture, npr. solarni paneli ali varnostna jermenska sidrišča, nasutje prodca ali strešna zasaditev, lahko zagotovimo dovolj teže na sistemu (za preprečevanje dviga toplotnoizolacijskega materiala obrnjene in kombinirane strehe ali hidroizolacijskega materiala tople strehe) in tako preprečimo potrebo po pritrditvi, ki prodre skozi zaščitni sloj TI (hidroizolacijski material, ločilni sloj) in s »poškodbo« materiala izpostavi streho možnostim večjih toplotnih izgub. Še več, prekritje strehe z dodatnimi strešnimi strukturami omogoča stanovalcem objekta praktično izrabo površine.

Kritje ravne strehe lahko opravlja naslednje funkcije:

- zaščita proti mehanskim vplivom
- zaščita pred UV sevanjem
- zaščita pred sesalnimi učinki vetra (srk)
- zaščita pred plavanjem izolacije (obrnjena streha)
- požarna zaščita [33].

Obremenitev z vetrom

Za analizo vplivov vetra na objekte je v uporabi računski postopek po SIST EN 1991-1-4:2005 (Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-4.del: Splošni vplivi – Vplivi vetra), skupaj s pripadajočim nacionalnim dodatkom. S hitrim pregledom prevzetega evropskega standarda v slovenski SIST EN 1991-1-4:2005 [39] in vira diplomske naloge [40] smo preučili vplive naravnega vetra kot spremenljivega vira na obtežene površine pri projektiranju konstrukcij stavb oziroma njenih delov. Določevanje obtežbe vetra je odvisno od lokacije, vrste terena, oblike objekta, referenčne višine, na kateri deluje, itd. Vplivi vetra se spreminjajo s časom in delujejo neposredno kot tlak na zunanje površine ploskev konstrukcije in zaradi prepustnosti ovoja delujejo posredno tudi na notranje površine. Vpliv vetra je predstavljen s poenostavljeno skupino tlakov ali sil, ki deluje na površine ploskev kot rezultirajoča sila pravokotno na ploskev oziroma posamezni del ovoja. Učinek vetra na konstrukcijo (odziv konstrukcije) je odvisen od velikosti, oblike in dinamičnih lastnosti konstrukcije.

Po SIST EN 1991-1-4:2005 (v nadaljevanju Evrokod) se obravnava obremenitev ločeno za različne tipe streh: ukrivljene strehe in kupole, poševne strehe ter ravne strehe. Glede na potrebe izračunov vpliva vetra se ravne strehe deli na področja v odvisnosti od zaključka robov strehe: kapni robovi (zaobljeni, mansardni, ostri) ali nadgrajene s parapetom (atika). Na podlagi znane referenčne višine ravne strehe so za različna področja podani koeficienti zunanje tlaka.

Objekt, postavljen v navidezno okolje, je izpostavljen vetru s hitrostjo, različno za lokacije objekta oziroma po Evrokodu glede na cono, v kateri leži (20, 25, 30 m/s). Velikost obremenitve strehe z pritiskom/srkom vetra je odvisna od velikosti vetra, smeri vetra glede na objekt, področja strehe, na katero deluje, vpliva oblike vogala (kapi) strehe. Smer vetra glede na objekt ima velik vpliv na oblikovanje področij z največjimi obremenitvami.

S pregledom skozi izračune iz vira [40], ki so primerni za uporabo v naši nalogi, največje vrednosti nastopijo, kjer so obremenjeni deli neposredno izpostavljeni udaru vetra (najbolj izpostavljene lokacije). Te lahko pri ravnih strehah dosežejo vrednosti od 300 N/m² do 800 N/m² in tudi 1000 N/m², odvisno od smeri vetra (pravokotno na kap strehe, čelno/vzporedno s kapjo) in obravnavanega območja strehe (osrednji del, ob robovih). Z višjimi hitrostmi vetra so pritiski/srki na dele streh višjih vrednosti, naraščajo. Glede na to, da so robovi streh nadgrajeni z atiko, predpostavimo zmanjšano obremenitev na površino strehe. Glavna težava pri izvedbi ravne strehe z majhnim naklonom je, da se na celotni površini strešine pojavijo srki, ki so precej veliki na zunanjem obodu. Oblika ravne strehe povzroča dodatno obremenitev, kajti obremenitve zaradi vetra so bistveno večje kakor pri klasičnih dvokapnicah. Zato so ukrepi izboljšanja, povečanja lastne teže strehe z nasutjem prodca, še kako pomembne – izboljšanje obnašanja konstrukcije zaradi obtežbe vetra.

Obremenitev s srkom vetra v Sloveniji torej ne sme biti večja od 600-800 N/m². Temu zadosti zaščita strehe s 5 cm nasutega prodca, ki je zadovoljiva za klasične tople ravne strehe. Ta zaradi sestave KS, HI nad TI, ne potrebuje velike obremenitve s prodcem, saj je ta zaščiten s slojem HI in zato pri slednji ne pride do dviga TI. Seveda pa je potreben statičen izračun. Pri obrnjeni in kombinirani strehi zadostimo obremenitvam sil vetra z zadostnimi debelinami nasutja prodca, katerih potrebne debeline izračunamo preko izračunov hidrostatičnega vzgona TI, kar predstavljamo v podpoglavju 5.5.2.

5.5 Sestava konstrukcijskih sklopov

Neprezračevana ravna streha z masivno stropno konstrukcijo

Prvotno nas zanima, ali obravnavani konstrukcijski sistemi ustrezajo kriterijem PURES-a iz leta 2010 po najvišji dovoljeni toplotni prehodnosti U_{max} za ravne strehe.

Konstrukcijski sklop objekta preoblikujemo, sestavimo in z računalniškim programom TEDI [41] preverimo ustreznost merilom prehoda toplote in difuzije vodne pare. Na podlagi izbranih zahtev po različnih toplotnih prehodnosti (v nadaljevanju U) v računalniškem programu Microsoft Excel [42] izračunamo najmanjše potrebne debeline toplotne izolacije, ki ustrezajo zahtevam po U .

Izhodiščni konstrukcijski sklop strehe predstavlja streha brez nagiba, z minimalnim nagibom 2%, zato govorimo o ravni strehi. Glede na uporabnost površine jo uvrstimo med nepohodne ravne strehe in glede na zasnovo toplotne izolacije med tople/neprezračevane strehe.

Obravnavamo toplotni prehod skozi konstrukcijski sklop, ki meji na notranje ogrevano okolje in zunanje okolje.

Glede na pozicijo hidroizolacije in toplotne izolacije smo sestavili primer (1) obrnjene ali inverzne ravne strehe ter (2) kombinirane ravne strehe. V primeru obrnjene strehe je HI pozicionirana pod toplotno izolacijo, v primeru kombinirane strehe pa je HI položena med sloja toplotne izolacije [30]. Lahko pa delimo strehe glede na pozicijo TI, ki se izvaja tam, kjer ne želimo izmenjave med toplim in hladnim zrakom. Glede na omenjeno je v sestavi obrnjene strehe TI pozicionirana zunaj in v kombinirani strehi v plašču [43].

5.5.1 Računalniški program za račun toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa

Preverili smo, ali načrtovani konstrukcijski sklopi objekta ustrezajo merilom toplotne prehodnosti posameznih sklopov, v skladu s sedaj veljavnim predpisom, in sicer s Pravilnikom o učinkoviti rabi energije v stavbah – PURES 2010 ter pripadajočo tehnično smernico TSG-1-004. Pri tem smo si pomagali z računalniškim programom TEDI. Ta je namenjen računu toplotne prehodnosti, analizi toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne konstrukcijske sklope (KS) po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002. Avtorja programa sta prof. dr. Aleš Krainer in Rudi Perdan iz Katedre za stavbe in konstrukcijske elemente, UL FGG.

S pomočjo programa za analizo toplotne prehodnosti in pridobljenih podatkov podjetja arhitekturnega projektiranja smo sestavili primerna konstrukcijska sklopa obrnjene ter kombinirane ravne strehe. Program ima vgrajeni knjižnici materialov in konstrukcijskih sklopov, ki jima lahko uporabnik doda svoje materiale in sklope [41]. Izbrali smo že sestavljen konstrukcijski sklop podjetja FRAGMAT TIM d.d., ki smo ga priredili za potrebe analize. Obstoječo vrsto XPS izolacije iz konstrukcijskega sklopa v programu smo zamenjali s to, ki je trenutno na trgu. Priredili smo tudi nosilno konstrukcijo, jo natančneje definirali.

Program med drugim vsebuje tudi klimatske podatke, podatke o materialih in konstrukcijskih sklopih (KS), shranjene v podatkovnih knjižnicah [41].

Vanj je vgrajena tudi knjižnica z meteorološkimi podatki RS-MOP, določenimi za površino kvadratov 1km^2 in sicer projektne zunanje temperature, θ_e , temperaturni primanjkljaji DD in trajanja ogrevalne sezone.

Vrsta konstrukcijskega sklopa (v nadaljevanju KS) in vrsta stavbe se izbereta po 9. členu Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (2008), v programu izpisane zunanje računske temperature in relativne vlažnosti pri računu navlaževanja pa po 19. členu starega pravilnika o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah (2002).

Plasti KS se podajajo v smeri od notranje (toplejše) proti zunanji (hladnejši) mejni površini.

V programu izberemo oziroma izpišemo število plasti konstrukcijskega sklopa in lastnosti sloja. Poda se debelina materiala v sloju in izbere ustrezen material iz knjižnice.

Vrednosti za zunanje površinske upornosti $R_{s,e}$ ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) ter notranje površinske upornosti $R_{s,i}$ ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) posameznih konstrukcijskih sklopov, ki se upoštevajo v sestavi slojev konstrukcijskega sklopa, so podane v razpredelnici programa.

Površinski upor ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$) toplotnega toka v smeri horizontalno glede na horizontalno ravnino je podan kot toplotni upor zunanje zračne plasti v vrednosti $R_{s,i} = 0,13 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ in notranje zračne plasti $R_{s,e} = 0,04 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ za ravne strehe [21].

Program postavi diagnozo o ustreznosti rezultatov pri računu toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare.

Dosegljivi so tudi grafični rezultati o temperaturah na stikih plasti (T-d diagram) in temperaturam pripadajočih tlakih nasičenja vodne pare in relativni tlaki pare v zraku (p-r diagram). V primeru, da v obdobju navlaževanja nastane v KS kondenz, sta na voljo dva diagrama »p-r«, kjer so v enem izmed njiju nakazani mehanizmi nastajanja kondenza v obdobju navlaževanja in sušenja v obdobju izsuševanja.

5.5.2 Izpeljava in sestava konstrukcijskega sklopa

Ravne strehe so po svoji sestavi in gradbeno - fizikalnih karakteristikah različne. V tem sestavku sta prikazana dva značilna primera konstrukcij.

V sklopu tega poglavja naloge smo razvili primer dveh horizontalnih konstrukcijskih sklopov neprezračevanih ravnih streh, ki sta podrobneje opisana v nadaljevanju.

Konstrukcijski sklop ravne strehe je sestavljen iz nosilne ter zaščitne konstrukcije. Nosilna konstrukcija sistema spada v skupino eksoskeletnih konstrukcij. Nanjo so položene zaščitne konstrukcije, to sta hidroizolacija in toplotna izolacija. Sama pozicija zaščitne konstrukcije (toplotna izolacija, hidroizolacija) glede na nosilno konstrukcijo definira konstrukcijski sklop. Pri sestavi moramo paziti na specifične zahteve in detajle.

Vsak del konstrukcijskega sklopa v sestavi prevzema svoj del obtežbe. Nosilna konstrukcija (v nadaljevanju NK) prevzema vertikalno obtežbo (lastna teža, koristne obtežbe) ter horizontalne obtežbe (veter, potres). Hidroizolacija prevzema obtežbe meteorne vode, medtem ko toplotna zaščita, ki je obenem tudi zvočna zaščita, prevzema obtežbe glede na funkcijo konstrukcijskega sklopa in položaj v njem [30].

Konstrukcijski sklopi so izpeljani glede na osnovne karakteristike sklopa (izhodišče, material, način HI, položaj TI) in ne glede na lastnosti aktivnih prostorov. Parna ovira je dodana pri kombinirani strehi. Dodana je kot nakazilo, da se jo postavlja na toplejšo stran konstrukcijskega sklopa (glede na TI). Pri obrnjeni strehi njeno funkcijo opravlja hidroizolacija. Mere NK so odvisne od načina postavitve NK v prostoru in lastnosti materiala. Ker želimo ustvariti ekonomičen konstrukcijski sklop, ne pretiravamo s TI, ampak jo damo le toliko, kolikor je potrebno glede na zahtevan U . Pri izbiri debeline TI moramo seveda paziti tudi na toplotno prevodnost TI, λ . Mere ostalih elementov smo izvzeli iz reklamnih prospektov podjetja FRAGMAT, iz že sestavljenih konstrukcijskih sklopov programa TEDI in iz specifikacij materialov iz TSG-1-004 [44].

Obravnavan objekt je krit z nepohodno ravno streho z zaščito iz nasutja prodca. Sklop strehe, gledano iz notranje proti zunanji zračni plasti, sestavlja masivna konstrukcija - nosilna armiranobetonska (AB) plošča debeline 15 cm, na katero je položen naklonski beton z minimalnim naklonom 2%. Najmanjša merjena debelina naklonskega betona znaša 5,60 cm in največja skrajna/robna debelina 17,90 cm, merjeno ob robu strehe - atiki. Za potrebe izračunov uporabimo dimenzije najmanjše merjene debeline naklonskega betona, kajti z izbiro večjih debelin plasti stopimo na varnejšo stran izračunov.

V nadaljevanju predstavimo sestavo sklopa plasti za obrnjene ravne strehe in še dodatnih plasti kombinirane ravne strehe.

V primeru obrnjene ravne strehe sloju naklonskega betona sledi hladen bitumenski osnovni premaz za pripravo podlage pred polaganjem bitumenskih trakov za izvedbo hidroizolacije, v skladu s SIST EN 13707 in SIST 1031. Z vgradnjo hidroizolacije, ki v primeru obrnjene ravne strehe deluje kot parna zavora in je delno oziroma točkovno privarjena na podlago, je tako s spodnje strani preprečeno navlaževanje toplotne izolacije – ima zaščitno funkcijo toplotne

izolacije. HI je izvedena kot nepropustna membrana, katere primarna naloga je zaščita pred meteorno vodo.

Sledi sloj toplotne izolacije iz ekstrudiranega polistirena (v nadaljevanju XPS plošče), ki so položene v enem sloju. Za potrebe analize smo izbrali plošče XPS 300 GI (podjetja FRAGMAT) po SIST EN 13164 z gladko površino in deklarirano toplotno prevodnostjo $\lambda=0,036$ W/m·K. Robov nismo definirali, saj so načini stikanja robov (ravni robovi in robovi s stopničastim preklopom) v nadaljevanju naloge del naše študije.

Izolacijske plošče stikoma položimo na strešno hidroizolacijo.

Upoštevati moramo, da se sme XPS plošče v sklop vgrajevati le v eni plasti in zato ne moremo plastiti več manjših debelin XPS direktno eno nad drugo. V nasprotnem primeru sloj vlage med ploščami ustvari paroneprepusten sloj - deluje kot parna zapora, ki preprečuje prehod vlage in s tem onemogoča izsuševanje spodnjih plasti ter poslabšal izolacijski učinek spodnje plošče [34].

Po polaganju je treba XPS ustrezno zaščititi pred zunanjimi vplivi, predvsem pred sončnim sevanjem, ki lahko povzroči deformacije toplotnoizolacijskih plošč in poškodbe na površini. Zato se priporoča takojšnja namestitve ostalih slojev gradbene konstrukcije [29].

V strehah se stikajo različni materiali, ki med seboj pogosto niso kompatibilni. Med seboj jih moramo ločiti z ločilnimi sloji, izdelanimi iz nevtralnih materialov. Ločilne sloje vgrajujemo tudi med sloje, kjer bi lahko bolj grobi materiali poškodovali finejše.

Zaščitno funkcijo toplotnoizolacijske plasti opravi drenažni, filtrski in ločilni sloj v obliki poliestrskega filca gramature 200 g/m². Ta zaščiti konstrukcijski sklop pred izpiranjem drobnih delcev iz nasutja prodca, ki je položeno na predhodni sloj kot dodatna zaščitna plast.

Po položitvi ustrezne tkanine namestimo obremenilni in zaščitni sloj. Tkanina iz umetnih vlaken mora biti difuzijsko odprta in obstojna proti UV-žarkom ter proti razpadanju [29].

Kot obremenitev nepohodne obrnjene ravne strehe se praviloma uporabi sloj iz pranege grobega proda (okrogla zrna, zrnatost 16/32 mm). Minimalna debelina nasutja je 50 mm. Zaključek strehe s plastjo prodca predstavlja najenostavnejšo metodo za zagotavljanje ravnovesja in najpopularnejšo rešitev. Če je prodec hkrati namenjen tudi zagotavljanju zaščite proti dvigu vetra, potem njegova teža mora biti tolikšna, da izniči sesalne sile (srk) vetra, ki deluje na strehi [35].

Potrebe po debelinah nasutja se lahko povečajo glede na višino objekta in/ali območja strehe (npr. na robu ali v kotih) . Praviloma mora obremenitev iz proda preprečiti dvig TI, do katerega lahko pri obrnjeni strehi pride zaradi vetra ali hidrostatičnega vzgona v primeru padavin.

Obrnjena ravna streha mora biti izvedena tako, da stoječa voda ni višja od zgornjega nivoja XPS, kajti v takem primeru bi voda delovala kot parna zapora. V TI bi lahko prišlo do kondenzacije in poškodb materiala [29].

V primeru kombinirane ravne strehe parna zapora nadomesti sloj hidroizolacije obrnjene ravne strehe. Ta je izdelana iz bitumenskega varilnega traku z nosilcem iz Al folije in steklenega voala, v skladu s SIST EN 13970 in SIST 1031.

S parno zaporo preprečimo, da bi zaradi temperaturnih razlik med zunanostjo in notranjimi prostori prodrla vlaga v spodnjo izolacijo (EPS), ki mora pri topli strehi ostati povsem suha.

Kakor pri obrnjeni tudi pri kombinirani ravni strehi sledi sloj toplotne izolacije. Zanj so uporabljene rezane plošče iz ekspandiranega polistirena (v nadaljevanju EPS plošče). Za izračune smo upoštevali toplotno prevodnost $\lambda=0,037$ W/m·K iz podatkov kataloga proizvajalca FRAGMAT – 'Termoizolacije 2013.1' [45] (EPS 100, v skladu s SIST EN 13163).

Nad sloj toplotne izolacije je položen sloj hidroizolacije z dvema plastema elastomernih bitumenskih varilnih trakov za ravne strehe. Prvi sloj trakov je delno/točkovno privarjen na podlago, drugi pa je popolno privarjen na predhodni sloj. Za potrebe vhodnih podatkov in nadaljnjih izračunov smo izbrali izdelke iz kataloga proizvajalca FRAGMAT – 'Hidroizolacije 2013.1' [46] (IZOELAST T4 plus ter IZOELAST P4 plus v skladu s SIST EN 13707 – sp. sloj ali sloj pod težko zaščito, s SIST EN 13969 tip A in tip T ter SIST 1031).

Vse nadaljnje plasti kombinirane strehe sledijo kot v primeru obrnjene ravne strehe (XPS plošče, ločilni sloj, prodnato nasutje).

Primer izračuna potrebne debeline nasutja iz prodca za obrnjene in kombinirane ravne strehe

KS računamo na površino $A = 1\text{m}^2$. Zanima nas debelina plasti nasutja prodca ob znani debelini TI, da ne pride ob možnosti pronicanja vode med stike TI do vzgona-izpodrinjene TI oziroma plavanja plošč. Znana je gostota vode $\rho = 1000$ kg/m³, težnostni pospešek $g = 9,81$ m/s² in volumen izpodrinjene tekočine V_v , ki je enak volumnu TI, V [m³]. Gostota prodca $\rho_p = 1700$ kg/m³. Upoštevamo, da je teža nasutega prodca večja od teže izpodrinjene tekočine-vode.

$$F_{vzg} < F_g \quad (9)$$

$$m_v \cdot g < m_p \cdot g$$

$$\rho_v \cdot V_v \cdot g < \rho_p \cdot V_p \cdot g.$$

Iz neenačbe (9) dobimo volumen nasutja prodca V_p [m³]. Ob upoštevanju, da računamo na površino sklopa $A = 1\text{m}^2$, dobimo po izrazu

$$V_p = A \cdot \check{s} \quad (10)$$

vrednost debeline nasutja prodca \check{s} [m], zaokroženo na cm navzgor. Maso prodca na enoto površine 1m^2 [kg/m²] pa dobimo po izrazu

$$m_p = \rho_p \cdot V_p. \quad (11)$$

Debelina (\check{s}) potrebnega nasutja iz prodca se povečuje glede na potrebe po večjih debelinah toplotnoizolacijskih plošč XPS (d).

V Preglednicah 2 in 3 sta predstavljeni sestavi posameznih konstrukcijskih sklopov.

V sestavi konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe nastopa osem slojev, medtem ko v kombinirani ravni strehi enajst slojev. Do razlike v številu plasti prihaja zaradi dodatnih plasti v sestavi kombinirane strehe, in sicer parne zapore v delu sestave tople ravne strehe ter dodatne toplotne izolacije EPS na notranji strani hidroizolacije.

Preglednica 2: Sestava obrnjene ravne strehe

Št. plasti	Material	Debelina materiala d [m]
	Notranji površinski zračni upor	
1	Nosilna armiranobetonska konstrukcija (beton iz kamnitega agregata) 2.400 kg/m ³	0,15
2	Naklonski beton - Beton iz kamnitega agregata 1.800 kg/m ³ (minimalni naklon 2%)	0,056
3	IBITOL FRAGMAT, hladni bitumenski premaz	0,0001
4	IZOELAST T4 PLUS, delno (točkovno) privarjen na podlago, v skladu s SIST EN 13707 in SIST 1031	0,0036
5	IZOELAST P4 PLUS, varilni trak popolno privarjen na predhodni sloj, v skladu s SIST EN 13707 in SIST 1031	0,0036
6	FRAGMAT XPS 300 GI, v skladu s SIST EN 13164 (XPS) ⁽³⁾ , $\lambda=0,036$ W/m·K	IZRAČUNI IN ANALIZE
7 ⁽²⁾	Drenažni, filtrski in ločilni sloj (poliestrski filc 200g/m ²)	0,002
8 ⁽²⁾	Suh prodec frakcije 16/32 mm ⁽⁴⁾ , 1.700 kg/m ³	0,1
	Zunanji površinski zračni upor	

Preglednica 3: Sestava kombinirane ravne strehe (EPS:XPS= A:B)

Št. plasti	Material	Debelina materiala d [m]
	Notranji površinski zračni upor	
1	Nosilna armiranobetonska konstrukcija (beton iz kamnitega agregata) 2.400 kg/m ³	0,15
2	Naklonski beton - Beton iz kamnitega agregata 1.800 kg/m ³ (minimalni naklon 2%)	0,056
3	IBITOL FRAGMAT, hladni bitumenski premaz	0,0001
4	BITALBIT AL V4, bitumenski trak za izvedbo parne zapore, v skladu s SIST EN 13970 in SIST 1031	0,0036
5	FRAGMAT EPS 100, v skladu s SIST EN 13163 (EPS) ⁽³⁾ , $\lambda=0,037$ W/m·K	IZRAČUNI IN ANALIZE
6	FRAGMAT PERGAMIN	0,0007
7	FRAGMAT IZOELAST T4 PLUS, delno (točkovno) privarjen na podlago, v skladu s SIST EN 13707 in SIST 1031	0,0036
8	FRAGMAT IZOELAST P5 PLUS, varilni trak popolno privarjen na predhodni sloj, v skladu s SIST EN 13707 in SIST 1031	0,0036
9	FRAGMAT XPS 300 GI, v skladu s SIST EN 13164 (XPS) ⁽³⁾ , $\lambda=0,036$ W/m·K	IZRAČUNI IN ANALIZE
10 ⁽²⁾	Drenažni, filtrski in ločilni sloj (poliestrski filc 200g/m ²)	0,002
11 ⁽²⁾	Suh prodec frakcije 16/32 mm ⁽⁴⁾ , 1.700 kg/m ³	0,05
	Zunanji površinski zračni upor	

V sledečih poglavjih prikazujemo zasnove, analize ter izračune na primeru obrnjene in kombinirane ravne strehe z ustrezno toplotno zaščito.

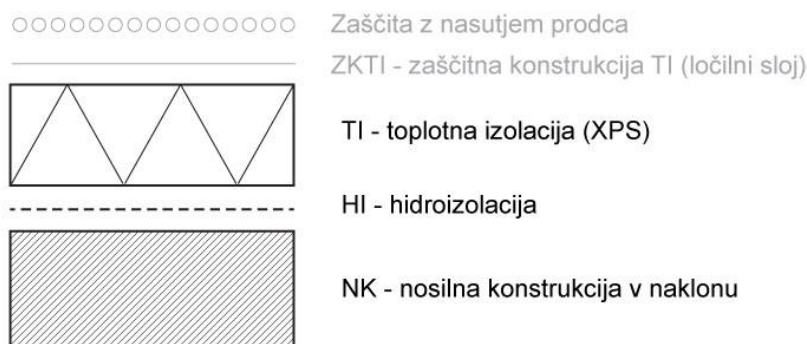
⁽²⁾ Če označimo sloj kot "Hidroizolacija", program TEDI pri izračunu toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare plasti, ki ležijo med to plastjo in zunanjim okoljem, ne bo upošteval.

⁽³⁾ Ker v nalogi analiziramo vgradnjo različnih debelin toplotnoizolacijskih plošč, morajo te biti kot gradbeni proizvod, ki je dan v promet, skladne s predpisi o gradbenih proizvodih, kot to navaja drugi odstavek 9. člena ZGO-1 [13].

⁽⁴⁾ Pran prodec granulacije 16/32 mm je splošno priporočen za izvedbo zaključka ravnih streh. Najmanjša dovoljena debelina sloja nasutja meri vsaj 50 mm [33].

6 PREDSTAVITEV OBRAVNAVANIH TIPOV RAVNIH STREH

6.1 Obrnjena ravna streha, zaščita z nasutjem iz prodca



Slika 1: Sestava obrnjene ravne strehe

V zadnjih letih se tudi že pri nas na mnogih zgradbah vgrajuje t.i. »obrnjena streha«, ki je v zahodni Evropi že dolgo poznana kot tehnično neoporečna rešitev za ravno streho. Ravne strehe, posebej »obrnjena streha« so zanimive tako za novogradnje kot tudi za sanacijo [31].

Obrnjena streha je v primerjavi s toplo streho po nastanku mlajša. Prilagojena je zahtevnejšim vremenskim razmeram, saj prenese hude vročinske obremenitve. Najprej so jo začeli uporabljati v puščavskih predelih Amerike in Bližnjega vzhoda [24].

Sistem toplotne izolacije obrnjene strehe je bil razvit na začetku petdesetih let v ZDA in prvič publiciran pod imenom IRMA (Insulated Roof Membrane Assembly) [47].

V praksi se toplotnoizolacijski sistem obrnjene strehe že več kot 40 let uspešno uporablja po celem svetu, vendar pa je še vedno precej neznan ali pa se še vedno sooča s predsodki. Dvomi nastajajo zaradi izpostavljenosti toplotne izolacije vremenskim vplivom in posledično njeni funkcionalnosti pa tudi zaradi bojzani pritekajoče vode med toplotno izolacijo in hidroizolacijo ter s tem dviga toplotne izolacije in njene oslabitve.

Študija Jon-Duri Vital-a »*Wahl eines Flachdachsystems aus der Sicht der Bauherrschaft*« iz leta 1996 je prišla do zaključka, da ima hidroizolacija na obrnjeni strehi cca. dvakrat daljšo življenjsko dobo trajanja kot na topli (klasični) strehi [47].

KONSTRUKCIJSKI PRINCIP

V osnovi je obrnjena ravna streha stikajoča, neprezračevana. Je streha z ravnim nagibom, kjer v nasprotju (ali obratno, od tod ime obrnjena streha) s »toplo ravno streho« toplotna izolacija leži na hidroizolaciji in je s tem izpostavljena vremenskim vplivom. Tako ni toplotna izolacija zaščiten preko hidroizolacije, temveč je hidroizolacija zaščiten s strani toplotne izolacije.

Obrnjene strehe so lahko različne zaradi različnih gornjih zaščitnih konstrukcij, položenih nad toplotno izolacijo, glede na namembnost površine. Osnovna ideja, da toplotna izolacija poskrbi za hidroizolacijo - njeno zaščito, ostane pri vseh tipih ohranjenja.

Vrste konstrukcij obrnjenih streh:

- S prodrom posuta obrnjena streha
- Ozelenjena obrnjena streha
- Obrnjena streha s povozno površino
- Obrnjena streha kot strešna terasa [47].

V nalogi se podrobneje ukvarjamo z obrnjeno ravno streho, posuto s prodrom.

S PRODOM POSUTA OBRNJENA STREHA

Je trenutno najpogostejše grajena varianta. Prodnata plast prevzame tu več funkcij hkrati. Varuje toplotno izolacijo pred UV žarki, preprečuje dvig toplotne izolacije pri močnih padavinah, ščiti pred požarom in prevzema funkcijo vetrne zaščite pred sesalnim učinkom vetra. Najmanjša dovoljena debelina nasutja proda (velikost zrn 16/32 mm) je splošno 5 cm, ki lahko izpade pri višjih stavbah ali v kotih ter ob robovih strehe debelejša. Pod nasutjem je položen filc, ki preprečuje vstop kamnitim delcem v nadaljnje plasti in ščiti, da se pri dvigu toplotnoizolacijskih plošč v primeru naliva in/ali zamašenega strešnega odtoka, te spet enakomerno spustijo, ne da bi prišlo do izkrivljanja toplotnoizolacijskih plošč [47].

ZAHTEVE ZA IZOLACIJSKI MATERIAL

Zaradi konstrukcijskega principa, postavitve toplotne izolacije na zunanjo stran hidroizolacije, mora izolacija trajno prenesti več vplivov. Tako se mora upreti stalni vodi med padavinami in menjavi zmrzali ter taljenja, ne da bi pri tem izgubila svojo pomembno učinkovitost in tlačno trdnost. Trenutno je samo ekstrudirani polistiren (XPS) v skladu s SIST EN 13164 brez omejitev tem zahtevam in s tem brezpogojno primeren za uporabo strešne konstrukcije obrnjenih streh [47]. Ima izjemno majhno vodovpojnost in svojih izolacijskih ter drugih lastnosti ne spremeni, če je v stiku z vodo. Omejitev, ki jo ima, pa je, da mora biti obvezno nameščena v enem sloju, sicer lahko v vmesno plast med dve plošči zaideta voda in vlaga, ki potem zastajata v teh spodnjih izolacijskih slojih. Med ploščami se ustvari nekakšna filtrska plast oziroma vodni film, ki deluje kot parna zapora in preprečuje izsuševanje ter posledično negativno vpliva na material [47]. Izolacija ima v stalno vlažnem okolju povečano toplotno prevodnost, s čimer posledično postane streha manj izolativna. V primeru potreb po večslojni izolaciji, še posebno pri gradnji nizkoenergijskih objektov, ki zahtevajo velike debeline strešnih toplotnih izolacij, ali v primeru sanacije obstoječe strehe, izberemo sistem kombinirane ravne strehe [48].

Toplotna izolacija obrnjene ravne strehe mora izkazovati določene minimalne zahteve oziroma osnovne tehnične lastnosti glede toplotne prevodnosti, tlačne obremenitve, tlačne trdnosti in navzemanja vlage [29].

PREDNOSTI TOPLOTNIH SISTEMOV OBRNJENIH STREH

Najočitnejša značilnost oziroma tisto, kar loči obrnjeno streho od ostalih, razporeditev toplotne izolacije zunaj hidroizolacije, je hkrati tudi največja prednost toplotnega sistema obrnjene strehe. Toplotna izolacija ni samo zaradi tega nameščena zunaj hidroizolacije, ker to prenese, ampak tudi zato ker ima s tem veliko koristnih posledic.

Pri gradnji obrnjene strehe v primerjavi s standardno toplo streho takoj opazimo, da je strešna konstrukcija obrnjene strehe sestavljena iz manj plasti. V primerjavi s standardno toplo streho se je zahtevi po parni oviri in parno-izenačevalni plasti mogoče izogniti, jo opustiti. Strešna konstrukcija obrnjene strehe je difuzijsko odprta in med drugim pri uporabi

hidroizolacije neposredno nad betonsko ploščo, ki ima tu vlogo parne zapore, ne more prihajati do ujetosti vode, ki bi potem v takem primeru morala biti skozi paro-izenačevano plast odvedena [47].

Prednosti takšne rešitve so predvsem v tem, da ni potreben dodaten sloj parne zapore, to funkcijo opravlja kar sloj hidroizolacije, in da so plasti hidroizolacije, s tem ko toplotna izolacija leži nad njo, dobro zaščitene pred mehanskimi in vremenskimi vplivi; v prvi vrsti pred temperaturnimi spremembami (ne samo sezonske, ampak tudi dnevne ali celo hitrejše spremembe – npr. po nalivu) in pred sončnim sevanjem [34].

Zaščita hidroizolacijske membrane s trdno toplotno izolacijo iz ekstrudiranega polistirena s principom obrnjene strehe zagotavlja nekajkrat daljšo življenjsko dobo hidroizolacijski membrani in s tem tudi povečano trajnost celotni strehi. To izhaja iz zaprte celične strukture XPS, ki tudi pod vplivom vlage ohranja toplotno izolacijske lastnosti, kot so bile projektirane [49].

Trajnost strešne konstrukcije se poveča tudi na račun sloja toplotne izolacije in nasutja iz proda, ki ščitita hidroizolacijo in povečata maso strehe, s čimer se povečata tudi njena toplotna akumulativnost in zaščita prostorov pred zunanjim hrupom.

Z običajnim polno površinskim lepljenjem hidroizolacije s spodnjo ploskvijo (NK) se odpravlja potreba po zagotavljanju tesnjenja hidroizolacije kot zaščite pred sesalnim učinkom vetra, kot je to potrebno pri toplih strehah. V praksi je zahteva pri toplih strehah, zagotovitev zaščite hidroizolacije pred sesalnim učinkom vetra, pogosto izpolnjena s pritrditvijo hidroizolacije s spodnjo osnovno ploščo (poškodba HI). To povzroči šibko točko v hidroizolaciji, kar lahko privede do škode celotnega sistema.

Naslednja prednost sistema toplotne izolacije obrnjenih streh je, da se čas gradnje bistveno boljše obdrži s predvidenim načrtom urnika. Polaganje toplotne izolacije lahko poteka neodvisno od vremenskih razmer in s skrbjo na vlago občutljive toplotne izolacije ali ujele vlage.

Pogosto se je v primeru tople strehe pojavljal tudi problem difuzije vodne pare in kondenzacije v toplotni izolaciji, saj hidroizolacija v sestavi tople strehe predstavlja tudi močno parno zaporo. Te težave so s pojavom obrnjene strehe rešene [29].

PREDNOSTI OBRNJENE RAVNE STREHE

- Zaščita HI pred mehanskimi poškodbami med gradnjo in kasnejšo uporabo,
- Zaščita HI pred temperaturnimi spremembami in UV-sevanjem,
- Parna zapora ni potrebna, v konstrukciji praktično ne more priti do kondenzacije vodne pare in prekomerne vlage,
- Število slojev v konstrukciji je v primerjavi s konvencionalnimi ravnimi strehami manjše,
- Enostavno polaganje tudi pri izjemnih vremenskih razmerah [29],
- Uporabna sestava z možnostjo koriščenja površine,
- Pestrost in kombinacije ureditve površin,
- Možnost kasnejše preureditve za drugo namembnost brez posegov v funkcionalni del strehe [48],
- Številne različice, kot so terase, plus streha, duo streha, streha kot parkirna ploščad in zelena streha [29],
- Daljša življenjska doba HI in strehe,

- Enostavna konstrukcija [47],
- Učinkovitost in trajnost toplotne zaščite tako v pregretyh poletnih dneh kot v ekstremno mrzli zimi,
- Optimalna izvedba brez škodljivih toplotnih mostov,
- Enostavno diagnosticiranje napak in enostavna sanacija,
- Minimalen strošek investicije glede na pridobljene prednosti [48].

SLABOSTI TOPLOTNEGA SISTEMA OBRNJENE STREHE

Kakor princip obrnjene strehe prinese s seboj veliko prednosti, tako prinese postopek gradnje tudi ene ali druge slabosti.

Toplotnoizolacijska plast obrnjene ravne strehe je izpostavljena vremenskim vplivom, med katerimi so predvsem problematične vlaga, voda in zmrzal.

Slabosti so predvsem v zmanjševanju toplotnoizolacijskih sposobnostih plošč in slojev, ki so izpostavljeni stalni prisotnosti vlage in vode. Nekateri predpisi zato zahtevajo povečano debelino toplotne izolacije. Slabosti se kažejo tudi pri težavah z izvedbo, visoki ceni izredno velikih debelin toplotnoizolacijskih plošč (večje debeline plošč XPS so zaradi specifičnosti proizvodnega procesa na enoto prostornine precej dražje od tanjših plošč), in pa pri težavah stikovanja ter pojavom rež med ploščami, posebej v primeru neravnih površin, ki pa prepogosto nastopajo v gradbeni praksi [34].

Zmerno difuzijsko odporni materiali kot hidroizolacijski materiali obrnjene strehe niso primerni sloji za namestitev pod stalno vlažnimi površinami (materiali, ki absorbirajo vodo), saj se v takih primerih difuzija vodne pare lahko obrne v nasprotno smer, v notranjost strehe (pojav z vodo napolnjenimi mehurčki med betonsko ploščo in hidroizolacijo). Zato so kot materiali hidroizolacije obrnjene strehe primerni visoko difuzijsko odporni materiali, ki ne omogočajo prehoda vlage v konstrukcijo [50].

Poleg tega obrnjene lahke strehe ni moč izvesti nad lahko konstrukcijo [34].

Glede na navedbe vira [47] mora podkonstrukcija imeti površinsko težo \geq od 250 kg/m² (ustreza betonska plošča ali podobno) ali oddajati toplotno upornost \geq 0,15 m²·K/W, tako da v primeru padavin na plošči ne pride do izgradnje kondenzacije. Plošča prevzame v tem primeru nalogo hranilnika toplote (počasno termično obnašanje), ki preprečuje, da bi hladen dež preveč ohladil celotno ploščno konstrukcijo in bi s tem na stropu, med medsebojnim srečanjem toplega notranjega (sobnega) zraka z ohlajeno ploščno konstrukcijo, prišlo do izgradnje kondenzacije.

Temu se izognemo z gradnjo konstrukcije obrnjene strehe posute s prodcem in s primerno ločilno plastjo, ki preusmerja in odvaja vodo iz gornjega dela strehe. Tu je večina padle voda na vodo-odvajalni ločilni sloj odvedena, tako da nobena voda ne more doseči ravnih hidroizolacije. S tem se izognemo pojavu ohladitve podkonstrukcije.

Dolgoročna pregraditev plošč toplotne izolacije s primernim in s tem seveda tudi funkcionalnim strešnim odvodnjavanjem je potrebna. Čeprav se dejansko plošče iz ekstrudiranega polistirena tudi pri dolgotrajni potopitvi naj ne bi navzele vode, pa vendar v primeru da voda dolgotrajno stoji na hidroizolaciji, toplotna izolacija v neki točki odpove (toplotna izolacija se spremeni v utež) in ni več dopustna.

V praksi mora biti delovanje strešnega odvodnjavanja zagotovljeno s primernim dimenzioniranjem odvodnjavanja in po drugi strani s prilagojenim intervalom vzdrževanja. To je treba izpolniti seveda tudi pri strešnem odvodnjavanju ravne strehe. Potrebno je opozoriti,

da lahko obrnjene strehe bolj občutljivo reagirajo na pomanjkljivo/neustrezno strešno odvodnjavanje, tudi ko ne pride do dejanskega primera škode, kajti takrat tudi toplotna izolacija ne deluje več optimalno [47].

Slabost predstavlja zahteva izvedbe XPS toplotnoizolacijskih plošč le v eni plasti, katere namestitvev je s tem otežena in včasih zahteva izbiro kombinirane strehe zaradi potreb po namestitvi dodatnih debelin toplotne izolacije (EPS), ki so iz cenovnega vidika boljša izbira kakor večje debeline enoslojnega XPS.

Predvsem pa predstavlja težavo nujna dodatna obtežba, ki je potrebna za preprečevanje vzgona in s tem plavanja izolacijskih plošč ter prenašanja vetrne obtežbe (pri 15 cm debeli plasti toplotne izolacije potrebujemo vsaj 165 kg/m^2 in pri 25 cm debeli plasti vsaj 275 kg/m^2 obtežbe zaščitne plasti, kar predstavlja v primeru najpogostejših zaščit kar 12 oziroma 20 cm debele plasti pranega prodca) [34].

Enostavna zgradba plasti z malo pestrostjo materialov, v povezavi z dolgo življenjsko dobo in vremensko neodvisnim polaganjem so vprašanja, ki so vedno bolj pomembna. Tu ima sistem toplotne izolacije obrnjene strehe svoje prednosti. Vse pravkar omenjene zahteve sodobnega sistema so izpolnjene in mogoče je trditi, da sistem toplotne izolacije obrnjene strehe dosega stopnjo, s katero se drugi sistemi ravnih streh lahko primerjajo. Kot pri vseh sistemih pa vendar obstajajo omejitve.

Sistem toplotne izoliranosti obrnjene strehe predstavlja dobro alternativo standardnim ravnim stregam. Prednosti, ki jih postopek izgradnje obrnjenih streh prinese s sabo, daleč presegajo omejitve in samo v primeru energetske prenove predstavlja postopek gradnje obrnjene strehe neprekosljiv postopek gradnje, ki se odlikuje s tem, da je obstoječ sistem strehe mogoče ohraniti in nanj položiti toplotno izolacijo iz ekstrudiranega polistirena [47].

6.1.1 Razmerje debelin toplotne izolacije obrnjene ravne strehe

Pri dimenzioniranju toplotne izolacije moramo upoštevati najnovejše predpise, ki navajajo največje dovoljene vrednosti toplotne prehodnosti (U vrednost) za posamezne gradbene konstrukcije v zgradbah. Predvsem za ravno streho in strop proti podstrešju je pravilno, da izbiramo nižje vrednosti toplotne prehodnosti, ker s tem v prostorih pod temi konstrukcijami ustvarimo boljše bivalne pogoje tudi v poletnem obdobju ter preprečujemo nastanek kondenza v konstrukciji [31].

Željeno toplotno prehodnost je mogoče doseči na veliko načinov. Toplotno prehodnost, predpisano za ravne strehe, lahko dosežemo z različnimi gradbenimi materiali; z uporabo klasičnih gradbenih materialov v večjih debelinah ali s kombinacijo nosilnih, izolacijskih in dekorativnih materialov. Pri slabo toplotno izolativnih materialih (kot je armiran beton) se debelina materiala za dosego zahtevanega U brez uporabe toplotne izolacije drastično poveča. Monolitne ravne strehe, izdelane iz enega samega materiala, ki je slabo izolativen, so v praksi neuporabne, saj bi bila debelina obrnjene strehe v sestavi brez toplotne izolacije najmanj 10 m (armiran beton), ob dosegu samo največje dovoljene toplotne prehodnosti sistema. Zato pri izdelavi ovoja sodobnih stavb, ne moremo mimo kakovostnih toplotnoizolacijskih materialov. Z uporabo toplotne izolacije, toplotne prevodnosti $\lambda=0,036 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ali manj, je mogoče debelino strehe zmanjšati na 0,50 m [51]. Za enak učinek bi potrebovali bistveno večjo debelino nosilne konstrukcije iz betona, ki pa prekorači vsa strokovna, ekonomska in praktična merila [52].

Da izpolnimo zahteve za dosego najvišje dovoljene toplotne prehodnosti ravne strehe, je potrebno sistemu dodati toplotno izolacijo. Če bi obravnavan sistem obrnjene ravne strehe sestavili brez vgrajene toplotne izolacije, ta ne bi ustrezal zahtevam iz PURES 2010 in

pripadajoče tehnične smernice po U_{max} . Brez namestitve toplotne izolacije bi tako zahtevana vrednost U_{max} konstrukcijskega sklopa ravne strehe bila presežena vsaj 14 - kratno.

Merodajnost podatkov dosežemo s tem, da v vseh primerih upoštevamo iste vrednosti toplotnih prevodnosti λ toplotnih izolacij. Vrednost λ proizvoda XPS izbranega proizvajalca se ne spreminja z debelino XPS. Deklarirana vrednost toplotne prevodnosti (λ_{XPS}) toplotno izolacijskega materiala XPS je 0,036 W/m·K. S to vrednostjo določamo potrebno debelino toplotne izolacije XPS glede na izbrani U konstrukcijskega sklopa.

Za potrebe analize smo izdelali toplotno-difuzijski izračun v računalniškem programu TEDI. Zanimarili smo vpliv pojava kondenzacije in spremljajočih nezaželenih pojavov. Ob znani sestavi konstrukcijskega sklopa obrnjene strehe smo s pomočjo izdelanega programa v programskem orodju Microsoft Excel izračunali minimalne potrebne debeline toplotnoizolacijskega materiala glede na izbrane spremenljivke toplotne prehodnosti sistema. Začeli smo s pogojem najvišje dovoljene toplotne prehodnosti za ravne strehe, $U_{max}=0,20$ W/m²·K, in nato nadaljevali z zahtevo po nižjih vrednostih le-te (0,18; 0,15; 0,12; 0,10 ter 0,08 W/m²·K).

Ob znani toplotni prehodnosti celotnega konstrukcijskega sklopa in toplotni prevodnosti ter toplotni upornosti materialov smo izračunali potrebno debelino toplotne izolacije XPS glede na izbran U . Debeline toplotne izolacije variirajo z izračuni glede na zahteve U konstrukcijskega sklopa. Računali smo na najmanjšo dovoljeno debelino toplotnoizolacijskega materiala XPS v našem sistemu, h kateri v nadaljevanju naloge prištejemo še dodatne debeline toplotne izolacije XPS zaradi upoštevanja upada toplote skozi sistem, kot to navaja standard SIST EN 6946, v Prilogi D.4.

V spodnji preglednici je prikazano spreminjanje najmanjše potrebne debeline toplotnoizolacijskega sloja v skladu z zahtevo po toplotni prehodnosti skozi konstrukcijski sklop obrnjene strehe.

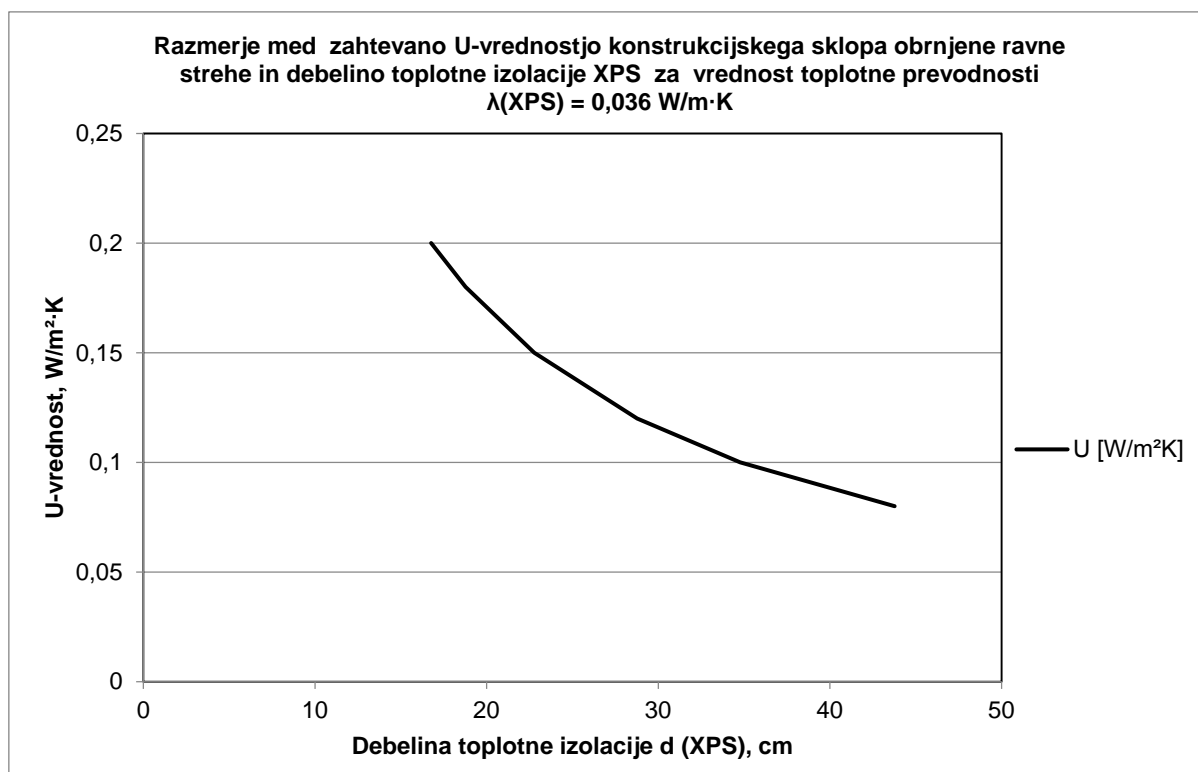
Preglednica 4: Razmerje med toplotno prehodnostjo U in debelino toplotnoizolacijskega sloja d konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe

Vrsta konstrukcijskega sklopa ravne strehe	OBRNJENA STREHA	
Vrsta zahtevane toplotne izolacije v sistemu	XPS	
U konstrukcijskega sklopa (KS) [W/m ² ·K]	Potrebna min. debelina d [cm]	Povečanje debeline glede na računano debelino po U_{max} $(d/d(U_{max}^*)/d(U_{max}^*)) \cdot 100$ (%)
$\leq 0,20^*$	16,8	0,0
$\leq 0,18$	18,8	11,9
$\leq 0,15$	22,8	35,8
$\leq 0,12$	28,8	71,6
$\leq 0,10$	34,8	107,3
$\leq 0,08$	43,8	161,0

* U_{max} konstrukcijskega sklopa ravne strehe [0,20 W/m²·K] (po PRAVILNIKU o učinkoviti rabi energije v stavbah UL RS 52/2010 (PURES 2010)).

Ob najvišji dovoljeni vrednosti toplotne prehodnosti U konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe in upoštevanju toplotne prevodnosti toplotno izolacijskega materiala λ_{XPS} , najmanjša zahtevana debelina toplotne izolacije meri 16,8 cm. Od te vrednosti navzgor, se pravi z večanjem debeline toplotne izolacije, le izboljšujemo energetsko učinkovitost sklopa.

Medsebojno odvisni spremenljivki se spreminjata obratno sorazmerno in nelinearno (Grafikon 1). S strožjimi zahtevami po nižjem prehodu toplote nastopijo zahteve po višjih najmanjših potrebnih debelinah toplotnoizolacijskih slojev, nameščenih v sistem obrnjene ravne strehe.



Grafikon 1: Razmerje med toplotno prehodnostjo U konstrukcijskega sklopa in debelino toplotnoizolacijskega sloja d (XPS) za razred toplotne prevodnosti $\lambda_{XPS} = 0,036 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Toplotna prehodnost se z večanjem debeline materiala *hiperbolično* zmanjšuje in *asimptotično* približuje ničli. To pove, da se bo pri neki zelo nizki vrednostih U [blizu nič], kjer ne dosežemo več neke bistvene spremembe v toplotni prehodnosti elementa ovoja stavbe, zahteva po večji debelini toplotne izolacije ustavila in večanje debeline toplotne izolacije preko te vrednosti ne bo več smiselno.

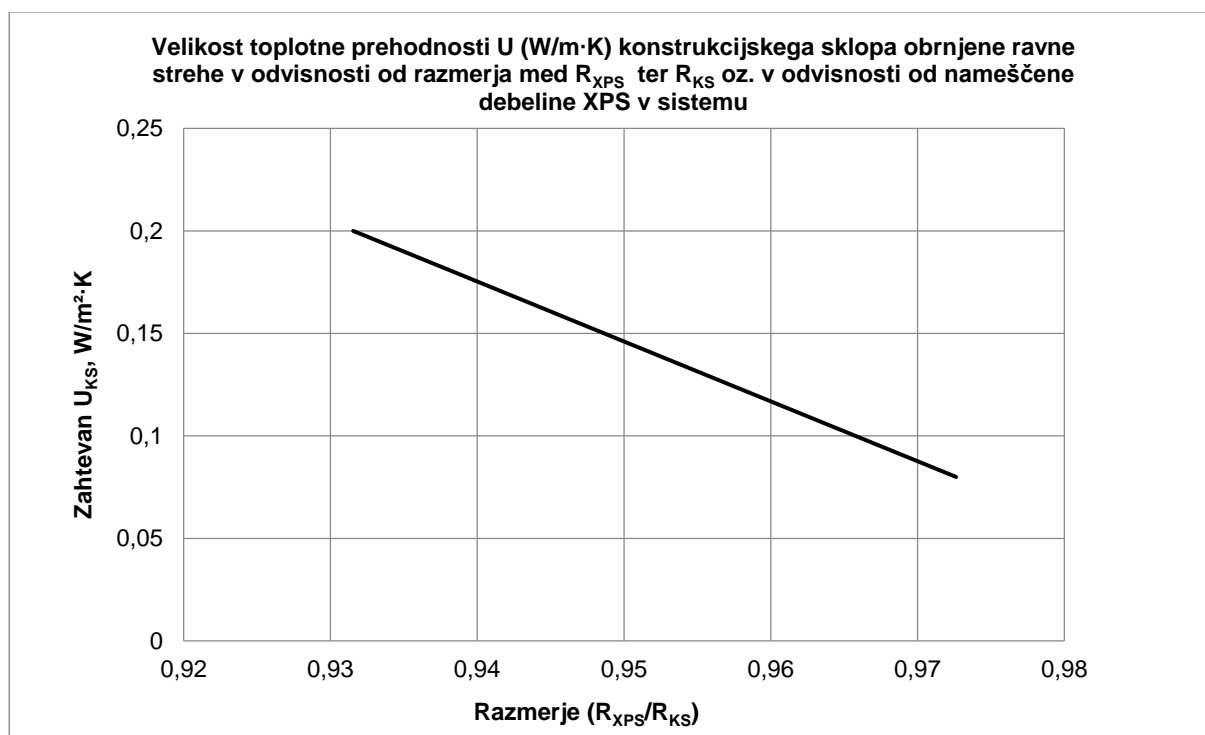
Razmerje $U(d)$ ni linearno, saj nimamo direktne linearne povezave med debelino d toplotne izolacije in U konstrukcijskega sklopa, temveč preko celotnega upora konstrukcijskega sklopa, katerih toplotni upori slojev v sestavi so medsebojno zaporedno vezani (d in U nista v direktnem obratnem sorazmerju).

Da lahko prikažemo vpliv deleža debeline toplotnoizolacijskega sloja (XPS) glede na celoten sistem (v odvisnosti od zahtev po U), izvzamemo razmerja toplotnih uporov (R_{XPS}/R_{KS}). S tem razmerjem najlažje predstavilo delež toplotne izolacije v sistemu. R_{XPS} je oznaka za toplotni upor toplotnoizolacijskega materiala in R_{KS} oznaka toplotnega upora celotnega sistema.

Preglednica 5: Delež toplotnega upora R_{XPS} toplotne izolacije XPS glede na zahteve po toplotnemu uporom konstrukcijskega sklopa R_{KS} (oz. U) obrnjene ravne strehe

U [$W/m^2 \cdot K$]	R_{XPS} [$m^2 \cdot K/W$]	R_{KS} [$m^2 \cdot K/W$]	(R_{XPS}/R_{KS}) [/]	(R_{XPS}/R_{KS}) [%]
0,20	4,658	5,000	0,9316	93,16
0,18	5,213	5,556	0,9384	93,84
0,15	6,324	6,667	0,9487	94,87
0,12	7,991	8,333	0,9589	95,89
0,10	9,658	10,000	0,9658	96,58
0,08	12,158	12,500	0,9726	97,26

Iz Preglednice 5 je razvidno, da se ob zahtevi po manjši toplotni prehodnosti v sistemu povečuje razmerje med toplotno upornostjo toplotnoizolacijskega sloja in celotnim konstrukcijskim sklopom. Slednje pomeni ob isti sestavi konstrukcijskega sklopa večanje razmerja (R_{XPS}/R_{KS}) na račun večjega toplotnega upora toplotne izolacije (R_{XPS}). Ta pa se po definiciji toplotnega upora iz enačbe (3) lahko poveča na račun povečane debeline d toplotne izolacije ali zmanjšanja toplotne prevodnosti λ toplotne izolacije. Za potrebe primerjalne analize v nalogi se pri nas ohranja vrednost λ , tako da se R_{XPS} povečuje na račun potreb po večjih debelinah toplotne izolacije. Torej, nižjo vrednost toplotne prehodnosti U konstrukcijskega sklopa dosežemo s povečanjem debeline toplotnoizolacijskega materiala v sistemu, kar je v povezavi s povišanim razmerjem toplotnih uporov med sestavo toplotnoizolacijskega sloja in celotnega sistema.



Grafikon 2: Delež toplotnega upora R_{XPS} toplotne izolacije XPS glede na zahteve po toplotnemu uporom konstrukcijskega sklopa R_{KS} (oz. toplotne prehodnosti U_{KS}) obrnjene ravne strehe

Razmerje med toplotnim uporom toplotne izolacije XPS in toplotnim uporom celotnega sistema se obnaša obratno sorazmerno. Iz Grafikona 2 je razviden linearen potek odvisnosti med spremenljivkama, saj sta spremenljivki v direktnem obratnem sorazmerju. Vrednosti

deleža (R_{XPS}/R_{KS}) se bližajo vrednosti 1 ($R_{XPS}=R_{KS}$), kar bi pomenilo, da konstrukcijski sklop sestoji le iz deleža toplotnoizolacijskega sloja brez preostalih slojev v sestavi strehe. V primeru, da pa bi razmerje (R_{XPS}/R_{KS}) imelo vrednost 0 ($R_{XPS}=0$), bi pomenilo, da v sistem obrnjene strehe toplotnoizolacijski material XPS ni nameščen.

Z narejenimi izračuni smo prikazali vpliv izbire debeline toplotnoizolacijskega sloja na toplotno prehodnost strehe. Njuno medsebojno odvisnost prikazujemo tudi na primeru kombinirane ravne strehe.

6.2 Kombinirana ravna streha kot različica obrnjene ravne strehe, zaščita z nasutjem iz prodca

Ker se debeline toplotnoizolacijskih plasti ravne strehe povečujejo – v skladu z novo zahtevo pravilnika [PURES 2010] znaša toplotna prehodnost največ $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ -, so izvedbe obrnjenih ravnih streh s toplotnoizolacijsko plastjo, izpostavljeno vremenskim vplivom, vse manj ekonomične, tehnično težko izvedljive in zaradi višje cene XPS izolacijskega materiala ekonomsko neupravičene [34]. Zaradi omenjenega se na objekte vse bolj vgrajujejo sistemi kombinirane ravne strehe.

Kombinirana ravna streha je modificiran tip obrnjene ravne strehe. Je tip obrnjene ravne strehe, pri kateri je del skupne toplotne izolacije nameščen pod hidroizolacijo in del nad njo.



Slika 2: Sestava kombinirane ravne strehe

SESTAVA KOMBINIRANE RAVNE STREHE

1. del – topla (klasična) ravna streha

- na naklonski beton položena parna zapora,
- prvi sloj toplotne izolacije, odvisno od obremenitve,
- hidroizolacija

2. del - obrnjena ravna streha

- drugi sloj toplotne izolacije, odvisno od obremenitve,
- nadgradnja odvisna od zaključnih slojev ter namena uporabe površine obrnjene strehe [53].

Kombinirana ravna streha je sestavljena kot kombinacija običajne neprezračevane strehe (ali tople strehe) in nad njo nameščene pred tem opisane obrnjene ravne strehe. Gre torej za običajno toplo in neprezračevano streho, nad katero je nadgrajena – bodisi v primerih novogradenj ali v primerih raznih sanacij ali adaptacij – obrnjena ravna streha. Prednost takšne rešitve je v tem, da zajema prednosti obeh ravnih streh: tako klasične neprezračevane kot tudi obrnjene ravne strehe. Z gradbeno-fizikalnega stališča je ta način izvedbe gotovo najboljša rešitev. To potrjujejo tudi izkušnje, vendar pa velja takšna rešitev zaradi velikega števila slojev za drago izbiro [34].

Glede na način izvedbe, novogradnja ali sanacija že obstoječe tople ravne strehe, delimo kombinirane ravne strehe v dve skupini, duo in plus strehe.

DUO ALI PLUS STREHA

Duo in plus streha spadata znotraj družine obrnjenih streh med posebnosti. Tu sta nad konstrukcijo standardne tople strehe, na zunanjo stran hidroizolacije, položena še dodatna toplotna izolacija in plast nasutja iz proda. Duo in plus strehe se v konstrukciji sami med seboj ne razlikujejo. Dve imeni za eno in enako konstrukcijo obstajata le zato, ker je ena streha s tem konstrukcijskim principom navedena pri novogradnji kot duo streha in pri sanaciji/prenovi (obstoječe konstrukcije tople strehe) kot plus streha [47].

V naših podnebnih razmerah lahko priporočene debeline toplotne izolacije na strehi presegajo 20 cm, kar je pomembno tako zaradi zmanjševanja toplotnih izgub v času ogrevanja kot za preprečevanje pregrevanja v poletnem obdobju. Ekstrudirani polistiren XPS lahko v obrnjene ravne strehe polagamo le v enem sloju, zato moramo za doseganje želene izolativnosti pod hidroizolacijo vgraditi dodaten toplotnoizolacijski sloj – ta način imenujemo duo streha [29]. V primeru toplih streh to učinkuje tako, da mora biti nepoškodovan sloj strehe uničen z namenom izboljšanja toplotne izolacije, zato je plus streha v takih primerih primernejša rešitev. Obstoječa topla streha lahko ostane. Na to strešno konstrukcijo se dogradi sistem obrnjene strehe. Strešni ovoj hidroizolacije je tako zaščiten pred vplivi poškodb kot so UV-žarki ali izmenjave pojava zmrzali-taljenja. S tem se podaljša življenjska doba hidroizolacije za več let [47]. Rešitev je zelo primerna za učinkoviteje izolirane ravne strehe ter nizkoenergijske objekte [53].

Ker velik del obstoječih ravnih streh ne ustreza več zahtevam glede sodobne toplotne zaščite, je torej plus streha eden učinkovitejših načinov za naknadno povečano toplotno izolacijo, pri kateri na obstoječo (toplo) ravno streho (odstranimo le morebitno zaščito iz proda) položimo dodatni toplotnoizolacijski sloj [29]. S tem ohranimo obstoječo hidroizolacijo, v primeru da je ta še nepoškodovana, in objekt energetsko saniramo. Pred polaganjem tega novega sloja je treba obstoječo strešno hidroizolacijo temeljito pregledati in po potrebi sanirati. Predvsem pri strehah, ki do sedaj niso bile projektirane za ustrezen prodnati sloj, je treba preveriti statično nosilnost. Ustreznost konstrukcije moramo še preveriti z difuzijskim izračunom [29].

Kombinirana ravna streha glede na svojo sestavo prevzame prednosti in slabosti obrnjene ravne strehe.

PREDNOSTI KOMBINIRANE RAVNE STREHE

- Streha ima trajnost obrnjene strehe,
- Streha, grajena s XPS ploščami, ima vse prednosti obrnjene strehe.
- Z uporabo XPS izolacijskih plošč večjih tlačnih trdosti na obeh nivojih toplotne izolacije dobimo možnost vozne površine. Tega v primeru kombinacije z drugimi toplotnimi izolacijami ni mogoče zagotoviti.

- Možnost naknadne povečave debelin toplotne izolacije v sistemu s sanacijo oziroma nadgradnjo v odvisnosti od vzroka: streha pušča (poškodovana HI), streha je nezadostno toplotno izolirana, strešna površina ima premajhen naklon za zadovoljivo odvodnjavanje ali pa želja po uporabni pohodni površini.
- Z nižjo nadgradnjo plošč iz XPS nad hidroizolacijo lažje rešujemo detajle zaključkov ravnih streh.

Če ima objekt masivno betonsko podkonstrukcijo, je najprimerneje izvesti tako imenovano »duo« streho. Pri tej izvedbi je hidroizolacijski sloj umeščen med dve plasti TI. Taka izvedba zmanjša možnosti poškodbe HI tako s strani betonske plošče (trdi in ostri delci) kot z zunanje strani (mehanske poškodbe, meteorni vplivi) [54].

V nalogi se bomo izogibali izrazoma duo in plus strehe in namesto njiju uporabili izraz »kombinirana ravna streha«. Glede na to, da konstruiramo konstrukcijske sklope kombiniranih ravnih streh glede na različna razmerja med toplotnima izolacijama tople in obrnjene strehe, se najbolj približujemo pojmu duo streh.

6.2.1 Razmerje debelin toplotne izolacije kombinirane ravne strehe

Konstrukcijski sklop kombinirane ravne strehe je sestavljen iz dveh vrst toplotnih izolacij. Za namestitvev toplotne izolacije na notranji strani hidroizolacije izberemo ekspanzirani polistiren (v nadaljevanju EPS) in na zunanji strani hidroizolacije ekstrudirani polistiren (v nadaljevanju XPS).

Z namenom primerljivosti študije izberemo različna medsebojna razmerja debelin med EPS ($\lambda=0,037$ W/m·K) in XPS ($\lambda=0,036$ W/m·K) toplotnima izolacijama, katerih toplotni prevodnosti λ sta različni. Izračunane vrednosti debelin EPS in XPS dobimo na podlagi upoštevanja zahtevane toplotne prehodnosti sistema U , izbranih razmerij med njima in njune toplotne prevodnosti λ .

Za študijo debelin toplotne izolacije kombinirane ravne strehe smo izbrali iste vrednosti U konstrukcijskega sklopa kot v primeru obrnjene ravne strehe, z namenom njune primerljivosti. Ker pa v primeru kombinirane ravne strehe nastopata dve vrsti toplotnih izolacij, EPS in XPS, smo naredili analize na različnih razmerjih debelin EPS:XPS. Na račun večanja debeline EPS nižamo debeline XPS. Uporabimo sledeča razmerja EPS:XPS:

- 1:1,
- 2:1,
- 3:1,
- 4:1 in
- 5:1.

Prednosti take sestave kombinirane ravne strehe predstavlja večina sestave toplotnoizolacijskega sloja iz EPS plošč, do česar privede sam cenovni vidik namestitve. Plošče iz ekspandiranega polistirena (EPS) so namreč bistveno cenejše (cena/m²) v primerjavi s ekstrudiranim polistirenom (XPS).

Izračunane vrednosti debelin toplotnih izolacij kombinirane ravne strehe so podane v **Prilogi B**, kjer so prikazane minimalne dovoljene debeline XPS in EPS za različno omejene vrednosti U , in sicer za pet variant razmerij med EPS in XPS. Izračunano razmerje med EPS in XPS daje najmanjše (minimalne) dovoljene vrednosti debelin toplotne izolacije ob zahtevi izbranega U [W/m²·K].

Vrednosti celotnih debelin toplotnih izolacij (EPS+XPS) v kombinirani ravni strehi, ob pogoju iste toplotne prehodnosti U , naraščajo z višanjem razmerja EPS:XPS, na račun večjih debelin EPS (večja toplotna prevodnost λ kot pri XPS). Do tega prihaja zaradi različnih vrednosti toplotnih prevodnosti EPS in XPS izolacij. S tem, ko ima EPS višjo toplotno prevodnost, pomeni, da za dosego istega U sistema potrebujemo v sistemu več debeline le-te kot v primeru izbire XPS izolacij z nižjo vrednostjo koeficienta toplotne prevodnosti λ . S tem ko višamo razmerje EPS:XPS, večamo debeline EPS izolacij in hkrati nižamo debeline XPS izolacij, z namenom dosega izbrane toplotne prehodnosti U .

Ne smemo pozabiti, da se ob povečanju zahtev po debelini XPS, ki je izpostavljena atmosferskim vplivom iz okolja, mora povečati tudi debelina nasutja prodca, tako ob izbiri obrnjene kot tudi kombinirane ravne strehe, da ne pride do dviga plošč v primeru padavin ali sile srka vetra!

Ob medsebojni primerjavi razmerij debelin ob različnih zahtevah po prehodu toplote skozi sistem opazimo, da se debeline toplotnih izolacij na račun strožjih, nižjih zahtev po U zvišujejo. Izboljšanje toplotne prehodnosti z zahtevo po nižjem U konstrukcijskega sklopa dosežemo z večjimi debelinami toplotnih izolacij, tako v primeru obrnjene kot kombinirane ravne strehe. Razmerja $U(d)$ kombiniranih ravnih streh grafično nismo prikazali, saj so razlike med vrednostmi debelin toplotnih izolacij med različnih razmerij EPS:XPS in v primerjavi s prikazom na obrnjeni ravni strehi zanemarljivo majhne.

Prikažimo še odvisnost razmerja sestave kombinirane ravne strehe v odvisnosti od zahtevane toplotne prehodnosti U . Slednje opisuje odvisnost $U((R_{XPS}/R_{KS}))$, ki je prikazana za različna razmerja med EPS in XPS.

Razmerje (R_{XPS}/R_{KS}) podaja razmerje deleža toplotne izolacije XPS v sistemu v primerjavi s celotnim konstrukcijskim sklopom kombinirane ravne strehe. Večja ko je ta vrednost, večje debeline XPS nastopajo kot sestavni del sistema.

Z večjim (zgornjim, v stiku z vodo) deležem toplotne izolacije XPS dosežemo večji delež toplotnega upora R_{XPS} in R_{KS} ter manjšo vrednost toplotne prehodnosti U , ob ostalih nespremenjenih toplotnih uporih preostalih slojev konstrukcijskega sklopa. Spodnji sloj toplotne izolacije EPS je zaščiten s strani hidroizolacije in ne vpliva na možnost nastopa dodatnih izgub toplote skozi sistem, zato ni del naše študije in ga v nadaljnjih izračunih tega poglavja ne upoštevamo.

Preglednica 6: Vrednosti razmerij toplotnih uporov (R_{XPS}/R_{KS}) kombinirane ravne strehe z različnimi razmerji EPS:XPS glede na zahtevano toplotno prehodnost U

KOMBINIRANA RAVNA STREHA (EPS:XPS)					
U [W/m ² ·K]	1:1	2:1	3:1	4:1	5:1
	(R_{XPS}/R_{KS}) [-]				
0,20	0,4700	0,3148	0,2367	0,1899	0,1581
0,18	0,4737	0,3173	0,2385	0,1913	0,1594
0,15	0,4791	0,3209	0,2412	0,1934	0,1612
0,12	0,4847	0,3247	0,2441	0,1955	0,1630
0,10	0,4884	0,3271	0,2459	0,1970	0,1644
0,08	0,4921	0,3296	0,2478	0,1985	0,1655

Večje razmerje (R_{XPS}/R_{KS}) pove, da so v konstrukcijski sklop nameščene večje debeline XPS glede na celoto sistema, ki posledično vpliva na manjši prehod toplote U skozi celoten sistem. To drži, saj se na račun izboljšanja toplotne izolacije v smislu povečanja debeline le-te v KS, zmanjša prehod toplote skozi KS, se pravi se zmanjša U .

Najmanjše vrednosti (R_{XPS}/R_{KS}) dosega razmerje EPS:XPS=5:1, saj je v tej sestavi delež XPS izolacije glede na EPS izolacijo 5-krat manjši in posledično manjše je tudi razmerje (R_{XPS}/R_{KS}). Razmerje (R_{XPS}/R_{KS}) torej narašča z nižanjem razmerja EPS:XPS ter nižanjem zahtev po toplotni prehodnosti U .

6.3 Primerjava razmerij debelin med sistemoma kombinirane in obrnjene ravne strehe

V nadaljevanju prikažimo razmerje med obrnjeno in kombinirano ravno streho.

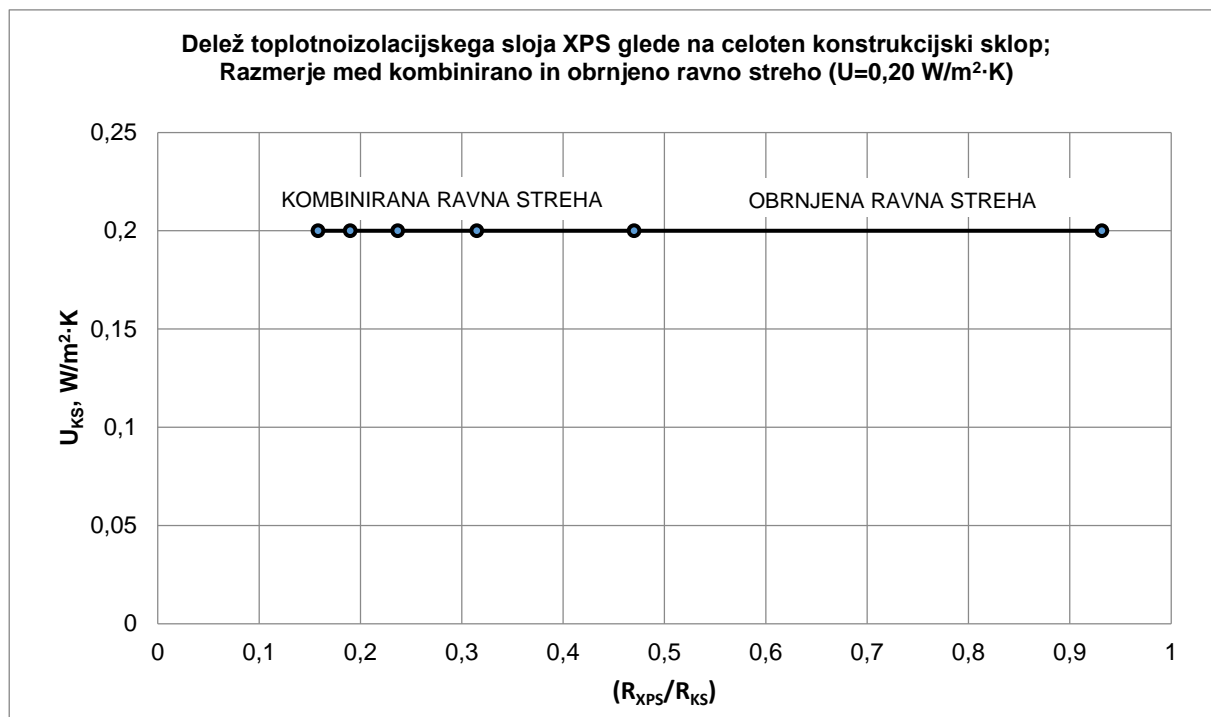
Ob primerjavi (glej **Priloga B**) celotnih debelin toplotnoizolacijskega materiala med dvema različnima konstrukcijskima sklopoma (ob isti zahtevani toplotni prehodnosti) opazimo, da se debeline toplotnih izolacij sistemov medsebojno razlikujejo, vendar v majhnih količinah. Doseganje s pravilnikom določenega kriterija za ravne strehe $U_{max} \leq 0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ v primeru konstrukcijskega sklopa obrnjene strehe predstavlja zahtevano minimalno debelino toplotne izolacije 16,8 cm, za doseganje kriterija U_{max} v primeru kombiniranih ravnih streh pa celotna minimalna potrebna debelina toplotne izolacije doseže vrednosti 17 cm in več (odvisno od razmerij med EPS in XPS).

V primeru kombinirane ravne strehe nastopajo višje vrednosti celotnih debelin toplotne izolacije kot v primeru obrnjene ravne strehe, ob pogoju istega U . Do razlik prihaja zaradi vpliva vključitve EPS izolacije v sistem kombinirane ravne strehe, katere toplotna prevodnost ima višjo vrednost v primerjavi s toplotno prevodnostjo XPS izolacije. Se pravi, da za doseg istega U v istem konstrukcijskem sklopu v primeru uporabe različnih toplotnih izolacij lahko prihaja do razlik pri vgradnji debelin toplotnih izolacij, kadar imata slednji različni toplotni prevodnosti, kakor to opazimo ob primerjavi obrnjene in kombinirane ravne strehe, kjer je v prvo vgrajena le ena od vrst toplotnih izolacij iz sestave kombinirane ravne strehe.

Slednje smo za primerljivost deleža toplotnoizolacijskega sloja XPS v sestavi kombinirane in obrnjene ravne strehe prikazali z vrednostmi razmerja (R_{XPS}/R_{KS}) pri enakem U . Primerjavo smo naredili za najvišjo dovoljeno toplotno prehodnost ravnih streh U_{max} . Razmerje deleža toplotno izolacijskega sloja XPS glede na celoten konstrukcijski sklop je v prikazan z razmerjem med R_{XPS} in R_{KS} .

Preglednica 7: Razmerje deleža toplotne izolacije XPS glede na celoten konstrukcijski sklop strehe (razmerje med kombinirano in obrnjeno ravno streho)

U [0,20 W/m ² ·K]		(R _{XPS} /R _{KS}) [-]
Obrnjena RS		0,9316
Kombinirana RS (EPS: XPS)	1:1	0,4700
	2:1	0,3148
	3:1	0,2367
	4:1	0,1899
	5:1	0,1581



Grafikon 3: Razmerje deleža toplotne izolacije XPS glede na celoten konstrukcijski sklop strehe (razmerje med kombinirano in obrnjeno ravno streho)

Nižje vrednosti razmerja (R_{XPS}/R_{KS}) predstavljajo delež XPS izolacije v sklopu kombinirane ravne strehe in višje vrednosti razmerja delež XPS izolacije obrnjene ravne strehe. Bolj ko se nagibamo k višjim vrednostim razmerja, večje debeline XPS-a so računane za namestitev v sistem. V primeru kombinirane ravne strehe to nastopa ob nižjih vrednostih razmerja EPS:XPS, saj se delež XPS-a v sestavi strehe v tem primeru viša in delež EPS-a niža. Bolj ko se vrednosti razmerja nagibajo k vrednosti 1, bolj se nagibamo k izbiri obrnjene ravne strehe in obratno. Nižje ko so vrednosti razmerja, manjše so debeline XPS-a v sestavi strehe, kar za dosego določene toplotne prehodnosti pomeni, da slednjo dosežemo lahko le z dovolj velikim deležem toplotne izolacije (EPS) v delu tople ravne strehe kot dela kombinirane ravne strehe.

V primeru, da je (R_{XPS}/R_{KS}) ~ 0 , bi pomenilo, da v konstrukcijski sklop obrnjene in kombinirane ravne strehe niso vgrajene toplotno izolacijske plošče iz XPS. V primeru kombinirane ravne strehe to pomeni, da za dosego zahtevanega U potrebno toplotno izolacijo v celoti nadomesti sloj iz EPS plošč (toplotna izolacija dela klasične tople strehe). Če pa bi razmerje (R_{XPS}/R_{KS}) doseglo vrednost 1, bi pomenilo, da celoto konstrukcijskega sklopa predstavlja le sestava toplotne izolacije XPS, brez ostalih slojev. To seveda ni mogoče.

V sledečih poglavjih se osredotočamo na izračune potreb po upoštevanju dodatnih debelin toplotnih izolacij obstoječih sistemov, kot to posredno zahteva standard ISO 6946 preko dodatka D. Hladna meteorna voda, ki doseže strešno vodotesno hidroizolacijsko plast, začasno vpliva na stopnjo izgub toplote s strehe; ta vpliv je potrebno upoštevati z dodatkom popravka za obrnjene strehe k izračunani vrednosti toplotne prehodnosti strehe, v skladu s Poglavjem 7 in dodatkom D.4 iz ISO 6946: 2007.

7 POPRAVEK K TOPLOTNI PREHODNOSTI

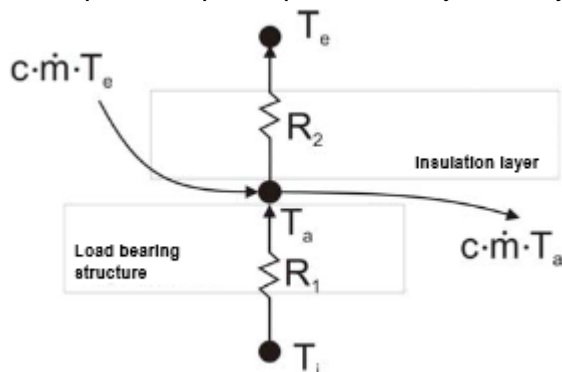
Pogostokrat ni dovolj, če projektiramo in gradimo stavbe s konstrukcijami, ki izpolnjujejo zahteve po največji dovoljeni toplotni prehodnosti, temveč je treba toplotno zaščito še povečati.

Sposobnosti toplotnoizolacijskih plošč in slojev, ki so izpostavljeni stalni prisotnosti vlage in vode, se zmanjšujejo. Zato nekateri predpisi, med drugim tudi obravnavani standard ISO 6946, zahtevajo povečano debelino toplotne izolacije preko upoštevanja popravka k toplotni prehodnosti konstrukcijskega sklopa (v nadaljevanju U) [34]. S tem, ko toplotno izolacijo izpostavimo vremenskim vplivom se poraja vprašanje kako dolgo lahko toplotna izolacija opravlja svoj namen, to je izolirati gradbeno komponento, in ali izračunana U -vrednost še ustreza dejanskemu stanju.

Uporaba prilagoditve k U -vrednosti z namenom upoštevanja dodatnih dejavnikov v konstrukciji, ki lahko ogrozijo toplotno učinkovitost oziroma zmogljivost objekta, ni zanemarljiva. Prilagoditve k U -vrednosti so izražene z » ΔU « [55].

Zaradi sestave obrnjene in kombinirane strehe lahko pride do pojava, da voda pronica pod toplotno izolacijo. Ko te padavine ali staljena voda odtečejo v stran, se ohladi nivo na mestu prej zadržane vode in konstrukcije spodaj; ta upad oz. izguba energije se upošteva pri dodatku za U vrednost [33].

Izguba toplote obrnjene strehe je sestavljena iz toplotne izgube ob prenosu skozi toplotno izolacijo in toplotnega toka, ki je potreben da segreje padavinsko vodo s temperature okolice do temperature pod toplotnoizolacijskim slojem. To je shematsko prikazano na Sliki 3.



Slika 3: Toplotne izgube obrnjene strehe (vir: [56])

V primeru, da je dodatni toplotni tok za segrevanje padavinske vode majhen v primerjavi s toplotnim tokom, ki teče skozi ploščice toplotne izolacije, se lahko U -vrednost korigira približno z dodatkom ΔU .

$$q = \frac{1}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + c\dot{m}}} \cdot (T_i - T_e) \approx \left[\underbrace{\frac{1}{R_1 + R_2}}_{=U} + \underbrace{\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)^2 c \cdot \dot{m}}_{=\Delta U} \right] \cdot (T_i - T_e) \quad (12)$$

q = celotna toplotna izguba strehe [W/m^2]

R_1 = toplotna upornost plasti XPS izolacije pod hidroizolacijo [$m^2 \cdot K/W$]

R_2 = toplotna upornost plasti XPS izolacije nad hidroizolacijo [$m^2 \cdot K/W$]

c = specifična toplotna kapaciteta vode [$J/kg \cdot K$]

m = gostota masnega pretoka padavinske vode, ki drenira po hidroizolaciji [kg/s]

T_i = notranja temperatura zraka [$^{\circ}C$]

T_a = temperatura v plasti hidroizolacije [$^{\circ}C$]

T_e = zunanja temperatura zraka [$^{\circ}C$] [56].

Popravek (ΔU), dodan k toplotni upornosti oziroma prehodnosti, obravnavata standarda DIN 4108-2 in ISO 6946.

V Nemčiji sta v veljavi obe omenjeni vrsti popravka na toplotni prehodnosti U konstrukcijskega sklopa za obrnjene oziroma kombinirane ravne strehe. DIN 4108-2 je del nemškega standarda DIN 4108 o toplotni zaščiti stavb in se osredotoča na minimalne zahteve glede toplotne zaščite v izogib kondenzaciji in nehigienskim bivanjskim razmeram kot tudi zahtevam po poletni toplotni zaščiti.

V skladu z njegovimi zahtevami se k U prišteje dodatek ΔU glede na to, ali je in koliko je deleža TI pod HI. Čim večji je delež toplotnega upora na topli strani HI v primerjavi s celotnim konstrukcijskim sklopom, tem manjše so vrednosti dodatka k U .

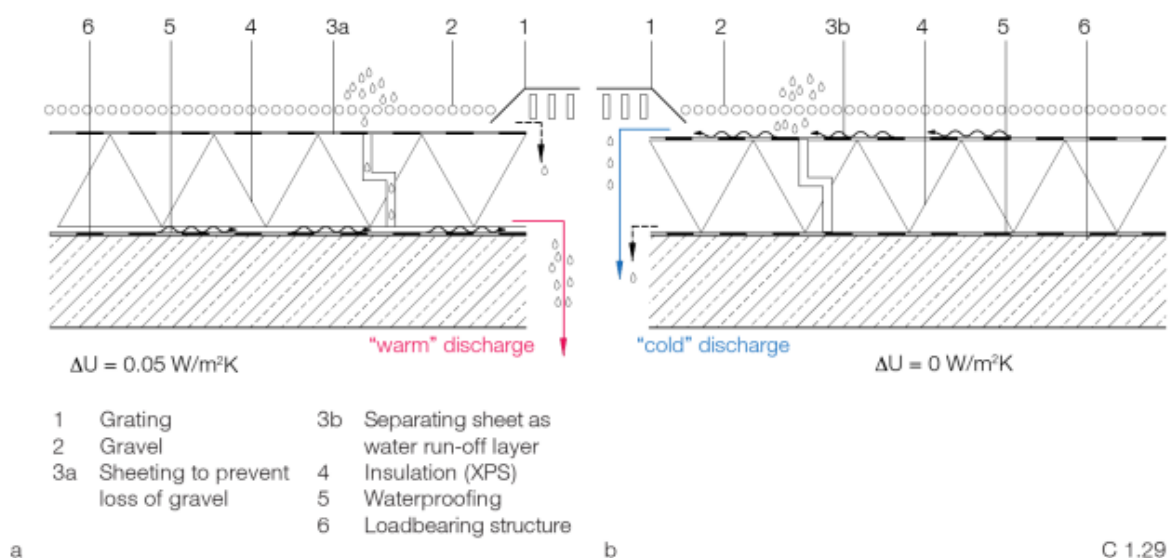
Preglednica 8: Dodatek ΔU za obrnjene strehe po DIN 4108-2 (vir: [37])

Toplotna upornost na notranji strani hidroizolacije kot delež celotne toplotne upornosti (%)	Dodatek ΔU
<10	0.05
10 - 50	0.03
>50	0

Kadar toplotna upornost spodnje plasti toplotne izolacije predstavlja več kot 50% celotne toplotne upornosti, dodatek povezan s padavinami (določba DIN 4108-2) k U -vrednosti strehe ni upoštevan [37]. Dovolj velik toplotni upor spodnjega dela konstrukcije pod hidroizolacijo pomeni, da je dosežena zadovoljiva toplotna prehodnost U , s čimer potrebe po dodatku oziroma povišani vrednosti U ni.

Pozorni moramo biti na to, da je toplotni upor plasti pod hidroizolacijo dovolj velik, z namenom preprečitve možnosti pojava kondenzacije na spodnji strani konstrukcije (stropna konstrukcija) v primeru nenadnih padavin. Kondenzacija se lahko oblikuje, ko v času padavin hladna voda, odteka pod toplotno izolacijo po vrhu hidroizolacije, povzroča močne ohlavitve na spodnji strani konstrukcije [37].

Dodatek k U se lahko izpusti, kadar je uporabljen ločilni sloj za odvajanje vode v kombinaciji z trdo peno ekstrudiranega polistirena (XPS), v skladu z ISO 13164. Če je kombinacija produktov v celotnem sistemu, ki sestoji iz nasutja, drenažnega materiala (=ločilni sloj) in toplotne izolacije, urejena z nacionalnim tehničnim soglasjem, ni potrebe po dodatku. V tem primeru je zagotovljeno, da večina vode lahko steče v stran, po vrhu gornjega ločilnega sloja [37].



Slika 4: Vpliv ločilnega sloja na s prodom kriti obrnjeni strehi - Dodatek ΔU k toplotnemu uporu (a: Voda deloma odteka pod izolacijo-filc; b: Voda v celoti odteka nad izolacijo v odvajalni sistem-vodoodvajalni-ločilni sloj) (vir: [37])

Drugi način popravka k U (ΔU) se opredeljuje glede na standard ISO 6946, ki je veljaven pri nas. Dodatek računamo po enačbah Priloge D. Z njim se podrobneje ukvarjamo v nalogi.

7.1 Popravki k toplotni prehodnosti: Standard ISO 6946, Priloga D

ISO 6946 določa postopek za izračun koeficienta toplotne prehodnosti in toplotne upornosti gradbenih elementov. V osnovi se določi U -vrednosti po znani enačbi (8).

Pri določitvi U -vrednosti k izračunu dodamo še ΔU -vrednost. To upoštevamo v skladu s Prilogo D, standarda ISO 6946 (glej [21]).

Toplotna prehodnost, pridobljena s postopki, navedenimi v standardu, mora biti popravljena, kadar je pomembno, da se upošteva vplive sledečih pojavov:

- Zračni prostori/praznine v toplotni izolaciji
- Mehanski pritrdilni elementi, speljani skozi sloj toplotne izolacije (preboj izolacije)
- Padavine na obrnjeni strehi

Popravljen toplotno prehodnost U_c dobimo z dodanim korekcijskim izrazom ΔU :

$$U_c = U + \Delta U \quad (13)$$

ΔU je dan kot

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \quad (14)$$

kjer je

ΔU_g popravek zaradi vpliva zračnih prostorov/rež

ΔU_f popravek zaradi vpliva mehanskih pritrdil

ΔU_r popravek za obrnjene strehe (in tudi kombinirane strehe) [21].

V nalogi se osredotočamo na popravek, narejen za konstrukcijski sklop obrnjene ravne strehe. Zato nas zanima v kolikšni meri in v odvisnosti od česa le-ta vpliva na debelino toplotnoizolacijskega sloja, ob upoštevanju zahtev iz standarda.

Vpliv mehanskih pritrdil in zračnih prostorov v toplotni izolaciji zanemarimo (0). Popravek zaradi mehanskih pritrdil in zračnih medprostorov se lahko upošteva v vseh konstrukcijskih primerih ravnih streh, če le imajo te pogoje. Tretji popravek iz standarda, na katerega se osredotočamo v nalogi, pa velja le za obrnjene in kombinirane strehe, ki sta predmet našega preučevanja.

V nadaljevanju na kratko predstavljamo prva dva popravka, medtem ko za tretji popravek k obrnjenim streham sledi podrobnejši pregled, predstavljen v naslednjem podpoglavju in Poglavju 8.

POPRAVEK ZARADI VPLIVA ZRAČNIH REŽ: ΔU_g

Zračni prostor je splošni izraz za zračne prostore v toplotni izolaciji ali med izolacijo in mejno konstrukcijo, ki obstajajo na dejanski gradbeni konstrukciji, vendar niso prikazani na risbah. Lahko so razdeljeni v dve glavni skupini:

- Reže med izolacijskimi ploščami, podlogami ali med izolacijo in konstrukcijskimi elementi, v smeri toplotnega toka,
- Vdolbine v izolaciji ali med izolacijo in konstrukcijo, pravokotno na smer toplotnega toka.

Zračni prostori povečujejo toplotno prehodnost komponente s povečanjem prenosa toplote s sevanjem in konvekcijo: obseg tega povečanja je odvisen od velikosti, orientacije in pozicije zračnih prostorov.

Za izdelavo se vedno predpostavlja, da je ustrezna - pomembna je pravilna vgradnja izolacije! S tem zanemarimo pojav zračnih rež zaradi majhnih odstopanj v dimenzijah izolacijskega proizvoda (dimenzijska toleranca), odstopanj od zahtevane velikosti med rezanjem in vgradnjo/namestitvijo ter dimenzijskih odstopanj konstrukcije same in njenih nepravilnosti.

Zanemarimo popravek ob predvidevanju, da dimenzije toplotno izolacijskih plošč ne odstopajo od projektnih dimenzij, da je material brez napak in se v primeru neravnih površin znotraj konstrukcije prilagodi le tej tako, da *ni pretog, je fleksibilen in stisljiv*. Izvedba oziroma vgradnja izolacije mora biti popolnoma pravilno izvedena, brez vmesnih zračnih rež med stiki plošč izolacij in izolacije ter konstrukcije, in tudi brez zračnih plasti med njimi, tako da ne prihaja (pri radiaciji in konvekciji, ki pospešujeta toplotno prehodnost komponente s povečanim prenosom toplote - v primeru pojava zračnih prostorov) do cirkulacije zraka med toplo in hladno stranjo toplotne izolacije.

Primeri, kadar je lahko $\Delta U_g = 0$:

Neprekinjeni sloji toplotne izolacije, brez kakršnih koli prekinitev/motenj sloja izolacije z konstrukcijskimi elementi kot so klini, žebli ali čepi, špirovci ali tramovi, s porazdeljenimi stiki med podlogami ali ploščami v posameznih slojih. Tako je izolacija v trdnem stiku s konstrukcijo, brez rež med konstrukcijo in izolacijo - kar pomeni, da ne prihaja do gibanja zračnih mas med toplo in hladno stranjo izolacije. Vgradnja izolacije v več kot enem sloju z zamaknjenimi/prekrivnimi stiki (kot pri opeki) odpravi potrebo po popravku.

In pa tudi:

- Neprekinjen sloj izolacije, brez kakršnih koli motenj konstrukcijskih elementov kot so čepi, špirovci ali tramovi, ki prekriva druge sloje izolacije, skozi katere prehajajo konstrukcijski elementi.
- Enojna plast neprekinjene izolacije s stiki kot so preklopni rob, pero-utor rob ali zatesnjeni stiki.
- Enojna plast neprekinjene izolacije s čelnimi/ravnimi stiki, kjer se dimenzijsko odstopanje dolžine, širine in pravokotnosti kombinirano z dimenzijsko stabilnostjo rezultira pri vdolbinah stikov, ki so ožji od 5 mm.
- Enojna plast izolacije v konstrukciji, kjer je toplotna upornost izolacije manjša ali enaka polovici celotne toplotne upornosti konstrukcije [21].

Zračni žepki med toplotnoizolacijskimi ploščami (stiki) so tako majhni, da lahko zanemarimo zračno kroženje, vendar pa ne precejanja vode skozi njega.

POPRAVEK ZA MEHANSKE PRITRDILNE ELEMENTE: ΔU_f

Ta popravek določa približno proceduro glede presoje učinka mehanskih pritrdil. Kadar je toplotna izolacija pritrjena z mehanskimi pritrdili, kot so stenske vezi med plastmi zidakov, strešna pritrdila ali pritrdila v kompozitnih panelnih sistemih, uporabimo popravek k toplotni prehodnosti.

Popravek se ne uporabi v sledečih primerih, $\Delta U_f=0$:

- stenske vezi, pritrjene preko zračne plasti
- stenske vezi, pritrjene med zidanim opečnatim krilom (opečnati zid) in lesenim nosilnim okvirjem
- toplotna prevodnost mehanskega pritrdila, ali njegovega dela, je manjša od 1 W/m·K [21].

Popravek zanemarimo ob pogoju, da zanemarimo vpliv mehanskih pritrdil na strehi.

Izmed vseh popravkov, ki se nanašajo na popravke k toplotni prehodnosti konstrukcijskega skopa, upoštevamo le popravek k spremembi toplotne prehodnosti obrnjene (in kombinirane) ravne strehe. Vpliv medzračnih prostorov ter prodor mehanskih pritrdil (v toploti izolaciji) zanemarimo. Glede na robna pogoja ΔU_g in ΔU_f enaka 0 ter upoštevanju enačb (13) in (14), velja:

$$\Delta U = \Delta U_r \quad (15)$$

$$U_c = U + \Delta U_r \quad (16)$$

U predstavlja zahtevano toplotno prehodnost konstrukcijskega skopa in ΔU (ΔU_f) izračunan popravek k U za obrnjene strehe. Definirati moramo še ΔU_r , ki ga navaja standard [21] v dodatku D.4 in je podrobneje opisan v sledečih poglavjih.

7.2 Postopek popravka za obrnjene strehe po dodatku D.4 standarda ISO 6946

Postopek popravka se uporablja v skladu z evropskim standardom ob energetski presoji konstrukcije, z namenom proučitve nastanka dodatnega toplotnega toka ΔU [$W/(m^2 \cdot K)$] kot posledice padavin [56]. Postopek je opredeljen v dodatku D.4 standarda ISO 6946. Slednji velja tudi za kombinirano streho, saj jo sestavlja obrnjena streha nameščena nad klasično toplo streho.

Vrednotenje toplotne izolacije obrnjenih streh dobiva v okviru usklajevanja evropskih standardov ISO 6946 bolj diferenciran pristop, kakor je bil do sedaj. Zlasti se kaže potreba po oblikovanju enotne osnove za izračun, ki omogoča poenotenje dosedanje zelo različne prakse ocenjevanja v evropskih državah [57].

V osnovi morata biti v sistemu obrnjenih streh prepoznana in izmerjena dva, po vzroku in učinku različna vplivna dejavnika ΔU_r in $\Delta \lambda$ - *popravek* (v nalogi označen kot λ_{corr}), ki vključujeta poslabšanje potrebne dosege toplotne zaščite. Oba popravka sta zajeta v postopku popravka za obrnjene strehe omenjenega standarda.

A. Dodatek ΔU_r za pod XPS toplotno izolacijo odtekajočo padavinsko vodo

Upoštevanje poteka preko dodatka k U -vrednosti (ΔU_r), ki nosi izračun dodatnih toplotnih izgub zaradi med XPS toplotno izolacijo in hidroizolacijo odtekajočo se padavinsko vodo. Popravki v obliki ΔU_r - vrednosti so v mnogih evropskih državah (A;B;CH;D;DK;F;GB;N;NL;S) že vrsto let v uporabi. To so storile z različnimi pristopi popravka, kot na primer z uporabo ΔU_r popravka (D, DK, F, N, NL, S) na konstruiranem izračunanem koeficientu toplotne prehodnosti konstrukcije obrnjene strehe ali s povečanjem debeline toplotnoizolacijskih plošč (A, B, CH, GB).

V Prilogi D.4 standarda ISO 6946 je bil z izdajo iz maja 2003 za določitev ΔU_r vrednosti opredeljen nov, enoten postopek poprave (enačba (17)), v katerem se upošteva vpliv lokacije v smislu padavin v obdobju ogrevanja, vpliv kritja (nasutje, ozelenitev, plošče ali posebne zaščitne obloge) na učinkovito odvajanje vode pod XPS toplotnoizolacijske plošče v obliki drenažnega faktorja f in deleža toplotne izolacije nad hidroizolacijo. Izvajanje postopka poteka še danes [57].

B. Popravek $\Delta \lambda$ oziroma λ_{corr} za upoštevanje povečanja toplotne prevodnosti izolacije zaradi skladiščenja vlage preko difuzije vodne pare

XPS izolacija zaradi njene zaprte celične strukture v splošnem ne vpija kapilarne vode. V nasprotju s tem pa zadržuje toplotna izolacija obrnjene strešne konstrukcije z zaprto (difuzijsko neprepustno in/ali vodo-zadrževalno) krovno plastjo (ozelenitev, tlakovanje-pohodne plošče, betonske plošče) praktično celo leto temperaturni gradient v stalnem poteku, višji relativni zračni vlažnosti na obeh straneh XPS izolacijskih plošč. To vodi, v odvisnosti od lastnosti strešnega kritja in klimatskih robnih pogojev, v času življenjske dobe do stalnega povečanja skladiščenja vlažnosti s procesi kondenzacije zaradi difuzije vodne pare skozi prečni prerez toplotne izolacije. S povečanjem shranjevanja vlažnosti je povezano povečanje toplotne prevodnosti XPS izolacijskih materialov. Upoštevanje se opravi preko dodatka $\Delta \lambda$ oz. λ_{corr} na vrednosti deklarirane toplotne prevodnosti λ_D , ki zaradi stalnega naraščanja vlage mora upoštevati tudi življenjsko dobo sistema strehe.

Popravki v obliki dodatka $\Delta\lambda$ k vrednosti toplotne prevodnosti so do sedaj znani le v nekaterih državah (DK, F, N, NL, S). Vrednosti popravka za uporabo so odvisne od krovne plasti strehe (nasutje s prodom, ozelenjena, tlakovanje) [57].

Potreben popravek $\Delta\lambda$ je določen na podlagi modela izračunov iz ISO 10456, kot navaja standard v D.4.4. Za realiziranje enotnega vrednotenja toplotne izolacije obrnjenih streh (z odprtim in zaprtim kritjem) v času obratovalne življenjske dobe strehe je potrebno uvajanje popravka $\Delta\lambda$ iz priloge D.4.4 in prilagoditve na ΔU_r iz priloge D.4.3 standarda ISO 6946 [57].

Splošno (glej [21])

Postopek poprave za obrnjene strehe je dan zaradi vpliva meteorne vode, ki steče med toplotno izolacijo in hidroizolacijo. Velja za zahtevke ogrevanja: za zahteve hlajenja ta popravek ne velja.

Postopek, dan v prilogi D.4, velja samo za toplotne izolacije izdelane iz ekstrudiranega polistirena (XPS).

Simboli in enote

Preglednica 9: Simboli in enote

Simbol	Količina /Opis	Enota
p	Povprečna stopnja/delež padavin v času ogrevalne sezone, ki temelji na relevantnih podatkih lokacije npr. vremenske postaje, ali podatkih danih v lokalnih, regionalnih ali nacionalnih predpisih ali drugih nacionalnih dokumentih ali standardih.	mm/dan
f	Faktor odvodnjavanja, ki poda delež p, ki dosežejo hidroizolacijo	-
x	Faktor povečanja toplotne izgube, povzročene zaradi meteorne vode, ki steče na membrano (HI)	(W·dan)/(m ² ·K·mm)
R ₁	Toplotna upornost sloja toplotne izolacije nad slojem hidroizolacije	m ² ·K/W
R _T	Celotna toplotna upornost konstrukcije pred uporabo omenjenega popravka	m ² ·K/W
ΔU_r	Popravek k izračunani toplotni prehodnosti elementa strehe, upoštevajoč dodatno toplotno izgubo, povzročeno s padavinsko vodo, tekajočo skozi stike toplotne izolacije in dosegajočo hidroizolacijo	W/(m ² ·K)

7.2.1 Popravek zaradi precejanja vode med plasti toplotne izolacije in hidroizolacije, Priloga (D.4.3) standarda ISO 6946

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \cdot \left(\frac{R_1}{R_T}\right)^2 \quad (17)$$

Za enojno plast toplotne izolacije, ležečo nad hidroizolacijo, s čelnimi oziroma ravnimi stiki in odprtim vrhnjim kritjem kot je nasutje s prodcem, velja $f \cdot x = 0,04$.

Opomba: Plast enoslojne toplotne izolacije z ravnimi robovi/stiki in odprtim nasutjem kot zaključni sloj sklopa se šteje kot postavitev konstrukcijskega sklopa, ki podaja najvišjo vrednost ΔU .

Manjše vrednosti $f \cdot x$ se lahko pojavijo za strešne konstrukcije, ki omogočajo manjše količine otekanja skozi toplotno izolacijo. Taki primeri so različno urejeni stiki med ploščami XPS (kot so robovi s stopničastim preklopom ali robovi pero - utor) ali različno grajeni tipi streh. V primerih, kjer so učinki ukrepov dokumentirani v neodvisnih poročilih, se lahko za produkt $f \cdot x$ uporabijo vrednosti, ki so manjše od 0,04 [21].

Priloga D.4.3 standarda ISO 6946 definira postopek popravka ΔU_r za upoštevanje dodatnih izgub toplote obrnjenih streh zaradi tekoče vode med toplotno izolacijo in hidroizolacijo. Kljub temu pa drenažni faktor f še ni specificiran za obrnjene strehe z zaprtim kritjem (kot so zelena streha, pohodne steze in betonske plošče). Pa tudi za odprto kritje, kot je nasutje s prodom, standard omenja le faktor $f \cdot x$ [57].

Popravek k toplotni prevodnosti, Priloga D.4.4 standarda ISO 6946

Toplotna prevodnost toplotne izolacije mora biti popravljena v skladu s ISO 10456, z namenom upoštevanja morebitne povečane vsebnosti vlage (v toplotni izolaciji), povzročene z difuzijo (vodne pare).

8 DODATEK ΔU_r ZA POD XPS TOPLOTNO IZOLACIJO ODTEKAJOČO SE PADAVINSKO VODO, V SKLADU S PRILOGO STANDARDA ISO 6946: 2007

Dodatek k toplotni prehodnosti ΔU (v naši nalogi ΔU_r) se giblje v odvisnosti od območja oziroma regije, kjer objekt stoji (količine padavin p), oblike stikov/robov toplotnoizolacijskih plošč ter deleža toplotne izolacije (XPS) v konstrukcijskem sklopu [$W/(m^2 \cdot K)$]. Uporaba metode temelji na detajlih, danih v tehničnih specifikacijah.

Za izračun ΔU_r po enačbi (17) moramo poznati faktorja količine padavin p v času kurilne sezone in odvodnjavanja f , ki pri nas še nista določena oz. definirana v sklopu nacionalnih dokumentov, predpisov ali standardov [24]. Pri pridobivanju podatkov smo si tako pomagali s tujo literaturo, kjer so posamezni faktorji definirani v vsebinah nacionalnih dokumentov.

V nadaljevanju podrobneje opisujemo spremenljivke enačbe (17), in sicer p , $f \cdot x$ ter $(R_i/R_T)^2$, razdeljene v tri sklope opisov, za vsako spremenljivko posebej. Spremenljivki f in x iz osnovne enačbe (17) prikazujemo v obliki kombinacijskega faktorja (odtok/izguba toplote) $f \cdot x$, kot to navaja standard (ISO 6946) in tuja literatura. Vse spremenljivke izraza za izračun ΔU_r , ki nastopa v obliki upoštevanja dodatnih izgub toplote skozi sistem obrnjenih streh, imajo posreden vpliv na spremembe prvotno načrtovanih debelin toplotnoizolacijskega sloja konstrukcijskega sklopa. Slednje prikažemo v nadaljevanju z rezultati izračunov, narejenih tako za obrnjene kot kombinirane ravne strehe.

8.1 Povprečni delež padavin p v času ogrevalne sezone

Za potrebe izračuna spremembe toplotne prehodnosti ΔU_r potrebujemo podatek mikroklimе lokacije, kjer obravnavan objekt leži. Ta podatek je povprečje količine padavin p , ki padejo v času ogrevalnega obdobja, izbranega kraja, kjer navidezno lociramo obravnavan objekt.

8.1.1 Določitev reprezentativnih padavin p v Evropi

Koeficienti toplotne prehodnosti obrnjenih streh, ki so pod vplivom intenzitete padavin, morajo biti izračunani v skladu z enačbo (17). V tej enačbi se uporablja povprečje padavin p v obdobju ogrevalne sezone. Univerzalna veljavnost reprezentativnih padavin p za Evropo ni potrjena. Pravilna izbira oziroma definiranje obdobja ogrevalne sezone je zelo pomembna. Še posebej v primeru, kadar v poletnem času pade več padavin kakor v zimskem času, to velja predvsem za Srednjo Evropo [56]. Podlaga za to študijo je predpostavka za ogrevalno obdobje od septembra pa do vključno junija, ki je izvzeta iz podatkov Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO).

8.1.2 Določevanje trajanja kurilne sezone

Trajanje ogrevalne oz. kurilne sezone se računsko določa na podlagi temperature zraka [58].

Po navedbah vira ARSO [59] je podatek o trajanju ogrevalne oziroma kurilne sezone zaradi bolj natančnega izračuna razdeljeno na podatka o začetku in koncu kurilne sezone. Začetek kurilne sezone se začne takrat, ko je zunanja temperatura zraka ob 21. uri prvič v sezoni tri dni zapored nižja ali enaka $12\text{ }^\circ\text{C}$. Naslednji dan, to je četrti, je prvi dan kurilne sezone. Kurilna sezona se konča, ko je zunanja temperatura zraka ob 21. uri zadnjič v sezoni tri dni zapored večja od $12\text{ }^\circ\text{C}$. Tretji dan je konec kurilne sezone, naslednji dan, to je četrti, je že izven kurilne sezone. Trajanje kurilne sezone je število vseh dni med začetkom in koncem kurilne sezone.

Trajanje ogrevalne (kurilne) sezone se lahko med posameznimi kraji (tudi znotraj istih krajev) in stanovanjskimi zgradbami močno razlikuje. Do teh razlik prihaja tako zaradi različnega podnebja, kakor tudi zaradi razlik v gradnji in toplotni izolaciji zgradb. Ker se trajanje ogrevalne sezone določa na podlagi temperature zraka, lega stanovanjske zgradbe ali bivalnega prostora bistveno vpliva na začetek in konec ogrevanja. Z naraščajočo nadmorsko višino temperatura zraka pada, zato je trajanje ogrevalne sezone v krajih z višjo nadmorsko višino daljše. Na dolžino ogrevalne sezone pomembno vplivata tudi dnevno trajanje sončevega sevanja (osojne in prisojne lege) in mikrolokacija zgradbe. Pri mikrolokaciji je pomembna zlasti okolica, ki lahko trajanje ogrevalne sezone skrajšuje (npr. mestno okolje) ali pa podaljšuje (konkavni relief – kotline, mrazišča). V mestih prihaja do t.i. toplotnih otokov, v mraziščih in kotlinah pa v hladnejšem delu leta ter ob jutrih do temperaturnega obrata oz. jezer hladnega zraka. Ogrevalna sezona po Sloveniji v večini nižinskih krajev z nadmorsko višino do 500 m traja okoli 6 do 8 mesecev [58].

Za potrebe določitve vrednosti p smo pridobili podatke (začetka in konca kurilne sezone) iz desetih meteoroloških postaj, iz različnih regij Slovenije.

8.1.3 Analiza klimatskih podatkov za Slovenijo

Z namenom vključitve spremenljivke p (lokacije objekta) kot dela študije vpliva na izgube toplote skozi sistem strehe, smo analizirali podatke povprečnih količin padavin za različne slovenske regije.

Standard ISO 6946, Priloga D.4 opisuje količino p kot povprečni delež padavin v času ogrevalne sezone, ki temelji na relevantnih podatkih lokacije kot je npr. vremenska postaja, ali podatkih danih v lokalnih, regionalnih ali nacionalnih predpisih ali drugih nacionalnih dokumentih ali standardih. Podatke smo zbrali s pomočjo pridobljenih podatkov iz meteoroloških postaj, saj teh z nacionalnimi predpisi še nimamo urejenih. Povprečni delež padavin p v času ogrevalne sezone je podan z enoto mm/dan. Upoštevane so bile le padavine mesecev, kjer je povprečna zunanja temperatura < 12 °C. Uporabili smo podatke ogrevalne sezone 2013/2014. Za analizirane lokacije se povprečna količina padavin med ogrevalnim obdobjem giblje med 2 in 6 mm/dan.

Izbrali smo kraje v Sloveniji, kjer prihaja do večjih razlik v količini povprečnih padavin, z namenom prikaza vpliva padle količine padavin izbrane lokacije na spremembe toplotne prehodnosti ΔU skozi konstrukcijski sklop strehe objekta ter posledično na projektiranje potrebne dodatne debeline toplotnoizolacijskega sloja glede na zahteve iz standarda.

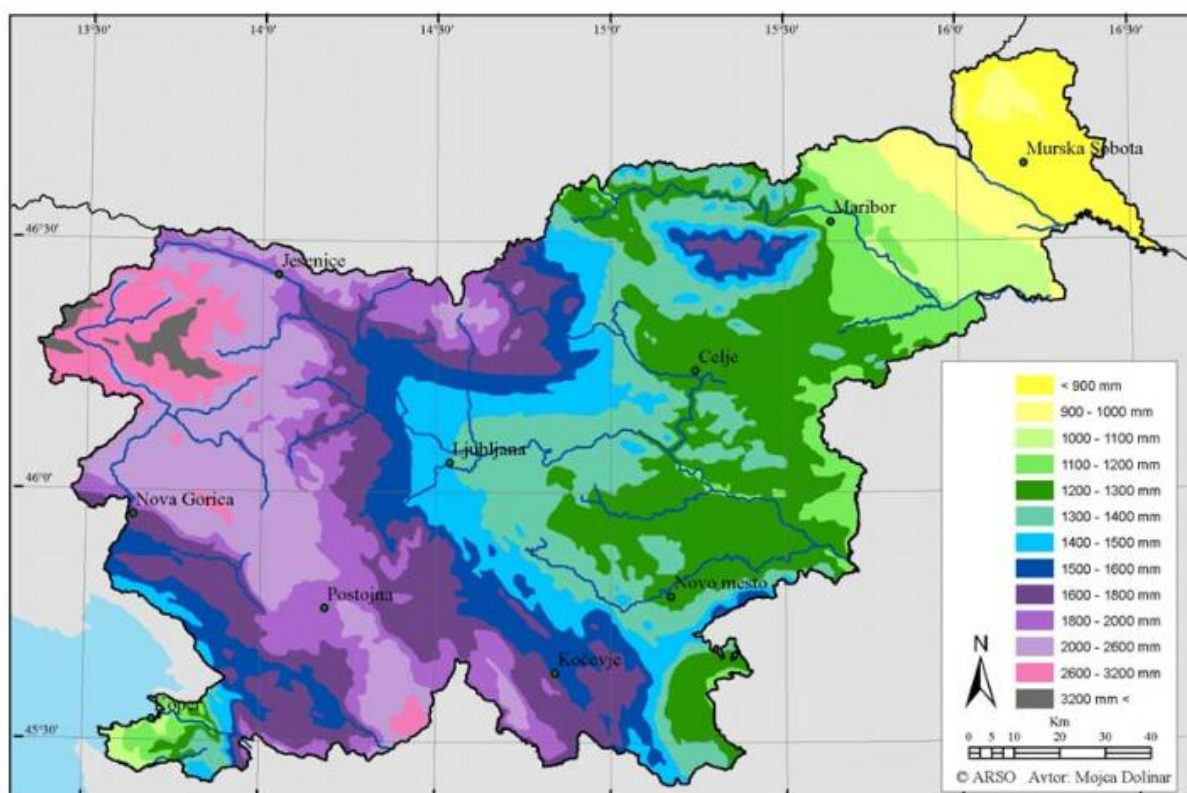
PODNEBNE RAZMERE V SLOVENIJI

Podnebje v Sloveniji določajo številni dejavniki, najpomembnejši so njena geografska lega, razgiban relief, usmerjenost gorskih grebenov in bližina morja. Posledica prepleta številnih dejavnikov je zelo raznoliko podnebje.

Tako imamo tri prevladujoče tipe podnebja, na posameznih območjih pa se njihovi vplivi prepletajo: v vzhodni Sloveniji imamo zmerno celinsko podnebje, v osrednji Sloveniji subalpsko (v gorskem svetu alpsko) in zahodno od Dinarsko-Alpske pregrade submediteransko podnebje. Podnebna raznolikost Slovenije se kaže v razlikah med vrednostmi podnebnih spremenljivk ter v njihovi dnevni, sezonski in več letni spremenljivosti.

Eden izmed značilnih podnebnih nihanj so povprečne padavine. Prostorska porazdelitev padavin v Sloveniji je močno povezana z njenim razgibanim reliefom. Zaradi orografskega učinka se količina padavin povečuje, ko gremo od morja proti notranjosti Slovenije in doseže maksimum na Dinarsko-Alpski pregradi. Nekoliko manjši, vendar opazen maksimum padavin

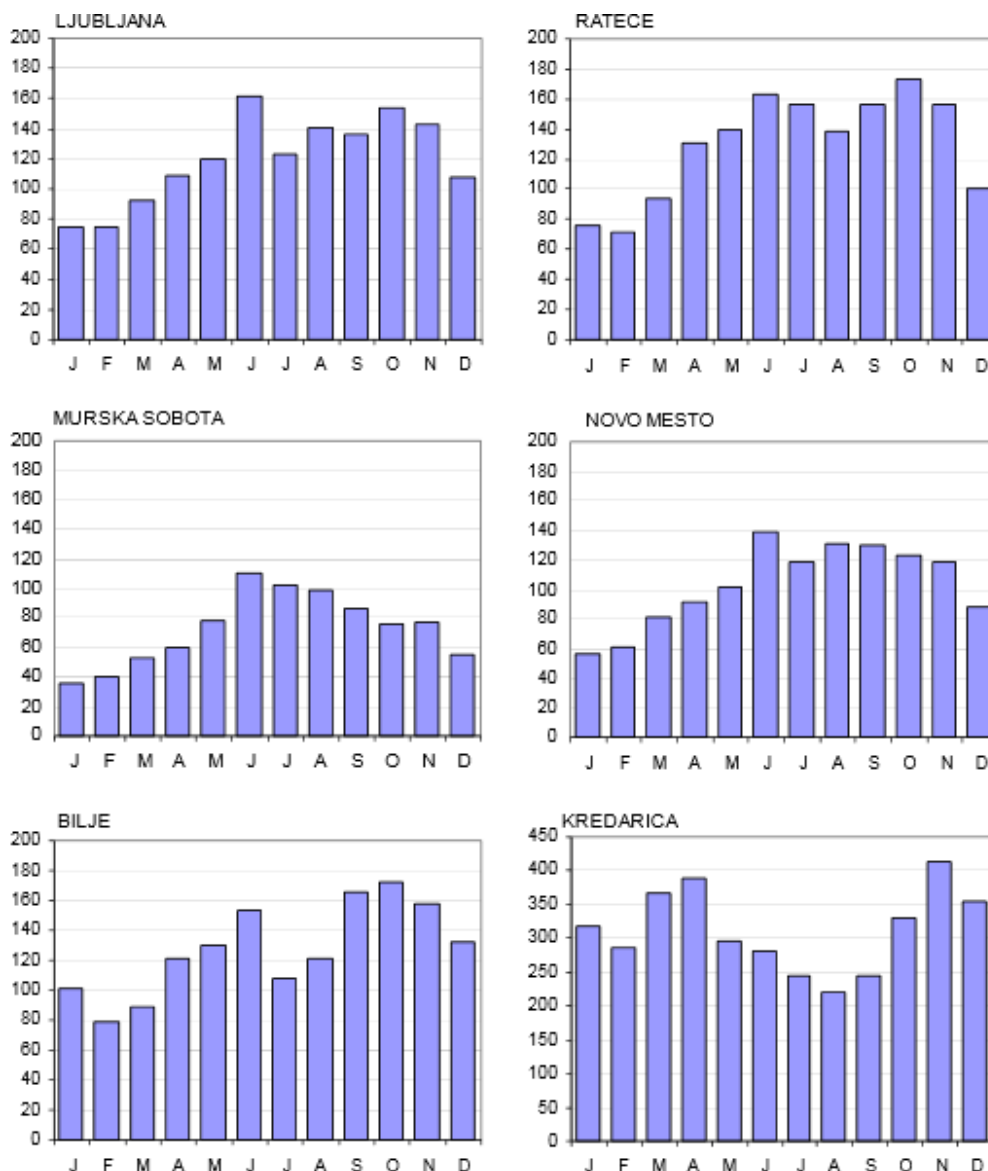
se prav tako zaradi učinka dviganja zračnih mas pojavlja v Kamniško-Savinjskih Alpah. Za Dinarsko pregrado proti severovzhodu se z oddaljenostjo od morja in orografske pregrade količina padavin zelo hitro zmanjšuje. Na skrajnem severovzhodu države (Prekmurje), kjer se že čuti močan vpliv celinskega podnebja, letna količina padavin ne preseže 900 mm. Ob obali se letna količina padavin giblje med 1100 in 1200 mm. Takšna prostorska porazdelitev padavin je posledica dejstva, da v Sloveniji največ padavin pade ob vremenskih situacijah, ko se vlažne in relativno tople zračne mase preko države pomikajo z jugozahodnim vetrom. Smer premikanja zračnih mas je pravokotna na orografske pregrade, zato se ob njih zračne mase dvigajo, zrak se ohlaja in tedaj se iz njega izločajo padavine. To je vzrok da leži maksimum letnih padavin v Julijcih, kjer pade letno nad 3200 mm padavin. To območje spada tudi med najbolj namočene v Alpah in v Evropi (glej Slika 5) [60].



Slika 5: Povprečna letna vsota korigiranih padavin za obdobje 1971-2000 (vir: [60])

Padavinski režim določa porazdelitev padavin preko leta. V Sloveniji nimamo izrazito suhega ali mokrega dela leta, kljub temu pa med meseci oz. letnimi časi opazimo večje razlike (Slika 6). Letni padavinski cikel je pogojen s podnebnim tipom, ki ima v obravnavani regiji največji vpliv. Za submediteransko podnebje (Bilje) sta značilna dva padavinska maksimuma: prvi se pojavlja konec pomladi, drugi jeseni. Za alpsko podnebje (Kredarica, Rateče) je značilno, da največ padavin pade jeseni, nekoliko manj izrazit maksimum pa je značilen za pozno pomlad in začetek poletja. Za vzhod države, kjer imamo izrazit vpliv celinskega podnebja (Murska Sobota, Novo mesto), je značilno, da največ padavin pade med poletnimi plohami in nevihtami, najbolj suhi pa so zimski meseci [60].

Porazdelitev padavin v Sloveniji kaže veliko prostorsko in časovno raznolikost, ki je posledica vpliva geografske lege Slovenije, razgibanosti njenega površja in značilnosti posameznih vremenskih tipov [61].



Slika 6: Povprečna količina korigiranih padavin (mm) po mesecih za obdobje 1971-2000 (vir: [60])

Relief Slovenije je precej razgiban, zato je potrebna postavitve meteoroloških merilnih postaj na različnih lokacijah in na različnih nadmorskih višinah [62]. Če želimo spremljati razlike v posameznih klimatsko raznolikih območjih, bi jih morali imeti vsaj pet, po eno za spremljanje razmer v visokogorju, ob obali, v Prekmurju, v osrednji Sloveniji in v gorskih dolinah.

Za potrebe analize smo izbrali sledeče kraje:

- Murska Sobota, Maribor,
- Novo mesto, Kočevje,
- Ljubljana, Postojna,
- Lesce, Rateče,
- Bilje ter Portorož.

8.1.4 Potek izračuna povprečnega deleža padavin p v času ogrevalne sezone

Podnebni podatki, ki so podlaga pravilniku (PURES 2010), so podani na spletni strani Državne meteorološke službe RS [59], katere časovni niz kurilne sezone zahteva znane koordinate položaja objekta. Ker v nalogi ne obravnavamo in ne določamo konkretne lokacije, smo podatke za zaporedni dan v letu začetka in konca kurilne sezone zaradi lažjega pridobivanja podatkov izvzeli iz spletne strani www.meteo.si [63], kjer so ti dani po meteoroloških postajah krajev. Omenimo tudi, da na spletni strani podnebnih podatkov ni jasno, za katero leto so podani podatki; omenja se le, da so podatki pripravljene za 30-letno referenčno obdobje 1971-2000. Poleg tega so za potrebe naše analize podani le zaporedni dan začetka in konca kurilne sezone, katerega trajanje se mora naknadno izračunati. To pa je glede na le podane zaporedne dneve v letu, brez datuma dneva, težje določljivo. Pridobivanje podatkov za potrebe izračunov je oteženo in s strani pravilnika neprimerno urejeno ter predstavljeno.

Podatke časovnega niza kurilne sezone meteoroloških postaj izbranih krajev za ogrevalno sezono 2013/2014 smo tako pridobili na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje [64]. Ti podatki so: podatek o temperaturnem primanjkljaju kraja, podatek časovnega niza zaporednega dneva v letu začetka in konca ogrevalne sezone in seveda trajanje le-te.

S pomočjo izbranega tipa podatkov smo na spletni strani www.meteo.si [63] («Arhiv meritev») s pomočjo znane meteorološke postaje, na kateri se merijo različni meteorološki pojavi, in obdobja trajanja ogrevalne sezone (t.i. »dnevni podatki») pridobili mikroklimatski podatek lokacije o višini padavin po dnevih za obdobje obravnavane sezone. Na ta način smo pridobili sezonske podatke. Naša dnevna meteorološka spremenljivka je 24 urna količina padavin ob 7h (mm); pridobljen podatek je naša nadaljnja spremenljivka. V nadaljnje smo s pridobljenimi podatki izračunali seštevek vseh padavin v času ogrevalne sezone (v dnevih) in jih delili z dnevi trajanja sezone ter tako pridobili podatek za povprečno količino padavin p kraja za želeno ogrevalno sezono. Pri izračunih smo si pomagali s programom Excel, kjer smo s pridobljenimi podatki izračunali povprečno količino padavin⁽⁵⁾ v mm/dan za določen kraj. Pridobljeni podatki izbranih desetih krajev (meteoroloških postaj), razporejenih v pet različnih regij Slovenije, so prikazani v Preglednici 10, podrobneje pa v preglednici **Priloge C**. Za naše izračune smo izvzeli podatke povprečnih dnevni količin padavin za obdobje ogrevalne sezone 2013/2014. Trajanje ogrevalne sezone se razlikuje glede na lokacijo.

Pri izbiri krajev smo pazili na to, da se meteorološke postaje nahajajo na mestu, kjer je možna stanovanjska poselitev in da je postaja v bližini iskanega kraja. Kraji so izbrani iz posameznih območij glede na različne tipe podnebja v Sloveniji ter s tem različno povprečno letno količino padavin v delih države.

Zaradi morebitne prestavitve postaje in drugih nehomogenosti je potrebna pazljivost pri uporabi podatkov za analizo časovnega poteka. Načeloma je časovni niz znotraj obdobja meritev na posamezni lokaciji brez večjih nehomogenosti, kar pomeni, da so posamezne sezone medsebojno primerljive [62].

Meteorološke meritve potekajo na izbranih merilnih mestih, ki zagotavljajo dober opis povprečnih vremenskih razmer, nikakor pa ne zadoščajo, da bi zajeli vse padavinske ekstreme [65].

⁽⁵⁾ Količino padavin navadno izražamo kot debelino plasti vode, ki bi jo tvorile na ravnem in nepropustnem površju, navadno jo izražamo v milimetrih. V uporabi je tudi enota liter na kvadratni meter. Običajno merimo dnevno količino padavin, ki jo izmerimo ob 7. uri zjutraj in zajamejo vse padavine v zadnjih 24 urah, izmerjene padavine pripišemo dnevni meritvi [65].

Opomnimo, da za vse klimatske regije v Sloveniji velja, da se količina padavin iz leta v leto lahko močno spreminja [60]. V izračunih niso upoštevani ekstremni padavinski dogodki. Upoštevani so izračuni ogrevalne sezone 2013/2014. Bolje bi bilo, da se naredijo izračuni za vsako leto posebej ali pa vsaj na deset let, saj prihaja po analizah meteoroloških agencij do sprememb v klimi in padavinskih dogodkih.

Preglednica 10: Povprečna (izračunana) količina padavin (p) v obdobju ogrevalne sezone 2013/2014 za izbrane kraje Slovenije

Kraj ⁽⁶⁾		Povprečna količina padavin p v obdobju ogrevalne sezone 2013/2014 [mm/dan]
1	Murska Sobota - Rakičan	2,1009
2	Maribor - Tabor	2,7923
3	Novo mesto	3,3977
4	Kočevje	5,1094
5	Ljubljana - Bežigrad	4,1970
6	Postojna	5,4628
7	Lesce	6,0639
8	Rateče	5,8404
9	Bilje	5,4153
10	Portorož - letališče	3,2598

Iz podatkov preglednice **Priloge C** razberemo, da je najkrajša kurilna sezona zabeležena v Portorožu, Ljubljani in Biljah ter najdlje trajajoča v Ratečah, Lescah in Kočevju. Glede na podatke lahko ugotovimo, da je to pogojeno z lego in nadmorsko višino kraja. V času ogrevalne sezone 2013/2014 je med izbranimi kraji najmanjša povprečna količina padavin p v Murski Soboti in največja v Lescah.

Glede na enačbo (17) predvidevamo, da bo v nadaljnjih izračunih prišlo do razlik v vrednostih korigirane toplotne prehodnosti U_c glede na izbiro lokacije objekta (p), ob ostalih nespremenjenih pogojih ($f \cdot x$, $(R_i/R_T)^2$). Posledično se naj bi pokazala razlika po potrebi spremembe debelin toplotne izolacije (XPS) v skladu z zahtevami upoštevanja dodatka ΔU za obrnjene (in kombinirane) strehe glede na kraj, kjer je objekt lociran. S tem, ko se poveča toplotna prehodnost skozi sistem zaradi možnosti precejanja padavin, se povečajo tudi izgube toplote. In da dosežemo želeno, manjšo, toplotno prehodnost U , pomeni le, da moramo povečati obstoječe (prvotno projektirane) debeline toplotne izolacije.

Opozorimo, da celotna količina padavin p , s katero računamo in ki pade na streho objekta, ne steče v celoti skozi stike oz. robove toplotne izolacije na samo hidroizolacijo. Del je odteče tudi v sistem odvodnjavanja. Ta *pronicajoči delež* količine padavin skozi stike XPS je odvisen od tega, ali je v sestavo sklopa vključen ločilni sloj in če je, katera vrsta ločilnega sloja, položenega nad toplotno izolacijo, nastopa v sklopu obrnjene/kombinirane strehe ter katera vrsta stikov med toplotnoizolacijskimi ploščami je uporabljena [56].

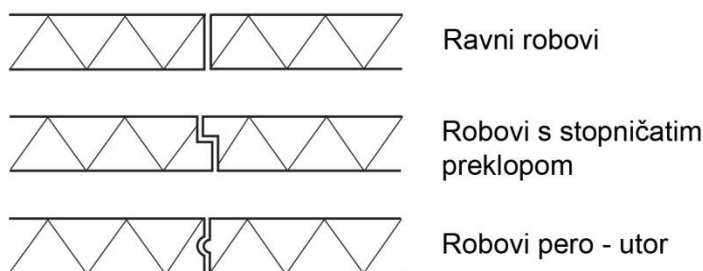
S tem se podrobneje ukvarjamo v naslednjem podpoglavju, kjer opisujemo različne razlage faktorjev f in x iz enačbe (17).

⁽⁶⁾ Podatki pridobljeni dne 15. 9. 2014 na spletni strani www.meteo.si.

8.2 Faktor odvodnjavanja f in faktor povečanja toplotnih izgub x

(Kombinacijski faktor $f \cdot x$ ter vrste stikov med toplotnoizolacijskimi ploščami XPS)

Vrednosti faktorjev f in x pri nas zaenkrat nista določeni oziroma definirani, zato smo se osredotočili na njune vrednosti, pridobljene iz tujih literatur. Izbira vrednosti za f in x oziroma kombinacijskega faktorja $f \cdot x$ ($(W \cdot dan)/(m^2 \cdot K \cdot mm)$) se v obravnavanem standardu (ISO 6946) omenja v povezavi s sestavo konstrukcijskega sklopa ter vrsto stikov oz. robov med nameščenimi toplotnoizolacijskimi ploščami. V njem je zapisano, da za primere konstrukcijskih sklopov z enoslojno toplotno izolacijo z ravnimi stiki, položeno nad hidroizolacijo, ter kritjem iz nasutja prodca, velja $f \cdot x = 0,04$. Za to postavitev strehe tudi pravi, da velja za ureditev, ki daje najvišjo vrednost popravka k toplotni prehodnosti ΔU . Se pravi, da najvišji ΔU nastopi, ko je kombinacijski faktor $f \cdot x = 0,04$. Torej je to najvišja vrednost kombinacijskega faktorja $f \cdot x$, ki nastopa v naši študiji. Nižje vrednosti $f \cdot x$ se lahko uporabijo pri strešnih konstrukcijah, kjer se odvede oz. preceje manj padavin preko toplotne izolacije. Za take primere se štejejo primeri uporabe druge vrste stikov med toplotnoizolacijskimi ploščami (preklopni robovi/ robovi s stopničastim preklopom, robovi pero-utor) ali drugačne sestave konstrukcijskih sklopov. Za te primere, kjer so učinki ukrepov dokumentirani v neodvisnih poročilih, se lahko uporabijo nižje vrednosti $f \cdot x$ kot omenjenih 0,04.



Slika 7: Vrste robov toplotnoizolacijskih plošč XPS

8.2.1 Priporočene vrednosti za $f \cdot x$ po smernici ETAG 031-1

Na spletni strani British Board Agreement [66] smo pridobili dokument v povezavi z obrnjenimi strehami, odvodnjavanjem ter popravkom k U vrednosti (*Inverted roofs – Drainage and U value corrections*). Ta pravi, da je obnovljeno zanimanje za specifikacije obrnjenih streh osredotočeno na dve zadevi, in sicer, na pravilno odvodnjavanje ter popravke k izračunani U vrednosti, katerih upoštevanje posledično izvira iz vdora hladne meteorne vode pod toplotnoizolacijski sloj in s tem odvedeno toploto iz sistema. Hladna meteorna voda, ki doseže strešno vodotesno hidroizolacijsko plast, začasno vpliva na stopnjo izgub toplote s strehe; ta vpliv je potrebno obračunati z dodatkom popravka (ΔU_r) k izračunani U vrednosti toplotne prehodnosti strehe v skladu s Poglavjem 7 in dodatkom D.4 iz ISO 6946: 2007.

Opombe k članku (*Inverted roofs – Drainage and U value corrections*) nam podajo koristne informacije glede virov pridobivanja vrednosti faktorjev f in x oziroma zmnožka $f \cdot x$. Napoti nas k viru smernice evropskega tehničnega soglasja za izolacijske sisteme obrnjenih streh, imenovanim »ETAG 031 *Guideline for European Technical Approval of Inverted Roof Insulation Kits*, Part 1: General (2010)«.

Smernica evropskega tehničnega soglasja 031 (*European Technical Approval Guidance 031*, ETAG 031) (glej [67]) vsebuje smernice za načrtovanje obrnjenih streh in je bila izdana za zagotovitev skladnosti standardov presoje sistemov obrnjenih streh po vsej Evropi [68].

ETAG 031 predstavlja osnovo za pripravo Evropskega tehničnega soglasja (*European Technical Approvals (ETAs) for inverted roof kits (systems)*), ETAs) za sisteme obrnjenih streh v skladu z Direktivo o gradbenih proizvodih (*Construction Products Directive, CPD*) Evropske unije. Tako se bo sistem obrnjene strehe skupaj z ETA, pripravljene v skladu s ETAG 031, šteli, da izpolnjuje osnovne zahteve Direktive (CPD) [68].

Članek »*Inverted roofs – Drainage and U value corrections*« ([66]) pod opombo 2 navaja:

- f je določen s preizkusom, danim v ETAG 031: Guideline for European Technical Approval of Inverted Roof Insulation Kits Part 1: General

Preizkus mora biti izveden na najtanjši toplotnoizolacijski plošči in najtanjši vodoprepustni plasti nasutja na najnižji točki nagiba plošče. Kjer je predlagana streha brez nagiba, mora biti testiran sklop tudi raven, brez padcev.

- Brez potrebe po testiranju so lahko uporabljene sledeče vrednosti faktorja f obrnjenih streh (lahko se poiščejo izboljšane vrednosti z izvedbo testa na specifičnih konstrukcijah):
 - **0.5** strešni vrtovi, zelene strehe in parkirne površine z ulitim betonskim zaključkom
 - **0.75** toplotna izolacija s stopničastimi stiki in odprtim kritjem
 - **1.0** toplotna izolacija z ravnimi stiki in odprtim kritjem [66].

V smernici ETAG 031-1 [67] so torej zapisane (priporočene) vrednosti faktorja f , katerih uporaba oziroma prevzem za nadaljnje izračune je možen brez potreb po testiranju ali pa se njegove vrednosti pridobi z izvedbo preizkusa, katerega postopek je naveden v smernici. ETAG 031-1 v podpoglavju 5.6.1.3, ki se osredotoča na popravek vrednosti toplotne prehodnosti sklopa obrnjene strehe (Poglavje 5.6 Varčevanje z energijo in ohranjanje toplote) navaja sledeče uporabe vrednosti $f \cdot x$, brez potrebe po testiranju:

(a) $0,02 \text{ W} \cdot \text{dan} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ (0,5-0,04)

za strešne vrtove, zelene strehe ali parkirne plošče z litim betonskim zaščitnim površinskim slojem,

(b) $0,03 \text{ W} \cdot \text{dan} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ (0,75-0,04)

za sklop, kjer je uporabljena toplotna izolacija s profiliranimi stiki (kot so robovi s stopničastim preklopom, robovi pero-utor) in odprtim kritjem (drugo kot to omenjeno v primeru (a))

(c) $0,04 \text{ W} \cdot \text{dan} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ (1,00-0,04)

za sklop s toplotnoizolacijskimi ploščami z ravnimi robovi in odprtim kritjem (drugo kot to omenjeno v primeru (a)).

Zapisano pomeni, da v primeru, kadar $f \cdot x = 0,03$ (0,75-0,04), steče skozi stike toplotnoizolacijskih plošč s stopničastimi ali pero-utor robovi 75% deleža padavin p , ki dosežejo sloj hidroizolacije, in v primeru $f \cdot x = 0,04$ (1,0-0,04) to pomeni 100% količino padavin p , ki se preceje skozi stike TI z ravnimi robovi na sloj HI. V slednjem primeru vsa količina padavin p , ki pade na streho, steče skozi stike toplotnoizolacijskih plošč XPS konstrukcijskega sklopa na sloj hidroizolacije in predstavlja najvišjo možno vrednost $f \cdot x$, ki nastopa kot spremenljivka dela enačbe (17).

Če proizvajalec želi podati nižje vrednosti $f \cdot x$ kot podane zgoraj, se te določijo v skladu s podpoglavjem 5.6.1.3. iz ETAG 031-1 (v nadaljevanju smernica), ki pravi, da se v primeru manjših vrednostih produkta $f \cdot x$ kot so navedene, te podajo v skladu s Prilogo C iz smernice. Ta priloga določa metodo preizkusa za določanje pretoka vode skozi sklop obrnjene strehe, uporabljene na prodnatem nasutju strehe. Določitev deleža pretoka se izvede z merjenjem

količine vode, ki prehaja skozi določen sklop pri različnih stopnjah pretokov. S preizkusom dobimo vrednosti faktorja odvodnjavanja f , računane s povprečnimi deleži pretoka vode. Ta se določa kot razmerje med povprečnim pretokom vode, zbrane v žlebu, iz sloja hidroizolacije v primerjavi s celotnim (skupnim) pretokom skozi streho (to je skupen delež pretoka po ločilnem oz. filtrskem sloju ter vrhu toplotnoizolacijske plošče skupaj z deležem pretoka, ki se preceje skozi stike toplotnoizolacijskih plošč, tekoče po vrhu hidroizolacijskega sloja). Pri preizkusu se beležijo sledeče vrednosti:

W_T = celoten (skupni) pretok vode skozi streho ($W_1 + W_2$)

W_1 = delež pretoka vode, tekoče po sloju hidroizolacije, zbrane v žlebu

W_2 = delež pretoka vode, zbrane v žlebu, iz vodo-odvajalnega ločilnega sloja/filtrskega sloja in gornje površine toplotne izolacije

Analiza postopka izvedbe preizkusa za določitev faktorja f v smernici [67] temelji na naslednjih predpostavkah:

Za vrednost kombinacijskega faktorja $f \cdot x = 0,04$, dano v ISO 6946 (Dodatek D.4.3), navaja razlago, da v najslabšem primeru (toplotna izolacija z ravnimi robovi) velja f (drenažni faktor) = 1 in x je konstanta $0,04 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, ki temelji na toplotni kapaciteti vode ($4190 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), gostoti vode ($1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) in korekcijskem faktorju, ki temelji na karakteristiki nasičenega pretoka $0,864 \text{ mm} \cdot \text{dan}^{-1}$. Karakteristike nasičenega toka se nanašajo na enostavnost, da voda lahko prehaja skozi nasičeno strešno konstrukcijo.

$$x = 4190 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot (0,864 / (1000 \cdot 86400)) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 0,04 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

x = faktor povečanja toplotnih izgub zaradi padavin [$\text{W} \cdot \text{dan} / \text{m}^2 \text{K} \cdot \text{mm}$] / padavinski faktor materiala

f = drenažni faktor, ki podaja delež padavin, ki dosežejo hidroizolacijsko plast / faktor odvodnjavanja

W_1 / W_T = povprečni pretok vode, zbran v žlebu, iz sloja hidroizolacije / skupni pretok skozi streho

Torej je:

$$f = \frac{W_1}{W_1 + W_2} \quad \text{ali} \quad \frac{W_1}{W_T} \quad (18)$$

Faktor f je v smernici [67] prikazan kot podatek, ki nam poda odstotek padavin, ki pade na HI skozi stike TI. Tako je definiran tudi v standardu ISO 6946. V primeru, da je kombinacijski faktor $f \cdot x = 0$ in x konstanta (predpostavka po smernici), to pomeni $f = 0$. Glede na enačbo (18) si slednje razlagamo kot sledeče: skozi stike TI na sloj HI ne steče noben delež padlih padavin, kar se lahko dogodi na dobro zasnovani konstrukciji z nameščenim primernim ločilnim slojem, položenim nad toplotnoizolacijski material (XPS plošče), in popolno izpeljanimi detajli na strehi.

V primeru ravnih stikov ($f \cdot x = 0,04$) toplotnoizolacijskih XPS plošč steče skozi te večji delež padavin p kot v primeru stopničastih robov ($f \cdot x = 0,03$) ali v primeru uporabe vodo-odvajalnega ločilnega sloja ($f \cdot x = 0$), kot si to razlagamo po opisu iz smernice. Večji delež precejanih padavin med sloja TI in HI pomeni močnejše ohlajanje sistema strehe in posledično večje izgube toplote skozi konstrukcijski sklop obrnjene in kombinirane strehe, ob neupoštevanju potreb po dodatni debelini toplotnoizolacijskega materiala. Z namenom

ohranitve projektirane toplotne prehodnosti U konstrukcijskega sklopa (KS) zmanjšamo predvideno povišano toplotno prehodnost KS na račun dodatnih izgub toplote skozi sistem zaradi precejanja vode med TI in HI, kar dosežemo s povečano prvotno projektirano debelino toplotnoizolacijskega sloja XPS.

Ker v smernici in standardu ni definirano kaj in kdaj velja, ko vrednost $f \cdot x$ doseže vrednost 0, smo pregledali članek, ki se tega loteva podrobneje.

8.2.2 Raziskave na obrnjeni ravni strehi z nameščenim ločilnim slojem

V članku »*Requirements of inverted roofs with a drainage layer*« ([56]) se lotevajo določitve faktorja $f \cdot x$ na drugačen način. Povezujejo ga z vlogo ločilnega sloja v obrnjeni strehi.

Veličina f se opisuje kot del količine vode, ki v odvisnosti od vodonepropustnosti toplotnoizolacijskega sloja, njegovih oblik stikov ali obstoječega vodo-odvajalnega ločilnega sloja na toplotnoizolacijskem sloju steče pod sloj toplotne izolacije na hidroizolacijo.

V primeru enoslojne toplotnoizolacijske plošče iz ekstrudiranega polistirena (XPS), z ravnimi stiki in vodopropustnim konvencionalnim filcem ter z nasutjem prodca, je velikost drenažnega faktorja $f \cdot x = 0,04$, kot to navaja standard ISO 6946 (glej Slika 4). V odvisnosti od razreda in namestitve ločilnega sloja nad toplotno izolacijo, se lahko drenažni faktor zreducira, zmanjša [$f \cdot x \rightarrow 0$].

V članku [56] se opisuje zmanjšanje ΔU_r -vrednosti kot konstruktivno in kot tako v odvisnosti od konstrukcijskih detajlov, kot so:

- način, kako so toplotnoizolacijske plošče nameščene (čelni ravni stiki ali zamaknjeni – stopničasti stiki in stiki pero-utor)
- dodaten drenažni oziroma ločilni sloj, nameščen na vrh toplotne izolacije.

V članku [56] so objavljene raziskave vedenja toplote in vlage obrnjenih streh z ločilnim slojem. Del izvajanja raziskovanja in vrednotenja preiskav obrnjenih streh je bil opravljen s pomočjo različnih šol, univerz in inštitutov. Rezultati študij so združeni v članku in so za lažje branje v tem članku neposredno povzeti.

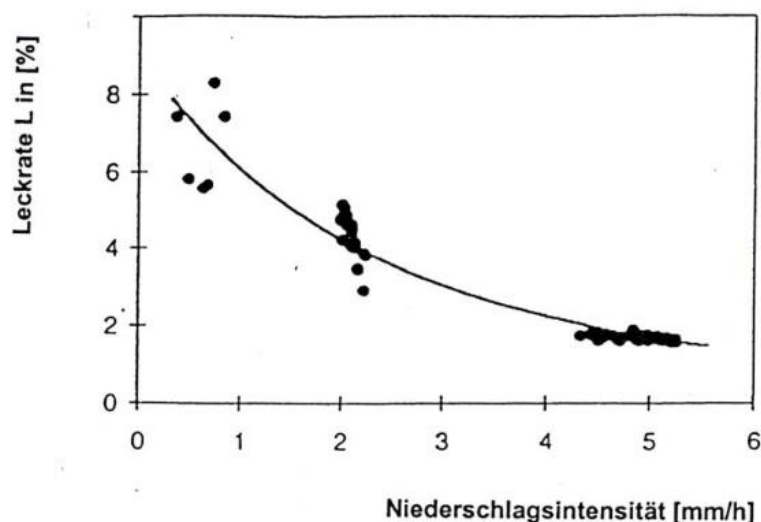
Obnašanje drenaže z neugodnimi podnebnimi robnimi pogoji je raziskoval Inštitut CSTB (Francija). Ta je izvedel različne teste za odobritev obrnjenih streh z nameščenim ločilnim slojem. V laboratoriju je bilo pod različnimi konstruktivnimi pogoji analizirano obnašanje odvajanja oziroma stopnja propustnosti (v obliki razmerja med odvajano padavinsko vodo pod toplotno izolacijo in nad, izraženo v procentih).

Stopnja uhajanja/propustnosti (z oznako L , %) je opredeljena kot delež padavin, ki se izlivajo pod toplotno izolacijskim slojem, in padavin, ki se odvedejo na nasprotni strani, nad toplotno izolacijo. Da se naredi presoja obnašanja toplote pri obrnjeni strehi, ki vključuje odvajalno ločilno plast, je potrebno poznati stopnjo propustnosti [69]. Namen raziskave francoskega inštituta je bila analiza vpliva načina vgradnje ločilnega sloja na robna območja strehe [56]. Za nas pomemben podatek je, koliko vpliva vključitev ločilnega sloja v sistem na faktor $f \cdot x$, na osrednjem območju strehe.

Za okvire raziskave na tehnični univerzi TU Berlin, da določi stopnjo puščanja/propustnosti (L), je eksperimentalna streha grajena z ločilnim slojem namesto s klasično tkanino filca. Ta plast je pritrjena preko vrha prodnate plasti v obmejnem območju [56].

Preglednica 11: Stopnja propustnosti L (%) v odvisnosti od intenzitete padavin, merjene na testni strehi (mm/h) (vir: [56])

rain intensity [mm/h]	Leakage rate [%]
ca. 1	5.8 – 8.2
ca. 2	2.4 – 5.6
ca. 4.5 – 5.5	1.8



Slika 8: Stopnja propustnosti L (%) v odvisnosti od intenzitete padavin, merjene na testni strehi (mm/h) (vir: [69])

Študije prikazujejo v kolikšni meri je stopnja puščanja (L) odvisna od intenzivnosti padavin. Stopnja se očitno zmanjšuje z naraščajočo količino padavin, saj se velik del te vode hitro odvede na vrhu ločilnega sloja in tako ne vodi do sorazmerno višjih toplotnih izgub.

S stopnjo propustnosti L je povezana tudi količinska opredelitev faktorja $f \cdot x$. Velikost toplotnih izgub je po navedbah članka [56] odvisna od količine padavin in stopnje propustnosti L (%). Po pretvorbi se za $f \cdot x$ se lahko izberejo vrednosti iz sledeče tabele:

Preglednica 12: Privzete vrednosti za faktor $f \cdot x$ v odvisnosti od stopnje puščanja L (vir: [56])

Leak rate L [%]	Factor $f \cdot x$ [(W day)/(m ² ·K·mm)]
1 → Water draining separation layer drawn up at the edge construction	0.0005
2 → High rainfall with water draining separation layer	0.0010
5 → Water draining separation layer at flat edge construction	0.0024
8 → Low rainfall with water draining separation layer	0.0038
83 → Butt-jointed insulation slabs with non-woven filter material* *requirement according to EN ISO 6946 Annex D.4	0.0400
100 → Total runoff upon the waterproofing membrane	0.0481

Glede na rezultate raziskav, prikazane v Preglednici 11 in 12, lahko povemo sledeče: Z večjo intenziteto padavin se stopnja propustnosti (L) manjša; manjši stopnji L pripada manjši faktor $f \cdot x$, in obratno. Manjša je intenziteta padavin, večja je stopnja propustnosti skozi sistem na sloj hidroizolacije, večji je faktor $f \cdot x$. Glede na dobljene podatke raziskave vidimo, da faktor $f \cdot x$ ni odvisen samo od vrste stikov toplotnoizolacijskih plošč, temveč tudi od vrste materiala sloja, ki je nanjo nameščen, in intenzivnosti padavin (ki padejo na konstrukcijski sklop). Podatkov intenzivnosti padavin nismo pridobili, saj so te spremenljive narave, tako da smo se osredotočili na pogoja vrste stikov XPS plošč ter vrste namestitve zaščitnega sloja nad XPS ploščami, izpostavljenimi podnebnim dejavnikom.

Zahteve (vodo-odvajalnega) ločilnega sloja obrnjene strehe za izpolnjevanje vrednosti popravka koeficienta toplotne prehodnosti $\Delta U \rightarrow 0$ [W/m²·K]

Rezultati opravljenih izračunov za nekatere evropske regije kažejo znatne dodatne debeline toplotnoizolacijskega sloja, ki morajo biti dodane k celotni strešni konstrukciji. Na podlagi analize je popravek vrednosti $\Delta U \sim 0$ [W/(m²·K)] za toplotni tok obrnjene strehe lahko dosežen ob zmanjšani stopnji propustnosti L s pomočjo uporabe drenažno-ločilnega sloja. Ta sloj mora izpolnjevati različne zahteve, ki jih je potrebno oceniti na standardiziranih testih gradbenih materialov. Temu je osnova EN 13859-1:2005 (tema: podložne tesnilne folije) [56] in [70].

V osnovi ima v nalogi obravnavan konstrukcijski sklop obrnjene (in kombinirane) ravne strehe med toplotno izolacijo in nasutjem iz prodca nameščen sloj iz filca, ki ima vlogo zaščitnega sloja toplotne izolacije. V primerih, kadar je nad TI nameščen filc, uporabimo za $f \cdot x$ vrednosti 0,04 ali 0,03, odvisno od izbire XPS plošč (različni stiki/robovi). Ko pa v sistemu nadomestimo filc z vodo-odvajalnim ločilnim slojem, ki mora za opravljanje svoje funkcije izpolniti določene zahteve kot gradbeni material, lahko rečemo, da $f \cdot x$ doseže vrednost 0.

Preglednica 13: Kombinacijski faktorji $f \cdot x$, uporabljeni v študiji

Faktor $f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	Vrsta stikov XPS izolacije
0	Nameščen vodo-odvajalni ločilni sloj (?)
0,03	Robovi s stopničastim preklopom, robovi pero-utor ⁽⁷⁾
0,04	Ravni robovi

Na podlagi prebranih člankov smo se za uporabo v nalogi odločili za kombinacijske faktorje $f \cdot x$, izpisane v Preglednici 13. Vrednosti faktorja $f \cdot x$ 0,04 in 0,03 [(W·dan)/(m²·K·mm)] predstavljata konstrukcijski sklop obrnjene ravne strehe, z enoslojno toplotno izolacijo, krito s filcem in nasutjem prodca, vendar z različnimi stiki toplotnoizolacijskih plošč. V primeru vrednosti 0,04 izhajamo iz priporočila standarda ISO 6946 (za ravne robove), ki daje najvišjo možno vrednost popravka $k \Delta U$, in v primeru vrednosti 0,03 iz usmeritve smernice ETAG 031-1, kjer je vrednost navedena za primere toplotnoizolacijskih plošč s stopničastimi stiki (tudi pero-utor stiki). Vrednost $f \cdot x \sim 0$ [(W·dan)/(m²·K·mm)] predstavlja konstrukcijski sklop, kateremu namesto filca vgradimo vodo-odvajalni ločilni sloj, ki mora dosegati določene zahteve po lastnostih materiala (določene po EN 13859-1:2005), da lahko zagotovimo njegovo funkcijo odvajanja vode iz strehe in preprečevanja precejanja vode med stike toplotnoizolacijskih plošč ter na hidroizolacijski sloj; na ta način dosežemo skladnost s popravkom vrednosti koeficienta toplotne prehodnosti $\Delta U \rightarrow 0$.

⁽⁷⁾ Robovi pero-utor niso del naše analize, saj le-ti redkokdaj nastopajo v uporabi v praksi.

Popravek $\Delta U \sim 0$ pri obrnjenih strehah je možen, kot smo omenili, pri zmanjšani vrednosti stopnje propustnosti (L) in s pomočjo namestitve vodo-odvajalno ločilnega sloja (med TI in nasutjem). V nalogi podamo pogoj, da je intenziteta padavin na vseh obravnavanih lokacijah enaka in ni predmet naše obravnave!

Ločilni sloj mora tako izpolniti številne zahteve, ki morajo biti določene na podlagi standardiziranih preiskav gradbenih materialov.

Uporaba ISO 6946 na obrnjenih strehah z območji močnih padavin vodi pri neuporabi drenažno-ločilnega sloja do izračunov toplotnih izgub (v času ogrevalne sezone), ki jih ni več mogoče smiselno nadomestiti s povečanimi debelinami toplotnih izolacij. Namestitev in uporaba primerne ločilnega sloja bo v prihodnosti več kot potrebna.

8.3 Količnik $(R_1/R_T)^2$ – obrnjena ali kombinirana ravna streha?

V enačbi (17) je oznaka za toplotni upor sloja toplotne izolacije, nameščene nad sloj hidroizolacije, dana z R_1 . Ta je pomensko ista kakor oznaka R_{XPS} v Poglavlju 6. Prav tako to velja za celotni toplotni upor konstrukcijskega sklopa R_T , ki je v Poglavlju 6 označen kot R_{KS} . Pri predstavitvi obravnavanih tipov obrnjene in kombinirane ravne strehe smo že govorili o razmerju (R_{XPS}/R_{KS}) oz. (R_1/R_T), le da ga sedaj omenjamo s funkcijo kvadrata $(R_1/R_T)^2$, ker je tako predstavljen v enačbi (17) popravka k toplotni prehodnosti.

Razmerje toplotnih uporov R_1 , izpostavljene toplotne izolacije XPS, in R_T , konstrukcijskega sklopa pred uporabo popravka ΔU , nam podaja delež toplotne izolacije, ki nastopa v sestavi konstrukcijskega sklopa, glede na celoten sistem. Večja ko je vrednost razmerja, večji delež toplotne izolacije je vgrajen v sistem. To si lahko razložimo z enačbo (3), kjer sta toplotni upor R in debelina d materiala premo sorazmerna. Večji ko je R , večji je d in obratno (ob pogoju enake toplotne prevodnosti materiala λ). V nadaljevanju naloge opisano razmerje obenem prikazuje tudi razmerje med obrnjeno in kombinirano ravno streho v obliki deleža toplotne izolacije XPS v sestavi strehe (glej Grafikon 3).

8.4 Izsledki analiz in diskusija - Vpliv precejanja vode med stike TI na HI

V nalogi predstavljamo vpliv dveh popravkov, in sicer prvič zaradi izgub toplote v sistemu, nastalih zaradi vode, ki teče skozi stike toplotne izolacije med toplotno izolacijo in hidroizolacijo in drugič zaradi možnosti povečanja vsebnosti vlage v toplotni izolaciji zaradi vpliva difuzije vodne pare. V tem podpoglavju obravnavamo prvi popravek (vpliv precejanja vode), med tem ko drugi popravek (vpliv možnosti povečanja vlage v toplotnoizolacijskem materialu) obravnavamo v Poglavlju 9.

V podpoglavju predstavljamo izračune in izsledke analiz popravka za obrnjene strehe, to je popravka k toplotni prehodnosti konstrukcijskega sklopa ravne strehe, v obliki preglednic in grafikonov. Izračuni in analize obrnjene ter kombinirane ravne strehe so predstavljeni ločeno. Glede na zahteve po popravku k U za obrnjene strehe, navedenim v dodatku D.4, standarda ISO 6946, prikazujemo rezultate izračunov na vrednostih popravkov k U , t.j. ΔU_r , in potrebnih (na novo izračunanih) celotnih (ali dodatnih) debelin $[d_{novi}]$ toplotnoizolacijskega materiala v odvisnosti od faktorjev, ki nastopajo v izrazu (17).

Rezultate vpliva dodatnih toplotnih izgub prikazujemo v obliki najmanjše zahtevane celotne debeline toplotne izolacije sklopa ravne strehe, izračunane za zahteve po različnih toplotnih prehodnostih U konstrukcijskega sklopa, skupaj z upoštevanjem popravka ΔU_r . Izhajamo iz že izračunanih potrebnih najmanjših debelin toplotne izolacije konstrukcijskega sklopa, h

katerim prištejemo vpliv dodatnih toplotnih izgub (ΔU_r) zaradi možnosti precejanja vode skozi sistem strehe, ki ga prikažemo v obliki zahtev po dodatnih debelinah toplotnoizolacijskega sloja. Torej, popravek ΔU_r posredno vpliva na potrebe po povečani debelini toplotne izolacije.

Pri izračunih smo si pomagali z računalniškim programom, narejenim v okolju Microsoft Excel. S programom smo izračunali in razvrstili podatke glede na zahtevane (projektirane) vrednosti U konstrukcijskega sklopa ravne strehe. Za vsak U smo zbrali podatke (ΔU oz. ΔU_r in d_{novi}) v tabele. V nadaljevanju so prikazani izračuni za zahteve po toplotni prehodnosti $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ in $U=0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Rezultati za nižje zahteve po U so prikazani v **Prilogi D**.

8.4.1 Primer izračuna $\Delta U_r, U_c$ in d_{novi}

Popravek toplotne prehodnosti U konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe s projektirano $U_{max}=0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$

Konstrukcija obrnjene strehe sestoji iz AB, HI, TI ter nasutja prodca. V poglavju 6 smo prikazali izračunane najmanjše potrebne debeline toplotnih izolacij z znanim U . Ob upoštevanju U_{max} za ravne strehe, minimalna potrebna debelina toplotne izolacije XPS znaša vsaj 0,168 m. Potrebno debelino toplotnoizolacijskega sloja izračunamo z uporabo enačbe (8) toplotne prehodnosti U , vsote toplotnih uporov celotnega sistema po enačbi (5) in po enačbi toplotnega upora materiala (3). Pri izračunih toplotnih uporov zanemarimo ločilni sloj in sloj nasutja. Izračunana R_{XPS} (R_1) toplotne izolacije z znano deklarirano vrednostjo toplotne prevodnosti λ_D podaja vrednost najmanjše dovoljene debeline d_{XPS} .

Najvišja dovoljena toplotna prehodnost U konstrukcijskega sklopa ravne strehe je $0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Korigirano toplotno prehodnost U_c (lahko predstavlja dejansko merjeno vrednost) izračunamo po enačbi (13). Izračunana sprememba ΔU je razlika vrednosti med računano in »merjeno« U vrednostjo konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe.

Računamo ΔU_r (ali ΔU , po enačbi (15)), ki pomeni spremembo (v absolutni ali odstotkovni vrednosti) toplotne prehodnosti KS obrnjene (pa tudi kombinirane) ravne strehe.

Preglednica 14: Uporabljeni podatki za izračune $\Delta U_r, U_c$ in d_{novi}

	Simbol	Enota	Vrednost
Znani podatki	U	$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$	0,20
	R_T	$\text{m}^2\cdot\text{K/W}$	5,00
	R_1	$\text{m}^2\cdot\text{K/W}$	4,6578
	$(R_1/R_T)^2$	-	0,8678
	d_{XPS}	m	0,168
	λ	$\text{W/m}\cdot\text{K}$	0,036
Izberemo	ρ	mm/dan	4,1970 (Ljubljana-Bežigrad)
	$f \cdot x$	$(\text{W}\cdot\text{dan})/(\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm})$	0,04
Računamo	ΔU_r	$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$	0,1457
	U_c	$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$	0,0543
	d_{novi}	m	0,6505

Po enačbi (17), po kateri izračunamo, koliko je dejanski U večji zaradi precejanja in odtekanja vode med toplotnoizolacijske plošče na hidroizolacijo, torej velja, da so p , $f \cdot x$ in $(R_i/R_T)^2$ premo sorazmerni ΔU_r . Za potrebe izračunov potrebujemo še enačbo (16).

Računamo povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja (XPS) in porast toplotne prehodnosti:

$$\Delta U_r = 4,1970 \cdot 0,04 \cdot 0,8678 = \underline{0,1457 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} \quad (72,85\% \text{ od } U)$$

Standard ISO 6946 ob definiciji toplotne prehodnosti navaja, da popravka (ΔU) za toplotno prehodnost U ni potrebno upoštevati, če je le-ta manjši od 3% od U . Torej velja:

- $U_c = \frac{1}{R_T} + \Delta U_r$ (če ΔU_r več kot 3% od $1/R_T$)
- $U_c = \frac{1}{R_T}$ (če ΔU_r manj kot 3% od $1/R_T$)

Ker je vrednost ΔU_r več kot 3% od ($1/R_T = U$), upoštevamo alinejo (1), le da na mestu (+) predznaka uporabimo (–) predznak; $U_c = 1/R_T - \Delta U_r$ [W/m²·K]. Slednja predstavlja našo izkustveno enačbo, katere izbira in pomen sta razložena v nadaljevanju naloge.

Izkustvena enačba

Ker govorimo o izgubah na sistemu, predznaku ΔU_r v enačbi (13) oz. (16) pripišemo (–) predznak.

Enačba

$$U_c = \frac{1}{R_T} - \Delta U \tag{19}$$

Oziroma

$$U_c = U - \Delta U, \text{ kjer } U = \frac{1}{R_T},$$

je izkustvena enačba, kar pomeni, da temelji na izkustvenem kriteriju oziroma izkustvenem spoznanju [71].

V Prilogi D standarda ISO 6946, ki vsebinsko zajema popravke k toplotni prehodnosti, je podana popravljena (korigirana) toplotna prehodnost U_c z dodatkom popravka ΔU po enačbi (13) kot:

$$U_c = U + \Delta U.$$

S tem, ko prištejemo vrednost izgube ΔU k zahtevani/pričakovani toplotni prehodnosti U sistema, se poveča toplotna prehodnost konstrukcijskega sklopa. Ker je toplotna prehodnost obratno-sorazmerna s toplotnim uporom, se le-ta na račun povečanja U zmanjša. Zmanjšan toplotni upor sistema se občuti na zmanjšanem toplotnem uporu toplotne izolacije, ki predstavlja našo spremenljivko, saj se z njo zaporedno vezani toplotni upori ostalih slojev sistema ohranjajo. Povečan toplotni upor toplotne izolacije pa z ohranitvijo toplotne prevodnosti materiala rezultira manjše (celotne) debeline le-teh kot v primeru prvotnih izračunov potreb po najmanjših dovoljenih debelinah izolacije (v odvisnosti od U). Slednje je razumljivo, saj se z namestitvijo manjših debelin toplotne izolacije poviša toplotna prehodnost konstrukcijskega sklopa, kar pa preseže vrednosti naših zahtev po toplotnih prehodnostih konstrukcijskega sklopa.

Ob predvidevanju napačne izbire smeri izračunov, smo poizkusili dobljene manjše vrednosti debeline toplotne izolacije upoštevati kot seštevek v obliki dodatne vrednosti k prvotno zasnovani debelini izolacije, vendar se izračuni niso izšli. Ti vodijo v napačno smer, saj se vrednosti potrebne (celotne) debeline izolacije z večanjem povprečne količine padavin p ter faktorjem $f \cdot x$ (to je z večanjem ΔU) zmanjšujejo, kar pa ni smiselno. Glede na to, da imamo povečano količino padavin v nekem kraju ali pa odprte stike med ploščami toplotne izolacije, sklepamo na večje izgube skozi sistem in zato na potrebe po večjih debelinah toplotne izolacije v sistemu, da zagotovimo primerno toplotno prehodnost oziroma izolativnost sistema.

Za potrebe raziskovanja vpliva popravka za obrnjene strehe, navedenega v standardu ISO 6946, na debeline toplotne izolacije v sistemu obrnjenih streh nismo zasledili postopka kot tudi ne primera izračuna, ki bi razjasnil potek upoštevanja popravka k U v obliki izračunov povečanih debelin toplotnoizolacijskega sloja na račun dodatnih izgub toplote skozi sistem obrnjene strehe.

Na podlagi opisanega razmišljanja in s pomočjo grafikona potrebnih debelin toplotnoizolacijskega sloja obrnjenih streh za različne drenažne faktorje $f \cdot x$ vira [56] ter izračunov smo se odločili za spremembo predznaka v enačbi (13).

Ker govorimo o izgubah, spremenimo predznak (+) pred ΔU v negativni (-) predznak. Tako sedaj velja, da se za dosego zahtevanega U_{KS} od le-tega odštejejo izgube toplote oziroma spremembe toplotne prehodnosti sistema ΔU_r zaradi upoštevanja vplivov precejanja vode skozi sistem. Dobimo U_c , z nižjo vrednostjo od U_{KS} . S pomočjo korigiranega U_c v nadalje s pomočjo istih enačb in postopka kot za U izračunamo celotno povečano debelino toplotne izolacije, ki upošteva (in krije) tudi izgube na sistemu, in s katero dosežemo željen U sistema. V nadaljevanju prikazujemo potek izračunov:

$$U_c = 0,20 - 0,1457 = 0,0543 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Zanima nas koliko dodatne oziroma celotne nove debeline toplotne izolacije potrebujemo za namestitvev le-te v sistem, da z njo zadostimo vplivu dodatnih toplotnih izgub v obliki popravka ΔU_r in hkrati dosežemo željeno toplotno prehodnost U ?

Z vrednostjo U_c računamo novo potrebno celotno debelino toplotne izolacije v sistemu [d_{novi}].

Predpostavimo, da se sprememba toplotnega upora toplotne izolacije dogodi na račun spremembe debeline toplotne izolacije XPS:

$$(1/U_c) - R_{s,i} - R_{s,e} - \Sigma R = R_{XPS} \quad (20)$$

oziroma

$$R_c - R_{ostali} = R_{XPS} \quad (21)$$

Kjer

$$R_c = (1/U_c)$$

R_{ostali} ... Vsota toplotnih uporov vseh slojev, brez toplotnega upora toplotne izolacije

$$d_{novi} = R_{XPS} \cdot \lambda_{XPS} \quad (22)$$

$$R_{XPS} = (1/0,0543) - 0,3422 = 18,416 - 0,3422 = 18,074 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$d_{novi} = 18,074 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \cdot 0,036 \text{ W/m} \cdot \text{K} = 0,6505 \text{ m}$$

Prvotno izračunana debelina toplotne izolacije v sistemu obrnjene strehe z upoštevanjem popravka k obrnjenim streham zaradi dodatnih izgub toplote skozi naraste iz načrtovanih 17 cm (velja za zahtevek U_{max}) na 65 cm. Izračunana vrednost velja za območje načrtovanja izgradnje objekta v Ljubljani – vrednosti debelin se razlikujejo glede na območje, kjer je lociran objekt, vrste toplotnoizolacijskih XPS plošč ter željene toplotne prehodnosti strehe U .

Pri tem ne smemo pozabiti na izračun nove potrebne debeline in teže (na m^2 površine) nasutja prodca v primeru povečane debeline toplotne izolacije. Izračunamo ju po enačbah (9), (10) in (11).

Izračuni in analize na debelinah toplotnih izolacij so narejene samo za primere XPS izolacije. Ta je izpostavljena zunanjih vplivom zaradi lege nad hidroizolacijo. Zaradi tega je konstrukcijski sklop ravne strehe izpostavljen večjim izgubam toplote. V primeru kombiniranih ravnih streh velja isto, s tem da je v spodnjem delu pod hidroizolacijo nameščen še dodaten toplotnoizolacijski sloj iz EPS, ki pa je zaščiten pred vdorom vode s hidroizolacijo, nameščene nad njo. Zaradi tega skozi EPS ne prihaja do toplotnih izgub zaradi izpostavljenosti vodi in vlagi kakor pri XPS, ki je predmet naše analize.

Na naslednjih straneh prikazujemo izračunane vrednosti celotnih povečanih debelin toplotnih izolacij zaradi upoštevanja popravka ΔU_r k U . Ločeno predstavljamo izračune za obrnjene in kombinirane ravne strehe. Ostali rezultati so prikazani v preglednicah **Prilog D, E in F**.

8.4.2 Obrnjena ravna streha

Izračuni za $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

(z različnimi drenažnimi faktorji ($f \cdot x$) za različne kraje Slovenije (p))

Na podlagi enačbe (17) izhajajo, v odvisnosti od povprečnih količin padavin v času ogrevalne sezone [p] in drenažnega faktorja [$f \cdot x$], različni vplivi na debelino toplotne izolacije obrnjene ravne strehe, za doseg predpisane toplotne prehodnosti U .

Preglednica 15: Rezultati za doseg $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe z drenažnim faktorjem $f \cdot x = 0 \text{ [(W}\cdot\text{dan)/(m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm)]}$

$U_{max} \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$	0,20	$d \text{ [m]}$	$\Delta U \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$	$U_c \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$	$\Delta U/U_{ks} \text{ [%]}$	$U_c/U_{ks} \text{ [%]}$	$d_{novi} \text{ [m]}$
$U_{ks} \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$	0,20						
$f \cdot x \text{ [(W}\cdot\text{dan)/(m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm)]}$	0	Kraj	Količina padavin $p \text{ [mm/dan]}$				
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,16768	0	0,2	0	100	0,16768
Maribor - Tabor	2,7923	0,16768	0	0,2	0	100	0,16768
Portorož - letališče	3,2598	0,16768	0	0,2	0	100	0,16768
Novo mesto	3,3977	0,16768	0	0,2	0	100	0,16768
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,16768	0	0,2	0	100	0,16768
Kočevje	5,1094	0,16768	0	0,2	0	100	0,16768
Bilje	5,4153	0,16768	0	0,2	0	100	0,16768
Postojna	5,4628	0,16768	0	0,2	0	100	0,16768
Rateče	5,8404	0,16768	0	0,2	0	100	0,16768
Lesce	6,0639	0,16768	0	0,2	0	100	0,16768

Preglednica 16: Rezultati za doseg $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe z drenažnim faktorjem $f \cdot x = 0,03 \text{ [(W}\cdot\text{dan)/(m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm)]}$

Uks [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	0,20	d [m]	ΔU [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	Uc [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	$\Delta U/\text{Uks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
f·x [$\text{(W}\cdot\text{dan)/(m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm)}$]	0,03						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,16768	0,05469	0,14531	27,34678	72,65322	0,23543
Maribor - Tabor	2,7923	0,16768	0,07269	0,12731	36,34721	63,65279	0,27046
Portorož - letališče	3,2598	0,16768	0,08486	0,11514	42,43243	57,56757	0,30036
Novo mesto	3,3977	0,16768	0,08845	0,11155	44,22735	55,77265	0,31042
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,16768	0,10926	0,09074	54,63235	45,36765	0,38444
Kočevje	5,1094	0,16768	0,13302	0,06698	66,50903	33,49097	0,52514
Bilje	5,4153	0,16768	0,14098	0,05902	70,49106	29,50894	0,59767
Postojna	5,4628	0,16768	0,14222	0,05778	71,10876	28,89124	0,61071
Rateče	5,8404	0,16768	0,15205	0,04795	76,02428	23,97572	0,73844
Lesce	6,0639	0,16768	0,15787	0,04213	78,93335	21,06665	0,84211

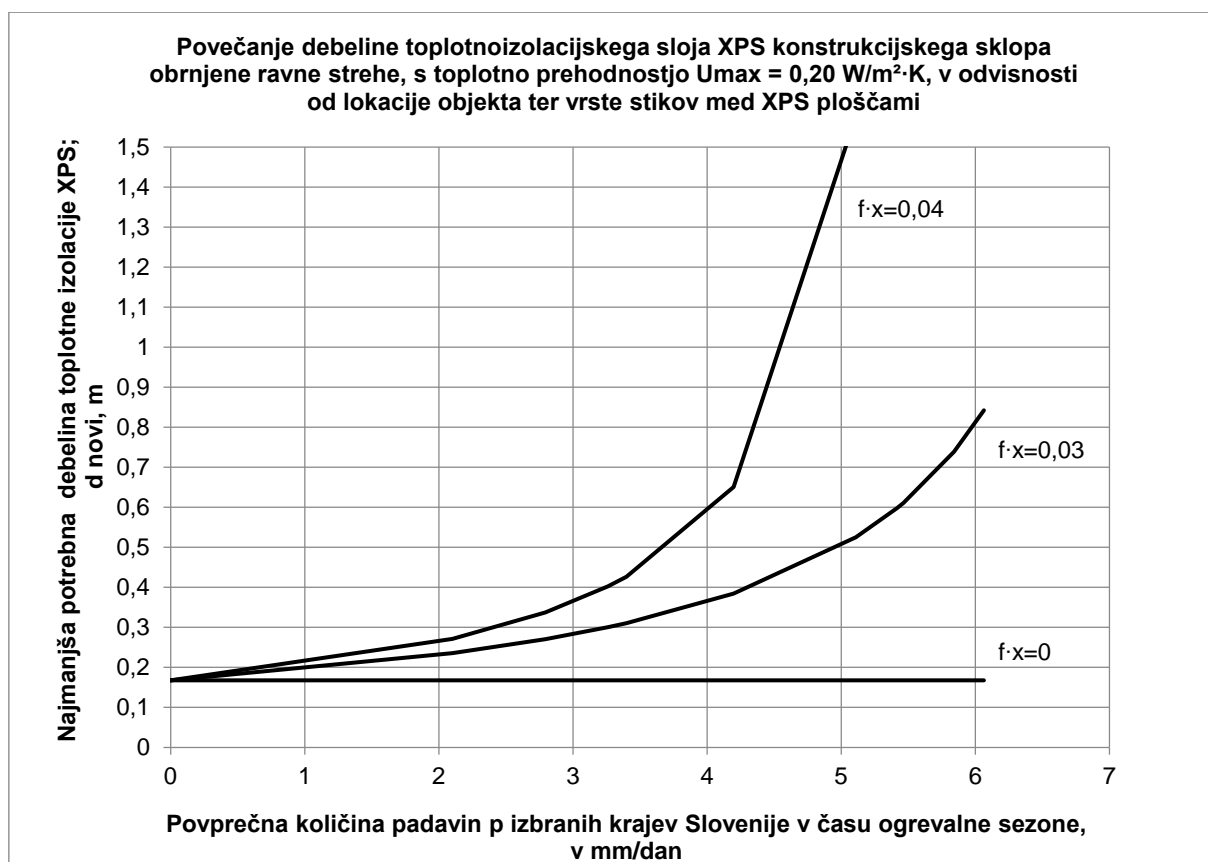
Preglednica 17: Rezultati za doseg $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe z drenažnim faktorjem $f \cdot x = 0,04 \text{ [(W}\cdot\text{dan)/(m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm)]}$

Uks [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	0,20	d [m]	ΔU [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	Uc [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	$\Delta U/\text{Uks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
f·x [$\text{(W}\cdot\text{dan)/(m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm)}$]	0,04						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,16768	0,07292	0,12708	36,46237	63,53763	0,27098
Maribor - Tabor	2,7923	0,16768	0,09693	0,10307	48,46295	51,53705	0,33694
Portorož - letališče	3,2598	0,16768	0,11315	0,08685	56,57658	43,42342	0,40220
Novo mesto	3,3977	0,16768	0,11794	0,08206	58,96980	41,0302	0,42638
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,16768	0,14569	0,05431	72,84313	27,15687	0,65050
Kočevje	5,1094	0,16768	0,17736	0,02264	88,67870	11,3213	1,57760
Bilje	5,4153	0,16768	0,18798	0,01202	93,98808	6,011916	2,98173
Postojna	5,4628	0,16768	0,18962	0,01038	94,81168	5,18832	3,45701
Rateče	5,8404	0,16768	0,20273	-0,00273	101,36570	-1,3657	-13,19235
Lesce	6,0639	0,16768	0,21049	-0,01049	105,24447	-5,24447	-3,44451

V preglednicah 15, 16, 17 in 18 so ob znani zahtevi po U podani podatki povprečnih količin padavin p izbranih krajev, v mm/dan, od najmanjše do največje vrednosti, vrednosti faktorja $f \cdot x$ (0; 0,03; 0,04) in glede na te izračunana odvisna spremenljivka d_{novi} - nova potrebna celotna debelina toplotnoizolacijskega sloja XPS. Povečane debeline toplotne izolacije obrnjene strehe, potrebne za izpolnitev toplotne prehodnosti $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ in zahtevka po upoštevanju vpliva dodatnih toplotnih izgub, nastalih zaradi precejanja padavinske vode skozi sistem, so prikazane na Grafikonu 4.

Preglednica 18: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije obrnjene ravne strehe z različnimi drenažnimi faktorji $f \cdot x$ za izpolnjevanje U vrednosti $0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Kraj	$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
	Količina padavin p [mm/dan]	d novi [m]		
	0	0,16768	0,16768	0,16768
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,16768	0,23543	0,27098
Maribor - Tabor	2,7923	0,16768	0,27046	0,33694
Portorož - letališče	3,2598	0,16768	0,30036	0,40220
Novo mesto	3,3977	0,16768	0,31042	0,42638
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,16768	0,38444	0,65050
Kočevje	5,1094	0,16768	0,52514	1,57760
Bilje	5,4153	0,16768	0,59767	2,98173
Postojna	5,4628	0,16768	0,61071	3,45701
Rateče	5,8404	0,16768	0,73844	-13,1923
Lesce	6,0639	0,16768	0,84211	-3,44451



Grafikon 4: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije obrnjene ravne strehe z različnimi drenažnimi faktorji $f \cdot x$ za izpolnjevanje U vrednosti $0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Na abscisni osi x («Povprečne količine padavin p izbranih krajev Slovenije v času ogrevalne sezone, v mm/dan») so podane vrednosti povprečnih količin padavin p na dan, ki so aktualne za obdobje ogrevalne sezone 2013/2014 za izbrane kraje Slovenije. Vrednosti so izpisane v obliki celih števil [0,1,2,3,4,5,6,7; mm/dan].

Vrednosti na ordinatni osi y («Najmanjša potrebna debelina toplotne izolacije XPS; d_{novi} , v m») predstavljajo povečane debeline toplotne izolacije XPS, ki so omejene do vrednosti 1,5 m debeline. Zaradi preglednejšega prikaza podatkov smo v primeru zahtevka $U = 0,08 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ upoštevali vrednosti debelin do 2 m. Višje vrednosti od omenjenih so podane v preglednicah.

Na Grafikonu 4 ($d_{novi}(p, f \cdot x)$) prikazujemo linije povečanih projektiranih debelin toplotnoizolacijskih slojev. Te so odvisne od povprečne padle količine padavin p v času kurilne sezone 2013/2014 (vpliv lokacije) ter vrste stikov med toplotnoizolacijskimi ploščami (definirane z drenažnim faktorjem $f \cdot x$). Delež padavin, ki steče med stike plošč pod toplotno izolacijo (na hidroizolacijo) in s tem povzroči dodatne izgube toplote skozi konstrukcijski sklop, je odvisen od intenzivnosti padavin, vrste stikov na toplotnoizolacijskih ploščah in izbire oziroma namestitve ločilnega sloja.

Izgube U konstrukcijskega sklopa povrnemo s povečano potrebno minimalno (celotno) debelino na sistemu (oznaka d_{novi}), saj zmanjšanje U konstrukcijskega sklopa pomeni povečan toplotni upor R konstrukcijskega sklopa (po enačbi (8) sta U in R obratno sorazmerna) in ta posledično zahtevo po večjih debelinah XPS ($R_{XPS} = d_{XPS}/\lambda_{XPS}$).

Na grafikonu opazimo, da linije povečanih vrednosti debelin izhajajo iz prvotno izračunane najmanjše dovoljene debeline toplotne izolacije vrednosti 16,8 cm. Ta predstavlja osnovno debelino, ki mora biti nameščena v sistem strehe, ostale povečane vrednosti pa prikazujejo potrebno povečanje debelin na račun upoštevanja dodatno povzročenih izgub toplote v strehi preko upoštevanja popravka za obrnjene strehe.

V primeru $f \cdot x = 0$ glede na enačbo (17) velja: $\Delta U_r = 0$ oziroma $\Delta U = 0$. Pri tem se vrednosti prvotno izračunane najmanjše dovoljene debeline toplotne izolacije v obrnjeni strehi glede na količino padavin p ne spreminjajo.

Po izrazu iz ISO 6946: $U_c = U + \Delta U$ (oziroma $U_c = U - \Delta U$), v primeru $\Delta U = 0$ pomeni, da je popravljena toplotna prehodnost enaka prvotno zahtevani toplotni prehodnosti konstrukcijskega sklopa ($U_c = U$) in pričakovano povečana debelina d_{novi} (XPS) ostane enaka prvotno projektirani debelini d (XPS).

d_{novi} (XPS) = d (XPS) za vsak p (povprečna količina padavin na dan v času kurilne sezone 2013/2014, mm/dan) pri pogoju $f \cdot x = 0$. S pomočjo smernice [67] in članka [56] si ta rezultat razlagamo sledeče. Kot smo že omenili, faktor $f \cdot x = 0$ nastopi v primeru, ko je v konstrukcijski sklop obrnjene ravne strehe med sloj TI in nasutje proda nameščen primeren vodo-odvajalni ločilni sloj, ki mora za izpolnitev pogoja preusmerjanja vode zadoščati določenim zahtevam norm predpisanih standardov za lastnosti gradbenih materialov. Ta mora imeti funkcijo odvajanja vode iz strehe in v najboljšem primeru čim nižjo stopnjo propustnosti $L = 0\%$ oziroma $f = 0$. Kar pomeni, da se vsa padavinska voda, ki pade na streho, odvede v odvajalni oziroma drenažni sistem strehe in onemogoča padavinam vstop v streho, kjer bi se te potem nabirale na hidroizolaciji, hladile sistem strehe ter povzročile dodatne izgube toplote v njej.

Z večanjem faktorja $f \cdot x$ se povečuje potreba po večji (celotni) debelini toplotne izolacije, ob pogoju istega p . Debelina toplotnoizolacijskega materiala se povečuje tudi z izbiro krajev z višjo povprečno količino padlih padavin p v času ogrevalne sezone. Potek linij na grafu ni linearen, temveč je bliže kvadratni funkciji.

Z opravljenimi izračuni vpliva precejanja vode skozi stike toplotne se za določene regije Slovenije ugotavljajo znatne dodatne debeline toplotnih izolacij, ki bi se morale vgraditi v konstrukcijo za preprečitev dodatnih toplotnih izgub na sistemu obrnjene strehe oz. precejšnje povečanje prvotno projektirane debeline toplotne izolacije.

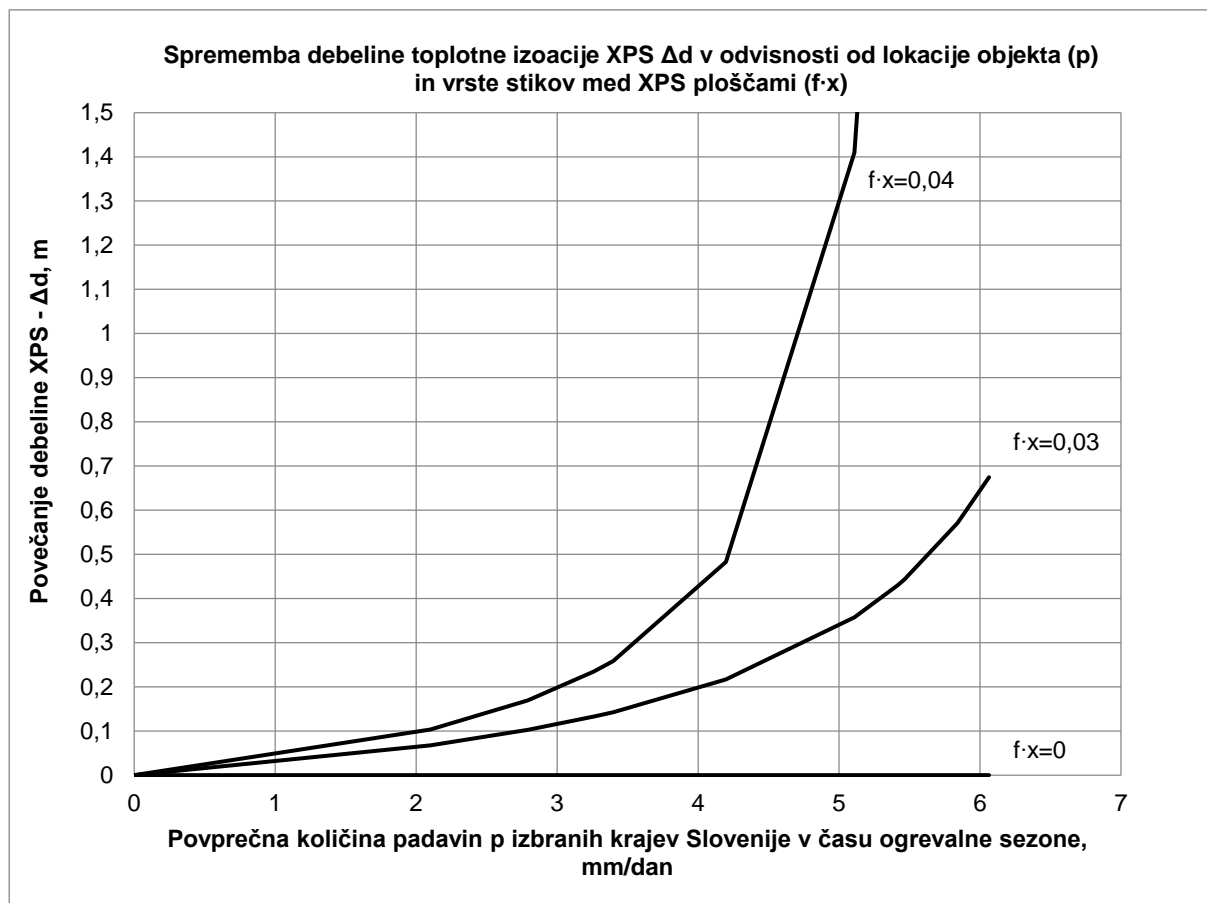
Na primeru kraja Murske Sobote - Rakičan se prvotna projektirana debelina toplotne izolacije (d) ob upoštevanju popravka k U poviša za 40% v primeru uporabe stopničastih robov XPS plošč ($f \cdot x = 0,03$) in za 62% v primeru uporabe XPS plošč z ravnimi stiki ($f \cdot x = 0,04$). V Ljubljani bi morali na strehi objekta povišati prvotno debelino toplotnoizolacijskih plošč v primeru izbire TI s stopničastimi robovi za 129% in z ravnimi robovi za 288%. V Postojni bi se prvotno zasnovana debelina XPS povišala za 264% v primeru uporabe XPS plošč s stopničastimi robovi, v primeru plošč z ravnimi robovi pa za več kot 1962%!

Visoki rezultati deleža povečanja debelin toplotne izolacije opozarjajo, da se v teh primerih takim izbiram XPS plošč izognemo in izberemo take, ki podajo nižje vrednosti povečanja debelin (kot na primer izbira XPS plošč s stopničastimi robovi namesto ravnih robov ali pa odločitev za namestitev vodo-odvajalnega ločilnega sloja).

Preglednica 19: Povečanje debeline toplotne izolacije XPS Δd [m] glede na prvotno zahtevano debelino d [m]

Vrsta stikov/robov med XPS toplotnoizolacijskimi ploščami	$f \cdot x$ [[W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04	0	0,03	0,04
Povprečna količina padavin v ogrevalni sezoni 2013/2014 / Kraj	p [mm/dan]	d novi [m]			Δd [m]		
	0	0,16768	0,16768	0,16768	0	0	0
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,16768	0,23543	0,27098	0	0,06775	0,10330
Maribor - Tabor	2,7923	0,16768	0,27046	0,33694	0	0,10278	0,16926
Portorož - letališče	3,2598	0,16768	0,30036	0,40220	0	0,13268	0,23452
Novo mesto	3,3977	0,16768	0,31042	0,42638	0	0,14274	0,25870
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,16768	0,38444	0,65050	0	0,21676	0,48282
Kočevje	5,1094	0,16768	0,52514	1,57760	0	0,35746	1,40992
Bilje	5,4153	0,16768	0,59767	2,98173	0	0,42998	2,81405
Postojna	5,4628	0,16768	0,61071	3,45701	0	0,44303	3,28933
Rateče	5,8404	0,16768	0,73844	-13,19235	0	0,57076	-13,3600
Lesce	6,0639	0,16768	0,84211	-3,44451	0	0,67443	-3,61219

Debelina potrebne dodatne toplotne izolacije se povečuje z drenažnim faktorjem $f \cdot x$ (Grafikon 4 in Grafikon 5), ki je v nalogi predstavljen kot faktor za uporabljeno vrsto stikov XPS toplotnoizolacijskih plošč. Se pravi, v primeru vgradnje toplotne izolacije z ravnimi stiki [$f \cdot x = 0,04$] steče skozi le-te in posledično med toplotno- in hidro-izolacijski sloj več padavinske vode kakor v primeru uporabe XPS plošč s stopničastimi robovi [$f \cdot x = 0,03$] ali v primeru znižanja stopnje uhajanja L oziroma f , kar pomeni namestitev posebne vrste drenažno ločilnega sloja [$f \cdot x \sim 0$], kot to omenjata članek [70] in [56], s čimer dosežemo popravek $\Delta U \sim 0$ [W/m²·K].



Grafikon 5: Povečanje debeline toplotne izolacije XPS Δd glede na prvotno zahtevano debelino d [m]

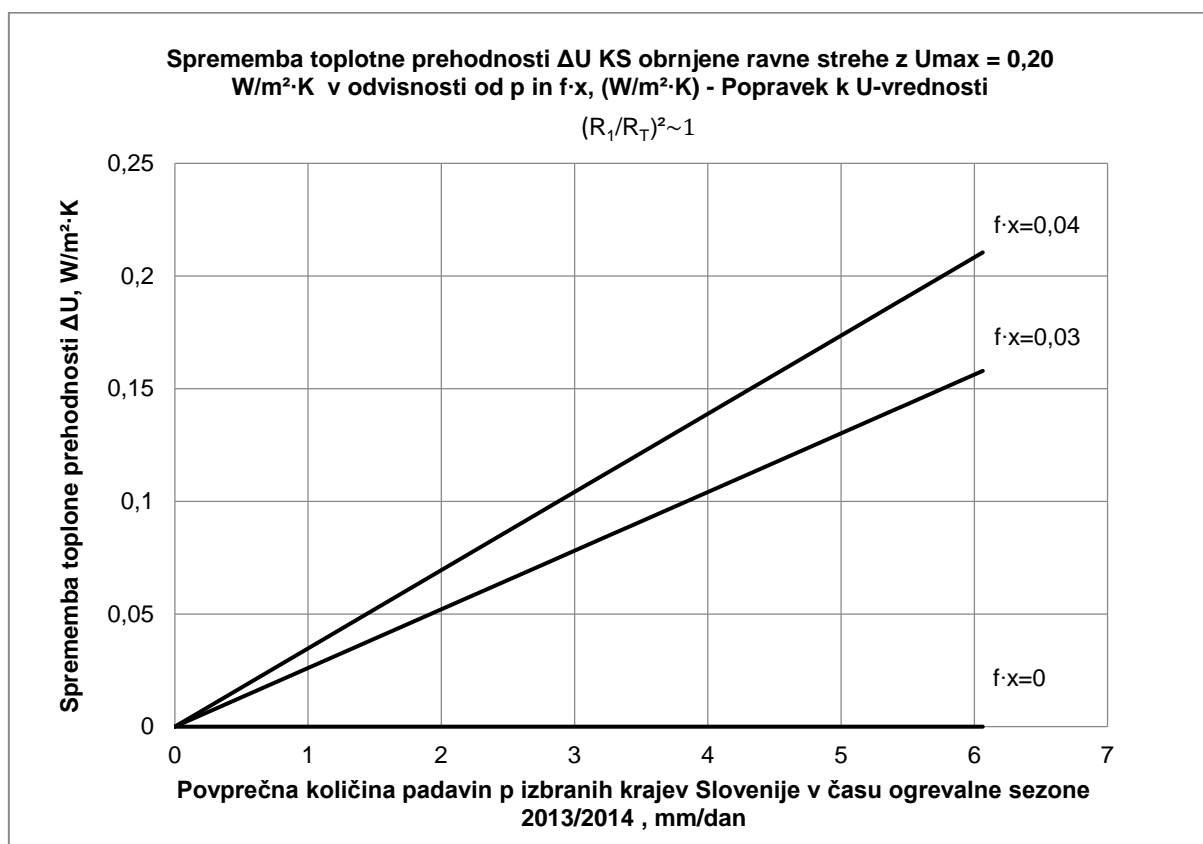
Standard [21] v opombi poglavja o popravku k toplotni prehodnosti za obrnjene strehe navaja, da se postavitev konstrukcijskega sklopa z enoslojno toplotno izolacijo nad hidroizolacijo, z ravnimi stiki med toplotnoizolacijskimi ploščami ($f \cdot x = 0,04$) in odprtim kritjem kot je prod, šteje kot postavitev, ki daje najvišjo vrednost popravka ΔU , kar je razvidno tudi iz Grafikona 4 in 5.

Drugi faktor, ki vpliva na zahteve po povečani debelini toplotne izolacije v sistemu, predstavlja povprečna količina padavin p v času ogrevalne sezone. S tem, ko je objekt lociran na območju z večjo količino padavin v merjenem obdobju, se potrebe po večjih debelinah TI povečujejo. To nam pove, da so izgube toplote skozi sistem tam večje. Za dosego želene oziroma načrtovane toplotne prehodnosti U konstrukcije potrebujemo zato večje debeline izolacije. S tem, ko prihaja do izgub v sistemu, se naša toplotna prehodnost namreč zviša. Naš cilj pa je doseči nižje vrednosti toplotne prehodnosti, ki krijejo izgube na sistemu in dosežejo raven zahtevanega prvotnega U sistema. Seveda pa s tem, ko zahtevamo manjši prehod toplotne skozi sistem, zahtevamo večje potrebe po debelinah toplotne izolacije, saj sta slednja medsebojno obratno sorazmerna.

V primeru, da obravnavan objekt stoji na lokaciji z izredno majhnimi povprečnimi količinami padavin v času ogrevalne sezone ($p \sim 0$ [mm/dan]) ali pa, kot že omenjeno, drenažni faktor $f \cdot x \sim 0$, nastopi $\Delta U \sim 0$ in po enačbi (13) $U_c = U$. Pomeni, da projektiramo na prvotno debelino XPS (d), brez potreb po dodatnih debelinah. Popravek $\Delta U \sim 0$ [W/m²·K] se glede na izraz (13) zanemari tudi v primeru, kot omenja standard ISO 6946, ko je razmerje popravka ΔU glede na U manjše od 3%.

Preglednica 20: Sprememba toplotne prehodnosti ΔU za različne povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone [p] in različne drenažne faktorje [f·x], ob zahtevi za doseg $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ obrnjene ravne strehe

f·x- Vrsta stikov med XPS toplotnoizolacijskimi ploščami [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]/ Povprečna količina padavin p v ogrevalni sezoni 2013/2014 [mm/dan]		$\Delta U \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$		
		0	0,03	0,04
	0	0	0	0
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0	0,0547	0,0729
Maribor - Tabor	2,7923	0	0,0727	0,0969
Portorož - letališče	3,2598	0	0,0849	0,1132
Novo mesto	3,3977	0	0,0885	0,1179
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0	0,1093	0,1457
Kočevje	5,1094	0	0,1330	0,1774
Bilje	5,4153	0	0,1410	0,1880
Postojna	5,4628	0	0,1422	0,1896
Rateče	5,8404	0	0,1520	0,2027
Lesce	6,0639	0	0,1579	0,2105



Grafikon 6: Sprememba toplotne prehodnosti ΔU za različne povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone [p] in različne drenažne faktorje [f·x], ob zahtevi za doseg $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ obrnjene ravne strehe

Na gornjem grafikonu je prikazana sprememba toplotne prehodnosti ΔU v odvisnosti od p , povprečne količine padavin kraja v Sloveniji v času kurilne sezone 2013/2014 ter od faktorja $f \cdot x$. Potek funkcij je linearen, saj do spremenljivke v direktnem medsebojnem razmerju (glej enačba (17)). Sprememba toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa obrnjene strehe se z večanjem deleža padavin p za isti $f \cdot x$ (isti stik med ploščami), povečuje. Pomeni, da so izgube toplote višje za kraje z višjim p in s tem (glej Grafikon 6) posledično tudi potrebe po večjih debelinah toplotnoizolacijskega sloja za kritje teh izgub na sistemu. Večanje toplotnih izgub pomeni, da je korigiran U_c manjši z upoštevanjem izgub in hkrati doseganjem zelenega U obravnavanega konstrukcijskega sklopa. Večje debeline toplotne izolacije pomenijo večji upor toplotne izolacije in s tem večji upor konstrukcijskega sklopa, katere sestav je toplotna izolacija. Večja toplotna upornost pa pomeni manjšo toplotno prehodnost KS. Nižje vrednosti korigirane toplotne prehodnosti U_c dosežemo z večjimi debelinami d_{novi} toplotne izolacije (XPS).

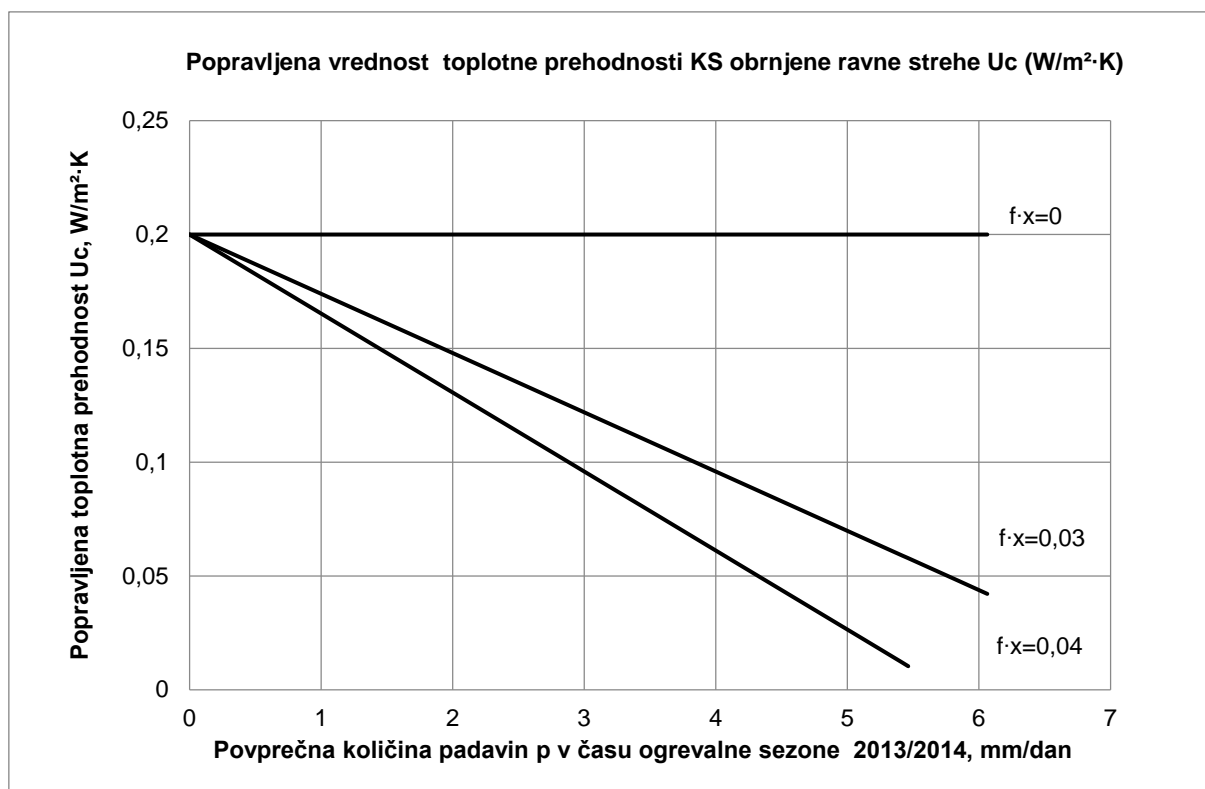
Sprememba toplotne prehodnosti ΔU za podan konstrukcijski sklop se povečuje s povprečno količino padavin v času ogrevalne sezone [p] ter višanjem drenažnega faktorja [$f \cdot x$]. Večje spremembe ΔU pomenijo večje izgube toplote skozi sistem, slednje pa potrebe po povečanju debelin toplotne izolacije v sistemu.

Tipične vrednosti ΔU se v izračunih za $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ v primeru obrnjenih streh gibljejo med $0,055 - 0,21 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. To pomeni 27,5% - 100% prilagoditev k vrednosti toplotne prehodnosti (U) streh na obravnavanih lokacijah v Sloveniji.

Preglednica 21: Popravljen/korigirana toplotna prehodnost U_c za različne povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone [p] in različne drenažne faktorje [$f \cdot x$] za dosego $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ obrnjene ravne strehe

Uc [W/m ² ·K]				
f·x- Vrsta stikov med XPS toplotnoizolacijskimi ploščami [(W·dan)/(m ² ·K·mm)] / Povprečna količina padavin p v ogrevalni sezoni 2013/2014 [mm/dan]	0	0,03	0,04	
	0	0,2	0,2	0,2
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,2	0,1453	0,1271
Maribor - Tabor	2,7923	0,2	0,1273	0,1031
Portorož - letališče	3,2598	0,2	0,1151	0,0868
Novo mesto	3,3977	0,2	0,1115	0,0821
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,2	0,0907	0,0543
Kočevje	5,1094	0,2	0,0670	0,0226
Bilje	5,4153	0,2	0,0590	0,0120
Postojna	5,4628	0,2	0,0578	0,0104
Rateče	5,8404	0,2	0,0480	-0,0027
Lesce	6,0639	0,2	0,0421	-0,0105

Za dosego toplotne prehodnosti U konstrukcijskega sklopa se vrednosti končne korigirane toplotne prehodnosti U_c zmanjšujejo z višanjem drenažnega faktorja [$f \cdot x$] ter večanjem količine povprečnih padavin [p] v času ogrevalne sezone (Grafikon 7). Z zahtevo po U izračunane vrednosti povedo, da povečanje popravljene toplotne prehodnosti U_c pomeni na drugi strani znižanje popravka k toplotni prehodnosti ΔU , kar razberemo iz Preglednic 20 in 21 ter enačbe (13).



Grafikon 7: Popravljenost/korigirana toplotna prehodnost U_c za različne povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone [p] in različne drenažne faktorje [$f \cdot x$], ob zahtevi za doseg $U=0,20 W/m^2 \cdot K$ obrnjene ravne strehe

Izračuni za $U=0,18 W/m^2 \cdot K$

(z različnimi drenažnimi faktorji ($f \cdot x$) za različne kraje Slovenije (p))

Preglednica 22: Rezultati za doseg $U = 0,18 W/m^2 \cdot K$ konstrukcijskega sklopa z drenažnim faktorjem $f \cdot x = 0 [(W \cdot dan)/(m^2 \cdot K \cdot mm)]$

U_{max} [$W/m^2 \cdot K$]	0,20	d [m]	ΔU [$W/m^2 \cdot K$]	U_c [$W/m^2 \cdot K$]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	U_c/U_{ks} [%]	dnovi [m]
U_{ks} [$W/m^2 \cdot K$]	0,18						
$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	Kraj	Količina padavin p [mm/dan]				
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,18768	0	0,18	0	100	0,18768
Maribor - Tabor	2,7923	0,18768	0	0,18	0	100	0,18768
Portorož - letališče	3,2598	0,18768	0	0,18	0	100	0,18768
Novo mesto	3,3977	0,18768	0	0,18	0	100	0,18768
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,18768	0	0,18	0	100	0,18768
Kočevje	5,1094	0,18768	0	0,18	0	100	0,18768
Bilje	5,4153	0,18768	0	0,18	0	100	0,18768
Postojna	5,4628	0,18768	0	0,18	0	100	0,18768
Rateče	5,8404	0,18768	0	0,18	0	100	0,18768
Lesce	6,0639	0,18768	0	0,18	0	100	0,18768

Preglednica 23: Rezultati za doseg $U = 0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ konstrukcijskega sklopa z drenažnim faktorjem $f \cdot x = 0,03 \text{ [(W}\cdot\text{dan)/(m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm)]}$

Uks [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	0,18	d [m]	ΔU [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	Uc [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	$\Delta U/Uks$ [%]	Uc/Uks [%]	dnovi [m]
$f \cdot x$ [$\text{(W}\cdot\text{dan)/(m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm)]}$]	0,03						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,18768	0,0555	0,1245	30,83312	69,16688	0,27684
Maribor - Tabor	2,7923	0,18768	0,073766	0,106234	40,98099	59,01901	0,32655
Portorož - letališče	3,2598	0,18768	0,086116	0,093884	47,842	52,158	0,37113
Novo mesto	3,3977	0,18768	0,089758	0,090242	49,86575	50,13425	0,38661
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,18768	0,110875	0,069125	61,59724	38,40276	0,50848
Kočevje	5,1094	0,18768	0,134978	0,045022	74,98804	25,01196	0,78730
Bilje	5,4153	0,18768	0,14306	0,03694	79,47773	20,52227	0,96223
Postojna	5,4628	0,18768	0,144314	0,035686	80,17417	19,82583	0,99647
Rateče	5,8404	0,18768	0,154289	0,025711	85,71635	14,28365	1,38788
Lesce	6,0639	0,18768	0,160193	0,019807	88,99629	11,00371	1,80525

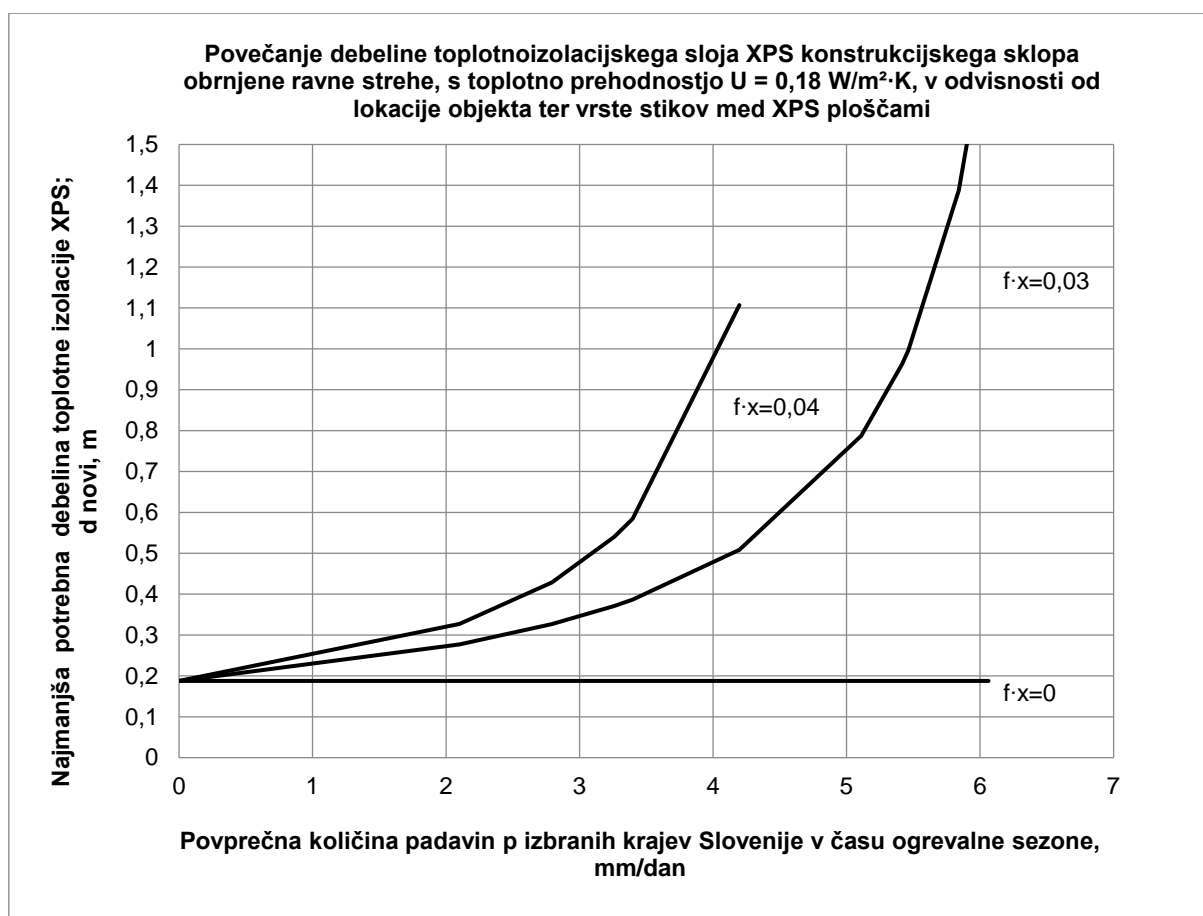
Preglednica 24: Rezultati za doseg $U = 0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ konstrukcijskega sklopa z drenažnim faktorjem $f \cdot x = 0,04 \text{ [(W}\cdot\text{dan)/(m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm)]}$

Uks [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	0,18	d [m]	ΔU [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	Uc [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	$\Delta U/Uks$ [%]	Uc/Uks [%]	dnovi [m]
$f \cdot x$ [$\text{(W}\cdot\text{dan)/(m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm)]}$]	0,04						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,18768	0,073999	0,106001	41,11083	58,88917	0,32730
Maribor - Tabor	2,7923	0,18768	0,098354	0,081646	54,64132	45,35868	0,42861
Portorož - letališče	3,2598	0,18768	0,114821	0,065179	63,78933	36,21067	0,54000
Novo mesto	3,3977	0,18768	0,119678	0,060322	66,48766	33,51234	0,58448
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,18768	0,147833	0,032167	82,12965	17,87035	1,10685
Kočevje	5,1094	0,18768	0,179971	0,00003	99,98405	0,015951	1253,84629
Bilje	5,4153	0,18768	0,190747	-0,01075	105,9703	-5,9703	-3,36223
Postojna	5,4628	0,18768	0,192418	-0,01242	106,8989	-6,8989	-2,91133
Rateče	5,8404	0,18768	0,205719	-0,02572	114,2885	-14,2885	-1,41205
Lesce	6,0639	0,18768	0,213591	-0,03359	118,6617	-18,6617	-1,08403

Izhajamo iz zahteve po U_{max} [$0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$]. Za primerjalno analizo je v nalogo vključenih pet dodatnih, nižjih U vrednosti konstrukcijskega sklopa. Kakor opazimo (Preglednica 4) se v osnovi prvotno računane najmanjše debeline TI povečujejo z zahtevo po nižjem U sistema. Izračuni za strožje zahtevke po U sistema z upoštevanjem izgub toplote v sistemu preko upoštevanja popravka k U za obrnjene strehe prikažejo potrebe po še večjih dodatnih debelinah toplotne izolacije (glej Grafikon 4 in Grafikon 8), v primerjavi z izračuni višjih vrednosti toplotne prehodnosti.

Preglednica 25: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije obrnjene ravne strehe z različnimi drenažnimi faktorji $f \cdot x$ za izpolnjevanje U vrednosti $0,18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Kraj	$f \cdot x$ [[W·dan)/(m ² ·K·mm]]	0	0,03	0,04
	Količina padavin p (mm/dan)	d novi [m]		
	0	0,187681	0,187681	0,187681
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,187681	0,276837	0,327302
Maribor - Tabor	2,7923	0,187681	0,326555	0,428611
Portorož - letališče	3,2598	0,187681	0,371131	0,540004
Novo mesto	3,3977	0,187681	0,38661	0,584476
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,187681	0,508477	1,106853
Kočevje	5,1094	0,187681	0,787298	1253,846
Bilje	5,4153	0,187681	0,962232	-3,36223
Postojna	5,4628	0,187681	0,996466	-2,91133
Rateče	5,8404	0,187681	1,387883	-1,41205
Lesce	6,0639	0,187681	1,80525	-1,08403



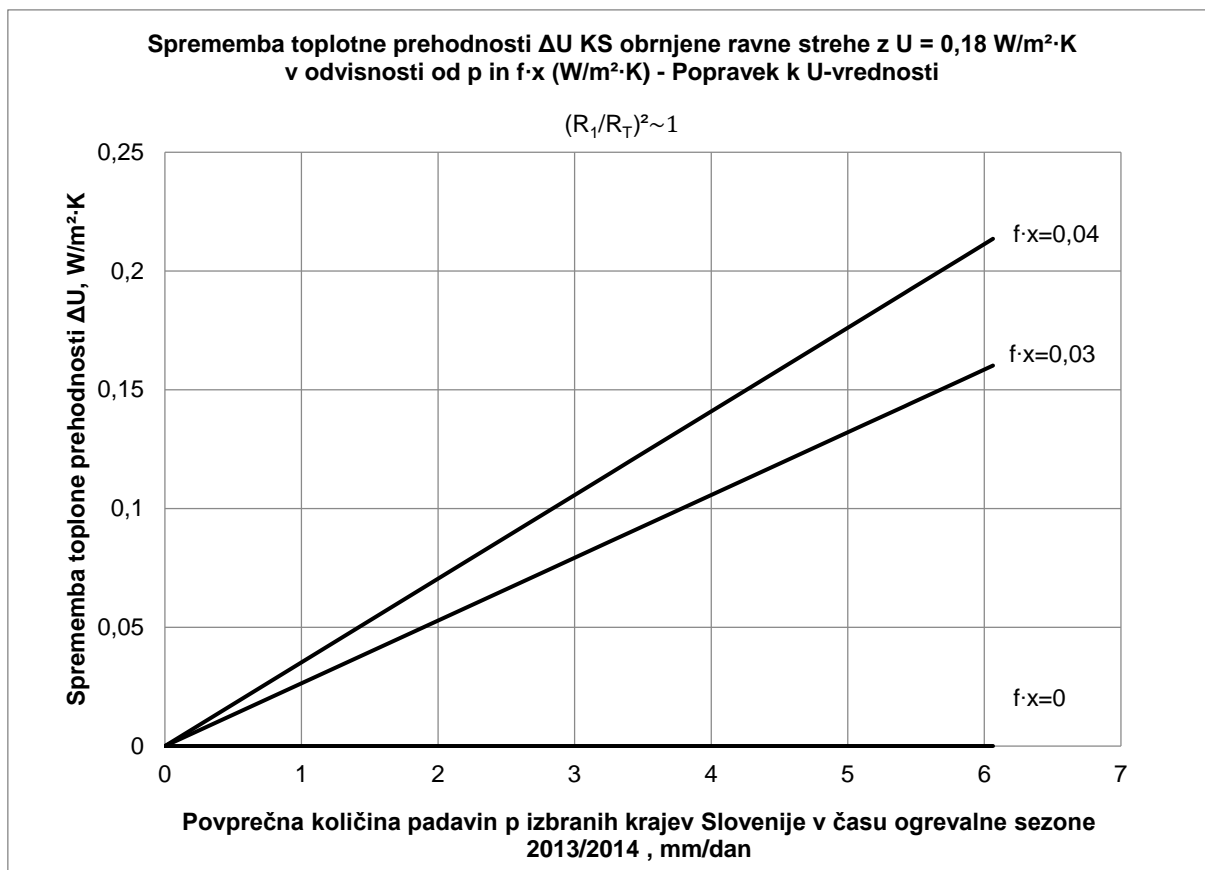
Grafikon 8: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije obrnjene ravne strehe z različnimi drenažnimi faktorji za izpolnjevanje U -vrednosti za $0,18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Preglednica 26: Povečanje debeline toplotne izolacije XPS Δd [m] glede na prvotno zahtevano debelino d [m]

Vrsta stikov/robov med XPS toplotnoizolacijskimi ploščami	$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04	0	0,03	0,04
Povprečna količina padavin v ogrevalni sezoni 2013/2014 / Kraj	p [mm/dan]	d novi [m]			Δd [m]		
	0	0,187681	0,187681	0,187681	0	0	0
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,187681	0,276837	0,327302	0	0,089156	0,139621
Maribor - Tabor	2,7923	0,187681	0,326555	0,428611	0	0,138874	0,24093
Portorož - letališče	3,2598	0,187681	0,371131	0,540004	0	0,18345	0,352323
Novo mesto	3,3977	0,187681	0,38661	0,584476	0	0,198929	0,396795
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,187681	0,508477	1,106853	0	0,320796	0,919172
Kočevje	5,1094	0,187681	0,787298	1253,846	0	0,599617	1253,658
Bilje	5,4153	0,187681	0,962232	-3,36223	0	0,774551	-3,549911
Postojna	5,4628	0,187681	0,996466	-2,91133	0	0,808785	-3,099011
Rateče	5,8404	0,187681	1,387883	-1,41205	0	1,200202	-1,599731
Lesce	6,0639	0,187681	1,80525	-1,08403	0	1,617569	-1,271711

Preglednica 27: Sprememba toplotne prehodnosti ΔU za različne povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone [p] in različne drenažne faktorje [$f \cdot x$], ob zahtevi za doseg $U=0,18$ W/m²·K obrnjene ravne strehe

ΔU [W/m ² ·K]				
$f \cdot x$ - Vrsta stikov med XPS toplotnoizolacijskimi ploščami [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]/ Povprečna količina padavin p v ogrevalni sezoni 2013/2014 [mm/dan]	0	0,03	0,04	
	0	0	0	0
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0	0,0555	0,0740
Maribor - Tabor	2,7923	0	0,0738	0,0984
Portorož - letališče	3,2598	0	0,0861	0,1148
Novo mesto	3,3977	0	0,0898	0,1197
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0	0,1109	0,1478
Kočevje	5,1094	0	0,1350	0,1800
Bilje	5,4153	0	0,1431	0,1907
Postojna	5,4628	0	0,1443	0,1924
Rateče	5,8404	0	0,1543	0,2057
Lesce	6,0639	0	0,1602	0,2136



Grafikon 9: Sprememba toplotne prehodnosti ΔU za različne povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone [p] in različne drenažne faktorje [$f \cdot x$], ob zahtevi za doseg $U=0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ obrnjene ravne strehe

S podatki spodaj podane Preglednice 28 želimo prikazati medsebojni vpliv toplotne prehodnosti U konstrukcijskega sklopa in razmerja $(R_1/R_T)^2$. O njuni odvisnosti smo govorili že v Poglavju 6, le da smo tam namesto $(R_1/R_T)^2$ uporabili oznako (R_1/R_T) oziroma (R_{XPS}/R_{KS}) . V tem primeru uporabimo razmerje s kvadratno funkcijo z namenom prikaza vpliva razmerja $(R_1/R_T)^2$ iz enačbe (17) na spremembe toplotne prehodnosti in popravka k toplotni prehodnosti, prikazanega v podpoglavju 8.4.4.

Preglednica 28: Medsebojni vpliv zahtevane toplotne prehodnosti U obrnjene ravne strehe ter razmerja $(R_1/R_T)^2$

U [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	$(R_1/R_T)^2$
0,20	0,8678
0,18	0,8806
0,15	0,9000
0,12	0,9196
0,10	0,9327
0,08	0,9460

Višje število razmerja $(R_1/R_T)^2$ pomeni nižjo toplotno prehodnost U sistema in slednje večje debeline toplotne izolacije. Razmerje $(R_1/R_T)^2$ se viša na račun v sistem vgrajene debelejšje toplotne izolacije d_{XPS} [$R_1=d_{XPS}/\lambda_{XPS}$], kar doprinese k nižjim vrednostim prehoda toplote skozi

sistem $[U]$ (Preglednica 4), vendar ob pogoju ohranitve vrednosti toplotne prevodnosti toplotnoizolacijskega materiala, vgrajenega v sistem.

SKLEP

Zahteva po najmanjši debelini toplotne izolacije XPS [pri U_{max}] se z zahtevo po nižji toplotni prehodnosti U sestavljenega konstrukcijskega sklopa povečuje. Razumljivo, saj zahtevo po manjšem prehodu toplote skozi konstrukcijski sklop lahko dosežemo le s tem, da povečamo debelino toplotne izolacije v sistemu glede na zahtevan U konstrukcijskega sklopa ali pa z namestitvijo toplotne izolacije z nižjo vrednostjo toplotne prevodnosti, kar pa ni predmet analize naše naloge. Toplotna prehodnost U_{KS} in debelina d_{XPS} sta obratno sorazmerna.

Popravek k toplotni prehodnosti $[\Delta U_r]$ in posledično potrebe po povečani debelini toplotne izolacije $[d_{novi}]$ so odvisni od povprečne padle količine padavin p v času ogrevalne sezone (vpliv lokacije), vrste stikov med toplotnoizolacijskimi ploščami (definirane z drenažnim faktorjem $f \cdot x$) ter deleža $(R_T/R_T)^2$, ki je v neposredni povezavi z zahtevkom po končni toplotni prehodnosti U . Delež padavin $[f]$, ki steče skozi stike plošč pod toplotno izolacijo (na hidroizolacijo) in s tem povzroči dodatne izgube toplote skozi konstrukcijski sklop, je odvisen od intenzivnosti padavin, vrste stikov na toplotnoizolacijskih ploščah in uporabe ločilnega sloja.

Z večanjem faktorja $f \cdot x$ se povečuje potreba po večji (celotni) debelini toplotne izolacije, ob pogoju istega p . Debelina toplotnoizolacijskega materiala se povečuje tudi z izbiro krajev z višjo povprečno količino padlih padavin p v času ogrevalne sezone ter strožjo zahtevo po toplotni prehodnosti U , ki jo označuje višji delež $(R_T/R_T)^2$. V primeru, da $f \cdot x \sim 0$, velja $\Delta U_r \sim 0$. Pri slednjem se vrednosti prvotno izračunane najmanjše dovoljene debeline toplotne izolacije v obrnjeni strehi glede na količino padavin p ne spreminjajo. K temu pripomore namestitev primerne vodo-odvajalnega ločilnega sloja, po katerem se celotne količine padlih padavin p odvedejo v odvajalni sistem strehe. Tako preprečimo ohladitev sistema ter izgube skozenj. Kjer pa ustreznega ločilnega sloja, položenega med toplotnoizolacijski material in nasutje, ni, se upošteva vpliv dodatnih izgub toplote skozi sistem v obliki popravka za obrnjene strehe, $\Delta U_r \neq 0$.

Izgube toplote na konstrukcijskem sklopu povrnemo s povečano potrebno minimalno (celotno) debelino na sistemu $[d_{novi}]$, kajti zmanjšanje U konstrukcijskega sklopa zaradi direktnega obratnega sorazmerja s toplotnim uporom R konstrukcijskega sklopa pomeni povečanje le-tega in slednje zahtevo po večjem toplotnem uporu toplotne izolacije ter posledično debeline $(R_{XPS} = d_{XPS}/\lambda_{XPS})$.

Prvotno izračunana najmanjša dovoljena debelina toplotne izolacije ob upoštevanju zahteve za U_{max} znaša 16,8 cm. Ta predstavlja osnovno minimalno debelino, ki mora biti nameščena v sistem strehe, ostali izračuni povečanih vrednosti pa prikazujejo potrebno povečanje debelin zaradi upoštevanja dodatno povzročenih izgub toplote v strehi in pa strožjih zahtevkov po prehodu toplote.

Ob pogledu na grafično predstavitev analize podatkov za različne zahteve po toplotni prehodnosti U obrnjene ravne strehe (glej 8.4.2 in Priloga D), kjer je prikazana odvisnost povečane (celotne) debeline toplotne izolacije od povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone $[p]$ in različnih drenažnih faktorjev $[f \cdot x]$, opazimo spremembe v obnašanju linijskih črt prikazanih grafov. Ravninske linije krivulj $[d_{novi}]$ postajajo z nižjo zahtevo po U vse bolj strme, odsekane in linearne, saj za grafični izris podatkov primanjkuje nekaj vmesnih točk (vrednosti); te prehajajo v vedno bolj ekstremne vrednosti (zelo velike vrednosti, ki preidejo v negativne vrednosti). Do tega prihaja ob večjih vrednostih $[f \cdot x]$ in $[p]$ ter s strožjimi zahtevami po (nižjem dosegu toplotne prehodnosti) U obravnavanega sistema.

V sledečem podpoglavju in v **Prilogi E** sledi prikaz vpliva popravka za obrnjene strehe na sistemu kombinirane ravne strehe, katere sestava vključuje sistem obrnjene strehe.

8.4.3 Kombinirana ravna streha

Preglednica 29: Sprememba toplotne prehodnosti kombinirane ravne strehe z različnimi razmerji EPS:XPS in $f \cdot x = 0,04$, treh različnih krajev Slovenije (p)

U _{KS} [W/m ² ·K]	(R ₁ /R _T) ²	ΔU [W/m ² ·K]		
		p [mm/dan]		
		Murska Sobota-Rakičan	Ljubljana-Bežigrad	Lesce
		2,1009	4,1970	6,0639
KOMB*1:1				
0,20	0,220933	0,0186	0,0371	0,0536
0,18	0,22435	0,0189	0,0377	0,0544
0,15	0,229549	0,0193	0,0385	0,0557
0,12	0,234978	0,0197	0,0394	0,0570
0,10	0,238511	0,0200	0,0400	0,0579
0,08	0,242155	0,0203	0,0407	0,0587
KOMB 2:1				
0,20	0,099114	0,0083	0,0166	0,0240
0,18	0,100706	0,0085	0,0169	0,0244
0,15	0,102957	0,0087	0,0173	0,0250
0,12	0,105416	0,0089	0,0177	0,0256
0,10	0,106988	0,0090	0,0180	0,0260
0,08	0,108628	0,0091	0,0182	0,0263
KOMB 3:1				
0,20	0,056037	0,0047	0,0094	0,0136
0,18	0,056891	0,0048	0,0096	0,0138
0,15	0,058182	0,0049	0,0098	0,0141
0,12	0,059592	0,0050	0,0100	0,0145
0,10	0,060473	0,0051	0,0102	0,0147
0,08	0,061384	0,0052	0,0103	0,0149
KOMB 4:1				
0,20	0,036045	0,0030	0,0061	0,0087
0,18	0,036578	0,0031	0,0061	0,0089
0,15	0,037393	0,0031	0,0063	0,0091
0,12	0,038212	0,0032	0,0064	0,0093
0,10	0,038794	0,0033	0,0065	0,0094
0,08	0,039401	0,0033	0,0066	0,0096
KOMB 5:1				
0,20	0,024991	0,0021	0,0042	0,0061
0,18	0,025394	0,0021	0,0043	0,0062
0,15	0,026001	0,0022	0,0044	0,0063
0,12	0,026582	0,0022	0,0045	0,0064
0,10	0,027018	0,0023	0,0045	0,0066
0,08	0,0274	0,0023	0,0046	0,0066

*KOMB (EPS:XPS) oznaka za KOMBINIRANA RAVNA STREHA

Preglednica 29 prikazuje rezultate sprememb toplotne prehodnosti ΔU kombinirane ravne strehe z različnimi razmerji med EPS in XPS izolacijami, v odvisnosti od razmerja $(R_1/R_T)^2$ oziroma U za tri kraje Slovenije, kjer navidezno lociramo obravnavan objekt, z različnimi povprečnimi količinami padavin p (v času ogrevalne sezone). Izračuni so narejeni ob najvišjem kombinacijskem faktorju $f \cdot x$, ki predstavlja izbrane XPS plošče z ravnimi robovi. Z višanjem razmerja $(R_1/R_T)^2$ se večajo spremembe ΔU , ki predstavljajo povišane izgube toplote skozi sistem strehe. Te so še višje pri krajih z večjimi količinami padlih padavin p . Večje ko so vgrajene debeline toplotnih izolacij XPS, prikazane v obliki $(R_1/R_T)^2$, večje izgube toplote se zgodijo v primeru precejšanja padavin skozi te. V primeru večanja debelin neizpostavljenih toplotnih izolacij EPS in s tem tanjšanja debeline izpostavljenih zunanje toplotne izolacije XPS, se vrednosti razmerja $(R_1/R_T)^2$ znižujejo na račun manjših debelin XPS. To predstavlja manjše izgube toplote na sistemu oziroma ΔU , saj spodnja EPS ohranja svoje toplotnoizolacijske sposobnosti. Vrednosti se torej zmanjšujejo z večanjem razmerja EPS:XPS, kar pomeni, da se izgube znižujejo s tanjšimi debelinami XPS v sestavi sklopa. Znotraj primerjave istega razmerja med EPS in XPS $[(R_1/R_T)^2]$ in istega faktorja $f \cdot x$, opazimo, da se spremembe ΔU povečujejo z večanjem količine p .

Spremembe toplotne prehodnosti na račun izgub toplote skozi sistem konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe so višje za območja regij z več padavinami (Gorenjska - Lesce).

V nadaljevanju si oglejmo vpliv faktorja $f \cdot x$ na spremembe toplotne prehodnosti $[\Delta U]$. V Preglednici 30 so prikazane spremembe toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa ΔU_r [oz. ΔU] za različne $f \cdot x$ in p , ob zahtevku po toplotni prehodnosti $U=0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Preglednica 30: Sprememba toplotne prehodnosti kombinirane ravne strehe z $U = 0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ glede na različne drenažne faktorje $f \cdot x$ $[(\text{W} \cdot \text{dan})/(\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{mm})]$ in različne kraje po Sloveniji (p)

U=0,20 W/m ² ·K		ΔU [W/m ² ·K]					
		$(R_1/R_T)^2$	p [mm/dan]				
			Murska Sobota-Rakičan	Ljubljana-Bežigrad	Lesce	Novo mesto	Portorož
			2,1009	4,1970	6,0639	3,3977	3,2598
$f \cdot x = 0,04$	1:1	0,220933	0,0186	0,0371	0,0536	0,0300	0,0288
	2:1	0,099114	0,0083	0,0166	0,0240	0,0135	0,0129
	3:1	0,056037	0,0047	0,0094	0,0136	0,0076	0,0073
	4:1	0,036045	0,0030	0,0061	0,0087	0,0049	0,0047
	5:1	0,024991	0,0021	0,0042	0,0061	0,0034	0,0033
$f \cdot x = 0,03$	1:1	0,220933	0,0139	0,0278	0,0402	0,0225	0,0216
	2:1	0,099114	0,0062	0,0125	0,0180	0,0101	0,0097
	3:1	0,056037	0,0035	0,0071	0,0102	0,0057	0,0055
	4:1	0,036045	0,0023	0,0045	0,0066	0,0037	0,0035
	5:1	0,024991	0,0016	0,0031	0,0045	0,0025	0,0024
$f \cdot x = 0$	1:1	0,220933	0	0	0	0	0
	2:1	0,099114	0	0	0	0	0
	3:1	0,056037	0	0	0	0	0
	4:1	0,036045	0	0	0	0	0
	5:1	0,024991	0	0	0	0	0

Potrebne (celotne) debeline toplotne izolacije XPS ohranjajo svoje vrednosti v primeru, ko je $f \cdot x = 0$. Takrat ne nastopajo spremembe v toplotni prehodnosti sistema in zato tudi ne v debelini XPS. To pomeni, da v teh primerih, teoretično, ne prihaja, do precejanja vode skozi stike XPS, ki bi povzročala dodatne toplotne izgube v sistemu z ohlajanjem konstrukcije. Slednje po navedbi članka [56] dosežemo z uporabo posebnega drenažno-ločilnega sloja, nameščenega nad izpostavljeno XPS izolacijo, ki odvede padavine v strešni sistem odvajanja padavin.

V primeru namestitve konvencionalnega flisa (med TI in nasutje) nastopijo višje vrednosti kombinacijskega faktorja $f \cdot x$ ($\neq 0$). Z višjim faktorjem $f \cdot x$ se debeline XPS povečajo. Iste spremembe opazimo na sistemu obrnjene ravne strehe. Kjer so vrednosti v preglednici označene z rdečo barvo, nakazujemo na debeline, ki se ohranijo kljub upoštevanju vseh pogojev za izračun izgub. Te vrednosti imajo namreč tako majhne spremembe toplotne prehodnosti ΔU v primerjavi z U , da se lahko zanemarijo. Kot navaja standard ISO 6946 [21], se ΔU lahko zanemari, kadar je delež $\Delta U/U$ [v %] manjši od 3%, kakor to nastopa v omenjenem primeru (izgube toplote se zanemarijo in ohranijo se prvotno načrtovane debeline XPS [d] v sistemu).

Pri izbiri faktorja $f \cdot x = 0,04$ (XPS z ravnimi robovi) ali $f \cdot x = 0,03$ (XPS z robovi stopničastega preklopa) se potrebe po večjih debelinah XPS znotraj istega razmerja med EPS in XPS povečujejo z večanjem povprečne padle količine padavin v času ogrevalne sezone izbranih krajev Slovenije. Prav tako se potrebne (celotne) debeline XPS večajo ob izbiri višjega faktorja $f \cdot x$, ob upoštevanju istih ostalih pogojev.

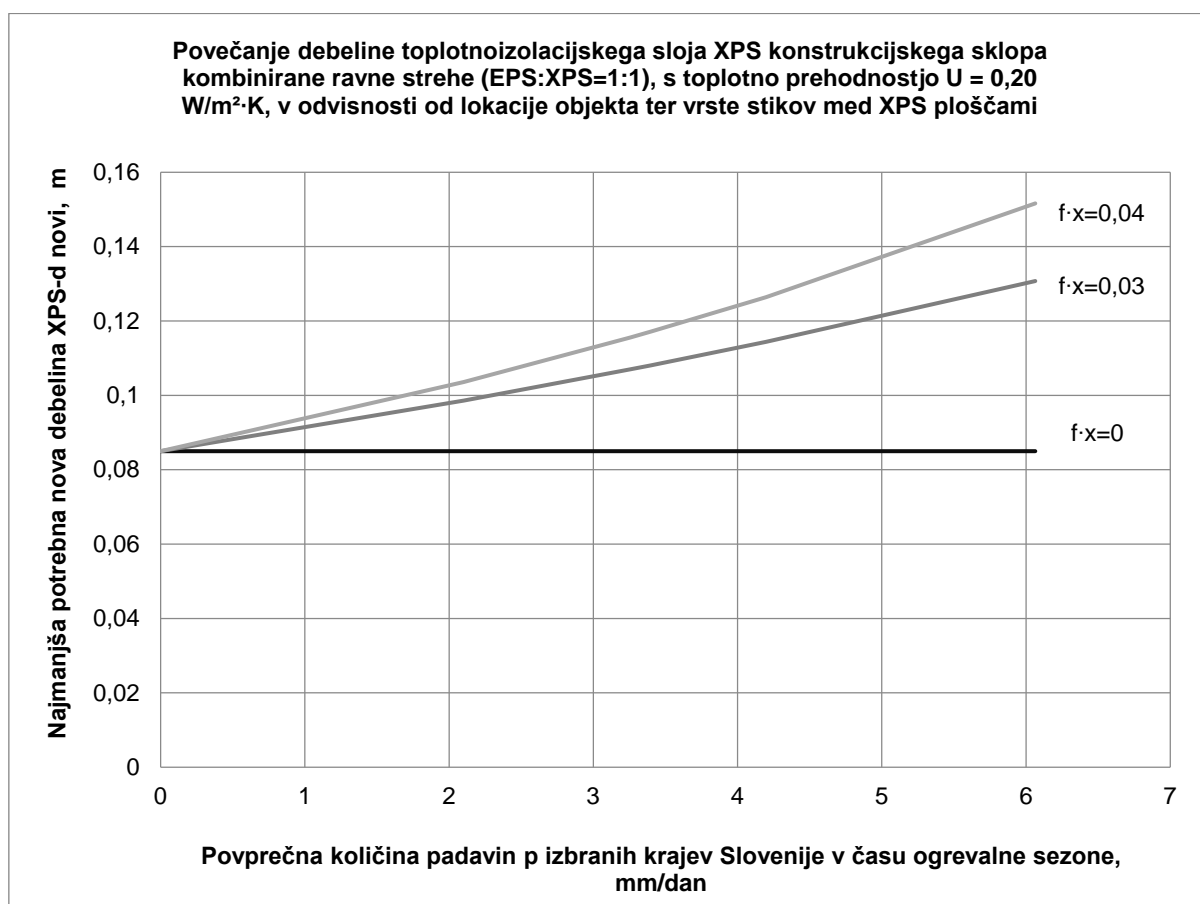
Debeline XPS naraščajo tudi z nižanjem razmerja med EPS:XPS (5:1 \rightarrow 1:1), kjer so že prvotno pri nižjih razmerjih EPS in XPS vgrajene večje debeline XPS (glej **Priloga B**), kar smo obravnavali pri izračunih debeline [d] v Poglavju 6.

Rezultati popravka k toplotni prehodnosti $U=0,18$ W/m²·K za kombinirane strehe ter pripadajoči povečani debelini toplotnoizolacijskega materiala XPS so prikazani v **Prilogi E**.

V nadaljevanju prikazujemo potrebne nove (celotne) debeline XPS znotraj določenega razmerja EPS:XPS z zahtevo po $U=0,20$ W/m²·K. Za primerjavo so narejeni trije primeri razmerij med EPS:XPS, in sicer 1:1, 3:1 in 5:1.

Preglednica 32: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe (EPS:XPS=1:1), s toplotno prehodnostjo $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, v odvisnosti od lokacije objekta ter vrste stikov med XPS ploščami

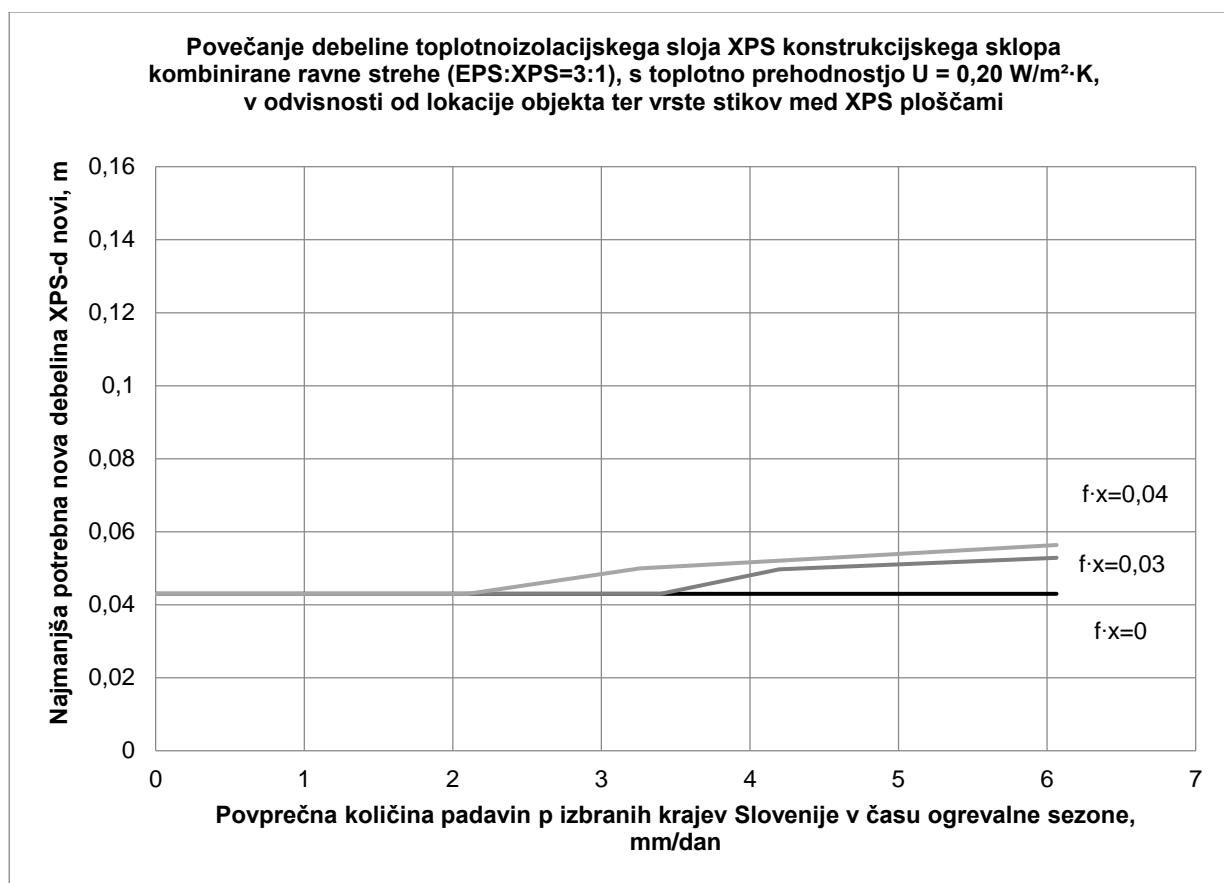
Kombinirana ravna streha EPS:XPS=1:1			
$f \cdot x$ [[W·dan)/(m ² ·K·mm]]	0	0,03	0,04
p [mm/dan]	d novi (XPS) [m]		
0	0,085	0,085	0,085
2,1009	0,085	0,0986	0,1036
3,2598	0,085	0,1070	0,1156
3,3977	0,085	0,1081	0,1171
4,1970	0,085	0,1144	0,1264
6,0639	0,085	0,1307	0,1516



Grafikon 10: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe (EPS:XPS=1:1), s toplotno prehodnostjo $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, v odvisnosti od lokacije objekta ter vrste stikov med XPS ploščami

Preglednica 33: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe (EPS:XPS=3:1), s toplotno prehodnostjo $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, v odvisnosti od lokacije objekta ter vrste stikov med XPS ploščami

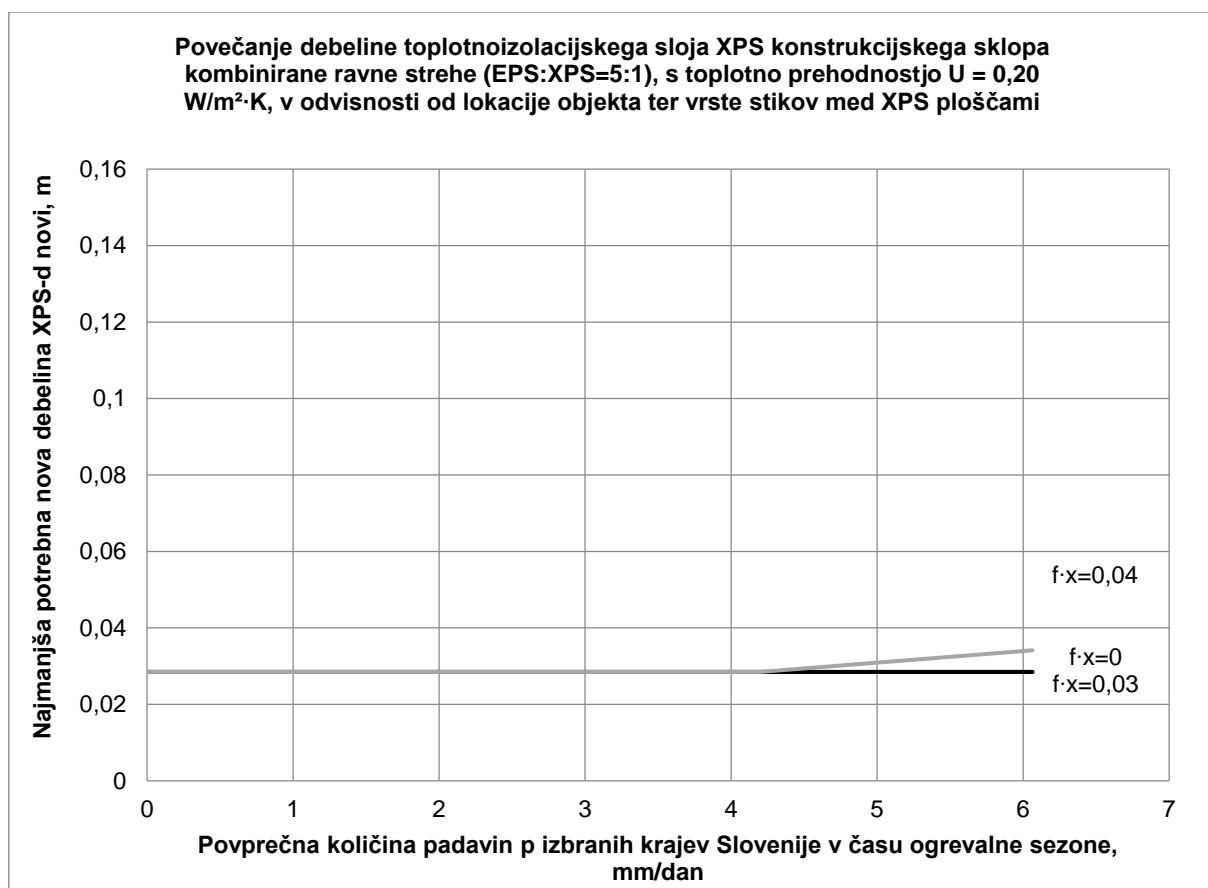
Kombinirana ravna streha EPS:XPS=3:1			
$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
p [mm/dan]	d novi (XPS) [m]		
0	0,043	0,043	0,043
2,1009	0,043	0,043	0,043
3,2598	0,043	0,043	0,0500
3,3977	0,043	0,043	0,0503
4,1970	0,043	0,0497	0,0521
6,0639	0,043	0,0529	0,0564



Grafikon 11: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe (EPS:XPS=3:1), s toplotno prehodnostjo $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, v odvisnosti od lokacije objekta ter vrste stikov med XPS ploščami

Preglednica 34: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe (EPS:XPS=5:1), s toplotno prehodnostjo $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, v odvisnosti od lokacije objekta ter vrste stikov med XPS ploščami

Kombinirana ravna streha EPS:XPS=5:1			
$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
p [mm/dan]	d novi (XPS) [m]		
0	0,0285	0,0285	0,0285
2,1009	0,0285	0,0285	0,0285
3,2598	0,0285	0,0285	0,0285
3,3977	0,0285	0,0285	0,0285
4,1970	0,0285	0,0285	0,0285
6,0639	0,0285	0,0285	0,0341



Grafikon 12: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe (EPS:XPS=5:1), s toplotno prehodnostjo $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, v odvisnosti od lokacije objekta ter vrste stikov med XPS ploščami

Primerjava gornjih grafov kaže kolikšen vpliv na potrebe dodatnih debelin XPS ima samo razmerje med EPS in XPS, ob vseh ostalih istih pogojih.

Izhajamo iz prvotno izračunanih debelin EPS in XPS za doseg določenega U , v našem primeru $U=0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. V primeru razmerja EPS:XPS=1:1 izhajamo iz debeline $d_{\text{XPS}} = 8,5 \text{ cm}$, v primeru EPS:XPS=3:1 meri osnovna debelina $d_{\text{XPS}} = 4,3 \text{ cm}$ in v primeru EPS:XPS=5:1 $d_{\text{XPS}} = 2,85 \text{ cm}$. Te vrednosti so za želeno strožjo zahtevo po nižji toplotni prehodnosti kombinirane strehe, kot je prikazano na primeru za $U=0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ v **Prilogi E**, višje. Z upoštevanjem popravka za obrnjene strehe kot dodatne izgube toplote na sistemu se potrebe po kritju teh izgub z debelinami toplotne izolacije XPS povečujejo.

Preglednica 35: Medsebojni vpliv zahtevane toplotne prehodnosti U kombinirane ravne strehe ter razmerja $(R_1/R_T)^2$ z različnimi razmerji EPS:XPS

U [W/m ² ·K]	$(R_1/R_T)^2$				
	EPS:XPS				
	1:1	2:1	3:1	4:1	5:1
0,20	0,2209	0,0991	0,0560	0,0360	0,0250
0,18	0,2244	0,1007	0,0569	0,0366	0,0254
0,15	0,2295	0,1030	0,0582	0,0374	0,0260
0,12	0,2350	0,1054	0,0596	0,0382	0,0266
0,10	0,2385	0,1070	0,0605	0,0388	0,0270
0,08	0,2422	0,1086	0,0614	0,0394	0,0274

SKLEP

Ob istem kombinacijskem faktorju $f \cdot x$ se z višanjem razmerja $(R_1/R_T)^2$ večajo spremembe ΔU , ki predstavljajo povišane izgube toplote skozi sistem strehe. Te so višje pri krajih z večjimi količinami padlih padavin p . Večje ko so vgrajene debeline toplotnih izolacij XPS, prikazane v obliki povečanega $(R_1/R_T)^2$, večje izgube toplote se dogodijo v primeru precejšnje padavin skozi te. V primeru večanja debelin neizpostavljene toplotne izolacije EPS in s tem tanjšanja debeline izpostavljene zunanje toplotne izolacije XPS, se vrednosti razmerja $(R_1/R_T)^2$ znižujejo na račun manjših debelin XPS. To predstavlja manjše izgube toplote na sistemu oziroma ΔU , saj spodnja EPS ohranja svoje toplotnoizolacijske sposobnosti kljub povišani toplotni prehodnosti. Znotraj primerjave istega razmerja med EPS in XPS $[(R_1/R_T)^2]$ in istega faktorja $f \cdot x$ se spremembe ΔU povečujejo z večanjem količine p .

Z izbiro manjšega kombinacijskega faktorja $f \cdot x$ [0,03 ali 0] oz. toplotnoizolacijskega materiala XPS z drugo vrsto stikov/robov so spremembe toplotne prehodnosti skozi sistem ΔU manjše kot v primeru faktorja $f \cdot x = 0,04$. Znotraj sestave konstrukcijskega sklopa variirajo vrednosti izgube toplote skozi sistem v odvisnosti od izbire stikov med XPS ploščami in vključitve drenažno-ločilnega sloja v sistem. Vrednosti se znotraj iste uporabe toplotnoizolacijskih plošč razlikujejo glede na vrednosti deleža nameščene EPS in XPS izolacije. Slednje se večajo z izenačevanjem deleža obeh v sestavi strehe, na račun večanja deleža XPS izolacije.

Potrebne (celotne) debeline toplotne izolacije XPS ohranjajo svoje vrednosti v primeru, ko je $f \cdot x = 0$. Takrat ne nastopajo spremembe v toplotni prehodnosti sistema in zato tudi ne v debelini XPS. V takih primerih naj ne bi prihajalo do precejšnje padavin skozi stike XPS, ki bi povzročale dodatne toplotne izgube v sistemu z ohlajanjem konstrukcije. Slednje se doseže z uporabo posebnega drenažno-ločilnega sloja, nameščene nad izpostavljeno XPS izolacijo, ki odvede padle količine padavin v strešni sistem odvajanja padavin.

V primeru namestitve konvencionalnega flisa namesto vodo-odvajalnega ločilnega sloja nastopijo višje vrednosti kombinacijskega faktorja $f \cdot x$ ($\neq 0$). Z višjim faktorjem $f \cdot x$ se debeline

XPS povečajo, saj so le-te sedaj (precejanje vode med TI in HI) izpostavljene večjim možnostim izgube toplote skozi sistem.

Pri izbiri faktorja $f \cdot x = 0,04$ (XPS z ravnimi robovi) ali $f \cdot x = 0,03$ (XPS z robovi stopničastega preklopa) se potrebe po večjih debelinah XPS znotraj istega razmerja med EPS in XPS povečujejo z večanjem povprečne padle količine padavin v času ogrevalne sezone izbranih krajev Slovenije. Prav tako se potrebne (celotne) debeline XPS večajo ob izbiri višjega faktorja $f \cdot x$, ob upoštevanju istih ostalih pogojev.

Potrebe po večjih debelinah XPS naraščajo tudi z nižanjem razmerja med EPS:XPS (5:1 → 1:1), kjer so že v osnovi pri nižjih razmerjih EPS in XPS vgrajene večje debeline XPS. Potrebe po večjih namestitvah debelin XPS izolacij naraščajo tudi s strožjimi zahtevki po U .

Ker večje debeline XPS pomenijo ob možnosti prehoda vode med XPS in hidroizolacijski sloj večje izgube toplote skozi sistem kot v primeru tanjše XPS, pričakujemo tudi večje potrebe po dodatni debelini XPS za doseg zahtevanega U oziroma zmanjšanja izgub sistema. Manjši delež XPS izolacije v sestavi kombinirane strehe pomeni, da spodnja zaščitena EPS izolacija ščiti sistem pred izgubo toplote v zadovoljivih debelinah in zato so v določenih primerih višjih razmerij med EPS in XPS nove zahtevane debeline enake prvotno zahtevanim debelinam (glej Preglednica 32, 33, 34), saj so izračunane spremembe toplotne prehodnosti ΔU tako majhne v primerjavi z U , da se le-te lahko zanemarijo, kot to navaja standard ISO 6946.

Ob primerjavi grafikonov povečanih debelin XPS izolacije v kombinirani ravni strehi [10, 11 ali 12] z grafikoni obrnjenih streh (Grafikon 4), opazimo enakost poteka krivulj $d_{novi}(p, f \cdot x)$ – naraščanje s količino p in $f \cdot x$ -, le da so v primeru kombiniranih streh linije bolj položne. Do razlike prihaja zaradi same razlike v sestavi streh. V delu sestave kombinirane ravne strehe nastopa poleg XPS izolacije tudi druga vrsta toplotne izolacije (EPS), ki nadomesti v velikem delu celote toplotnoizolacijskih materialov delež XPS izolacije iz dela zgornje sestave strehe (obrnjena streha); glede na to so potrebe po večjih debelinah XPS v kombinirani strehi glede na zahtevan U manjše kakor v primeru obrnjene ravne strehe, katere celoto toplotnoizolacijskega materiala predstavlja XPS izolacija, spremenljivka analize. Vrednosti na grafih naraščajo s naraščanjem količine padavin $[p]$, v odvisnosti od regije, ter z višjo vrednostjo kombinacijskega faktorja $f \cdot x$.

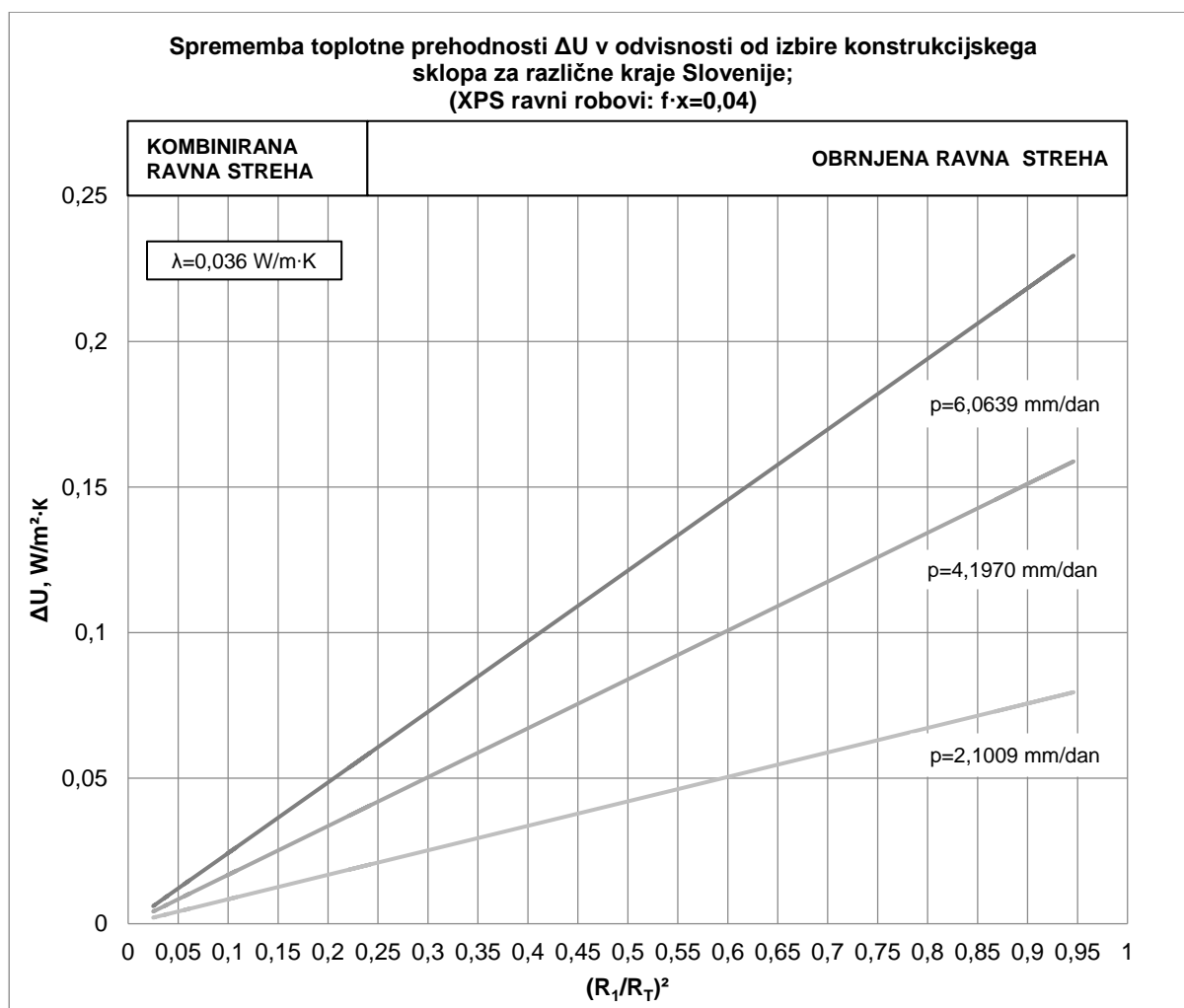
8.4.4 Prehod - obrnjena/kombinirana ravna streha

V nadaljevanju s pomočjo razmerja $(R_i/R_T)^2$ prikazujemo prehod iz sistema obrnjene ravne strehe na sistem kombinirane ravne strehe in obratno. Prehod med sistemoma prikažemo z grafikonoma $\Delta U((R_i/R_T)^2)$ in $d_{novi}((R_i/R_T)^2)$. Kot smo že pisali, $(R_i/R_T)^2$ opisuje razmerje med toplotnim uporom XPS izolacije ter celotnim toplotnim uporom obravnavanega sistema. S tem, ko nastopi večji toplotni upor toplotnoizolacijskega sloja, pomeni, da so sposobnosti toplotne izolacije po zadrževanju toplote znotraj sistema povečane. K temu pripomore povečana debelina toplotnoizolacijskega sloja v sestavi strehe ali pa znižanje vrednosti toplotne prevodnosti toplotnoizolacijskega materiala.

Sestava kombinirane ravne strehe vključuje dve vrsti toplotne izolacije, poleg XPS še EPS izolacijo. V večini predstavlja celotno sestavo toplotnoizolacijskega sloja EPS izolacija in posledično XPS nastopa v tanjših debelinah. Zaradi tega pričakujemo pri sistemu kombinirane ravne strehe manjše vrednosti razmerja $(R_i/R_T)^2$ kot v primeru obrnjene ravne strehe, kjer nastopajo veliko večje debeline XPS-a, ki so predmet analize izračunov naloge.

Preglednica 36: Sprememba toplotne prehodnosti ΔU obrnjene in kombinirane ravne strehe z zahtevo po $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($f\cdot x=0,04$)

$U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, $f\cdot x=0,04$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]		$\Delta U [\text{W/m}^2\cdot\text{K}]$			
		$(R_1/R_T)^2$	p [mm/dan]		
			Murska Sobota-Rakičan	Ljubljana-Bežigrad	Lesce
Obrnjena RS		0,86779	0,07292	0,14569	0,21049
Kombinirana RS (EPS:XPS)	1:1	0,220933	0,018566	0,03709	0,053589
	2:1	0,099114	0,008329	0,016639	0,024041
	3:1	0,056037	0,004709	0,009408	0,013592
	4:1	0,036045	0,003029	0,006051	0,008743
	5:1	0,024991	0,00210	0,00420	0,00606

**Grafikon 13: Sprememba toplotne prehodnosti ΔU obrnjene in kombinirane ravne strehe z zahtevo po $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($f\cdot x=0,04$)**

Z Grafikonom 13 prikazujemo odvisnost ΔU od $(R_1/R_T)^2$ za različne vrednosti p ($p = 2, 4, 6$). Iz prikaza razberemo kolikšno povečanje toplotne prehodnosti nastopi v sistemu obrnjene in kombinirane ravne strehe glede na povprečje padavin v času ogrevalne sezone (p).

Za primerjavo rezultatov smo izbrali tri kraje iz različnih regij Slovenije (Murska Sobota, Ljubljana, Lesce) z različnimi povprečnimi količinami padavin p v mm/dan v času ogrevalne sezone 2013/2014. Pri analizi primerjave izgub toplote med sistemi streh in s tem povezane (povečane) debeline toplotne izolacije uporabimo najvišji faktor $f \cdot x = 0,04$ (kot ga omenja tudi ISO 6946) ter izhajamo iz zahteve po enaki toplotni prehodnosti obeh sistemov $U_{max} [=0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}]$. Povečane izgube toplote oziroma povečan prehod toplote ob ohladitvi sistema zaradi precejanja vode v sistem skozi stike XPS izolacije se v primeru kombinirane ravne strehe dogaja z manjšanjem razmerja med EPS in XPS (večanje debeline XPS na račun tanjših debelin EPS), kjer prehaja razmerje EPS in XPS v enakovredno razmerje debelin, ter z nagibanjem izbire sistema obrnjene ravne strehe $(R_i/R_T)^2 \sim 1$.

Popravki k toplotni prehodnosti se povečujejo tudi na račun povečane povprečne padle količine padavin p v času ogrevalne sezone. Opazimo, da so v regiji z večjim p (Gorenjska) večje tudi izgube toplote skozi oba sistema v primerjavi z regijami z nižjim p . Najmanjše izgube toplote so prikazane za pomursko regijo.

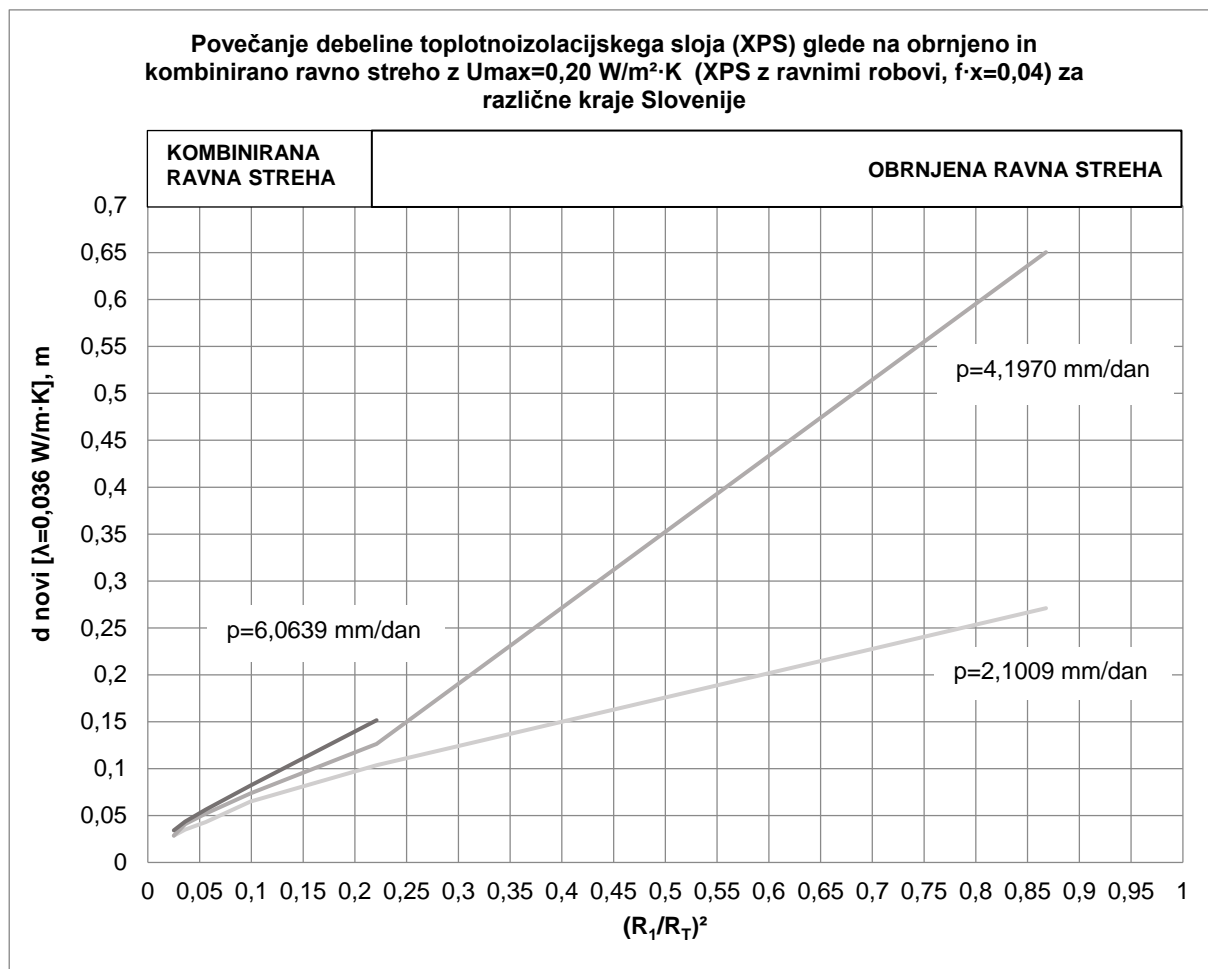
Glede na dobljene rezultate sklepamo, da se s povečano izgubo toplote skozi sistem povečajo potrebe po vgradnji večjih debelin toplotne izolacije XPS, ki se namesti v sistem obrnjene ali kombinirane ravne strehe. Tako na primer za pomursko regijo z manjšo količino padavin v zimskem času slednje pomeni vgradnjo manjših dodatnih debelin strešne toplotne izolacije v primerjavi z objekti, lociranimi na drugih delih Slovenije (glej Grafikon 14).

Spremembe toplotne prehodnosti ΔU v odvisnosti od izbire konstrukcijskega sklopa (XPS ravni robovi: $f \cdot x = 0,04$) za različne kraje Slovenije in za različne zahteve po U sistemov so prikazane v **Preglednici 4 Priloge F**.

Preglednica 37: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije (XPS) obrnjene in kombinirane ravne strehe z zahtevo po $U=0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ($f \cdot x=0,04$)

$U=0,20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $f \cdot x=0,04$ $[(\text{W} \cdot \text{dan})/(\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{mm})]$		d novi [m]			
		$(R_i/R_T)^2$	p [mm/dan]		
			Murska Sobota-Rakičan	Ljubljana-Bežigrad	Lesce
Obrnjena RS		0,86779	0,2710	0,6505	-3,4445
Kombinirana RS (EPS:XPS)	1:1	0,220933	0,1036	0,1264	0,1516
	2:1	0,099114	0,0649	0,0735	0,0819
	3:1	0,056037	0,0430	0,0521	0,0564
	4:1	0,036045	0,0350	0,0409	0,0436
	5:1	0,024991	0,0285	0,0285	0,0341

S primerjavo Preglednic 36 in 37 vidimo, da se z večanjem popravka k toplotni prehodnosti za obrnjene strehe povečujejo potrebe po večjih debelinah XPS izolacije. Povezava je razumljiva, saj s povečanim prehodom toplote skozi sistem naraščajo potrebe po večjih debelinah XPS izolacije z namenom dosege zahtevka po določenem U konstrukcijskega sklopa strehe. Z namestitvijo večjih debelin izolacije se preprečijo povečane izgube toplote skozi streho.



Grafikon 14: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije (XPS) obrnjene in kombinirane ravne strehe z zahtevo po $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($f\cdot x=0,04$)

Iz grafikonov popravka k toplotni prehodnosti (Grafikon 13) ter povečanja potrebne debeline toplotne izolacije XPS (Grafikon 14) je razvidna mejnica med kombinirano in obrnjeno ravno streho, ki jo označuje razmerje $(R_1/R_T)^2$. Prikazani rezultati so narejeni za zahtevo po najvišji dovoljeni toplotni prehodnosti konstrukcijskega sklopa strehe U_{max} ter ob najvišjem kombinacijskem faktorju $f\cdot x$, ki podaja obliko najbolj ranljivih stikov med toplotnoizolacijskimi ploščami, to so ravni robovi.

Vrednosti potrebne (celotne) debeline toplotne izolacije iz ekstrudiranega polistirena (XPS) se povečujejo s povprečno količino padavin p ter izbiro vrste sistema. V primeru kraja Lesce opazimo, da vrednosti potrebne debeline XPS v primeru obrnjene ravne strehe [ob nastopu ekstremnih pogojev: $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, $f\cdot x=0,04$ in velik p) ni možno izmeriti oziroma ima negativni predznak - d_{novi} gravitira proti ∞ . To izhaja iz vpliva ΔU , ki gravitira proti zahtevanemu U [$0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$] (glej Preglednica 36 in 37). V takih primerih se namesto sistema obrnjene ravne strehe izbere sistem kombinirane ravne strehe, se naredi izračune za toplotnoizolacijske plošče XPS z drugo vrsto stikov [$f\cdot x=0,03$] ali pa se upošteva dodatna namestitve sloja nad sloj XPS - drenažno-ločilnega sloja [$f\cdot x=0$]. V primeru dodatne namestitve drenažno-ločilnega sloja moramo opozoriti na paropropustnost materiala, saj lahko ta ob neprimerni izbiri materiala dodatno zatesni streho in prepreči toplotni izolaciji, ki s svojo sestavo omogoča dobro dihanje in prehajanje difuzijske pare [38], odvajanje vodne pare skozi konstrukcijski sklop. To lahko privede do poškodb na materialu. Difuzijske

lastnosti (koeficient difuzijskega upora μ) nameščenega sloja nad XPS, ki mora v primeru povečanja vlage v konstrukciji omogočati njeno sušenje in prezračevanje, so nezanemarljive.

Razmerje debelin: obrnjena - kombinirana ravna streha

Količina izgub toplote skozi konstrukcijski sklop strehe je močno odvisna od debeline toplotnoizolacijskega sloja in obratno. V odvisnosti od vgrajene debeline toplotnoizolacijskega sklopa se spreminja vrednost prehoda toplote skozi sistem strehe. Debelina toplotnoizolacijskega sloja se spreminja tudi glede na samo sestavo sklopa. V **Preglednicah 1, 2 in 3 Priloge F** prikazujemo izračune debelin toplotne izolacije (XPS) v primeru obrnjene/inverzne ravne strehe in kombinirane/duo ravne strehe glede na različno zahtevane vrednosti toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa U_{KS} ter zahteve po povišanih toplotnih izgubah v sistemu streh zaradi možnosti otekanja padavinske vode med sloja toplotne izolacije (XPS) ter hidroizolacije.

Ob upoštevanju največje dovoljene vrednosti prehoda toplote skozi konstrukcijski sklop ravne strehe, zahtevane po PURES 2010 in pripadajoče tehnične smernice, to je U_{max} [0,20 W/m²·K], se izračuna minimalna dovoljena debelina toplotnoizolacijskega sloja (XPS) za vgradnjo v sistem. Po istem vzorcu se izračuna tudi debeline materiala toplotne izolacije za primere nižjih (strožjih) vrednosti toplotnih prehodnostih U sistemov [0,18 W/m²·K, ..., 0,08 W/m²·K] od zahtevanega U_{max} .

Povečane potrebe po debelini XPS zaradi upoštevanja dodatnih toplotnih izgub v sistemu ravnih (standard ISO 6946 - Priloga D.4) so izračunane preko izraza $U_c = U_{KS} + (-) \Delta U$, kjer je sprememba $\Delta U = p \cdot f \cdot x \cdot (R_1/R_T)^2$, kot povišana izguba toplote skozi sistem, izračunana za tri kraje v Sloveniji (Murska Sobota, Ljubljana ter Lesce), z različnimi količinami povprečnih padavin p v času ogrevalne sezone 2013/2014 (v mm/dan). Za kombinacijski faktor $f \cdot x$ uporabimo najvišjo vrednost 0,04. Razmerje med $R_1 = R_{XPS}$ in $R_T = R_{KS}$ se spreminja glede na izbran sistem ravne strehe ter vrednost U sistema.

V primeru kombinirane strehe so prikazana različna razmerja med deležem debelin EPS in XPS v sistemu, z namenom prikaza vpliva razmerja na potrebe po povečanih debelinah XPS. Velikosti ekspandiranega polistirena EPS v sistemu kombinirane strehe se ohranjajo, ker se kot toplotna izolacija na notranji strani hidroizolacije (klasična ravna streha kot sestav kombinirane ravne strehe) v primeru precejanja vode skozi sistem strehe ne navlaži, ostane nedotaknjena in zato njene debeline niso predmet našega preučevanja. Spreminjamo vrednosti debelin XPS, ki sestavlja gornji del (obrnjena ravna streha kot sestav kombinirane ravne strehe) sistema in je zaradi same postavitve nad HI podvržena vplivom podnebnih dejavnikov ter s tem posledično izgubam toplote, ki se upoštevajo skozi spreminjane njenih debelin.

Iz preglednic **Priloge F** lahko razberemo, da se debeline toplotne izolacije XPS v primeru obrnjene in v primeru kombinirane ravne strehe povečujejo z zahtevo po manjši toplotni prehodnosti U konstrukcijskega sklopa. V obeh primerih KS opazimo povečanje debeline toplotne izolacije XPS z upoštevanjem popravka za obrnjene strehe (velja tudi za zgornji del kombinirane strehe) iz zahtev dodatka k standardu ISO 6946. S tem, ko se zmanjšuje toplotna prehodnost U sistema, se zvišuje razmerje (%) med prvotno debelino in novo zahtevano debelino ($\Delta d/d_{novi}$), ki upošteva povečanje toplotnih izgub v sistemu.

V primeru kombinirane ravne strehe variramo z razmerji ekspandiranega (EPS) in ekstrudiranega (XPS) polistirena. Izhodišče je razmerje EPS:XPS=1:1, to je sistem z istim deležem debelin toplotnih izolacij EPS in XPS, ki ga zvišujemo (1:1 → 5:1) ob istem U ; večamo debelino EPS in manjšamo debelino XPS. Prikazati želimo vpliv povišane vrednosti

EPS na velikost debeline XPS v primeru istega U in v primeru še dodatno upoštevane zahteve po povečani debelini XPS, ki je izpostavljena zunanjim vplivom. Pri isti vrednosti U se zahtevki po velikosti XPS z večanjem razmerja EPS:XPS zmanjšuje, saj se debelina EPS na osnovi višanja razmerja med vgrajenima debelinama povečuje.

V določenih primerih, kjer se upošteva popravek za obrnjene strehe, se debelina XPS ohranja. To nastopi, kadar je celoten popravek manjši od 3 % vrednosti U , izgube toplote skozi sistem so zanemarljivo majhne in popravkov ne upoštevamo. Se pravi, ko $\Delta U/U_{KS} < 3\%$, potem velja $U_c = U_{KS}$, kar pomeni, da se prvotno zahtevana debelina ohrani na račun minimalnih izgub toplote skozi sistem.

Iz preglednic **Priloge F** je razvidno, da je ob istem U v primeru izbire kombinirane ravne strehe veličina celotne oz. skupne debeline toplotne izolacije v sistemu večja kakor v primeru obrnjene ravne strehe in se zvišuje z večanjem razmerja med EPS in XPS kombinirane ravne strehe. Prvo nastopi zaradi večje toplotne prevodnosti ekspandiranega polistirena (EPS) v primerjavi s ekstrudiranim polistirenom (XPS), kar pomeni da ima EPS manjši toplotni upor oziroma skozenj stečejo večje izgube toplote. Za doseg istega U v dveh različnih sistemih potrebujemo ob dveh različnih vrednostih toplotne prevodnosti izolacij ($\lambda_{EPS} > \lambda_{XPS}$) v kombinirani ravni strehi večje dimenzije le-te v primerjavi z obrnjeno ravno streho, ki ima le eno vrsto vgrajene izolacije (λ_{XPS}). Drugo nastopi zaradi same sestave kombinirane ravne strehe, saj večino sestave toplotnoizolacijskega sloja predstavlja EPS, do česar privede že sam cenovni vidik namestitve. Plošče iz ekspandiranega polistirena imajo namreč nižjo ceno (cena /m²) v primerjavi z ekstrudiranim polistirenom. In ker se v primeru upoštevanja korigirane vrednosti U zaradi izgub toplote v sistemu upošteva le XPS, ki pa predstavlja manjši del sestave toplotnoizolacijskega sloja kombinirane strehe, so vrednosti pri izračunu dodatnih potreb po debelini manjše ali celo tako male, da so zanemarljive.

V medsebojni primerjavi vrednosti izračunov debelin toplotne izolacije XPS treh obravnavanih krajev opazimo, da so procentualne vrednosti povečanja debeline glede na prvotno zahtevano debelino v primeru obrnjene ravne strehe bistveno večje na lokaciji objekta na Notranjskem (Ljubljana-Bežigrad) ali Gorenjskem (Lesce) kot v primeru Pomurja (Murska Sobota-Rakičan). Prvotne debeline so se na primeru obrnjene ravne strehe ob zahtevi po U_{max} v Murski Soboti povišale za več kot 60% prvotno zahtevane debeline, v Ljubljani za okoli 290% ter v Lescah za vrednost, ki ni izmerljiva (∞). Slednja daje namig, da je v primeru lokacije objekta v Lescah bolje izbrati sistem kombinirane ravne strehe.

Povečanje debelin nastopi tudi pri prvotno zahtevanih debelinah toplotne izolacije v primeru kombinirane ravne strehe. Lahko bi rekli, da so se vrednosti razmerij debelin v medsebojni primerjavi krajev povišale za faktor 2 v primeru Murska Sobota - Ljubljana in Ljubljana - Lesce ter za 4-kratni faktor v primeru Murska Sobota - Ljubljana.

- Debeline XPS plošč v sestavu obrnjene ravne strehe z upoštevanjem popravkov na obrnjeni strehi glede na prvotne vrednosti projektiranih debelin narastejo od 62% pa do neizmerljivo visokih vrednosti, ki se pojavljajo pri objektih, navidezno lociranih na krajih z višjimi količinami padavin ter pri strožjih zahtevah po dosegu toplotne prehodnosti U konstrukcijskega sklopa. Za Mursko Soboto se povišane vrednosti gibljejo med 62 – 1600 %. Za Ljubljano povišane vrednosti debelin nihajo med 288 – 490%, pri nižjih U pa nastopijo tudi negativne vrednosti, ki povedo, da izbrana toplotna izolacija ni primerna za to sestavo strehe. V takih primerih izberemo toplotno izolacijo XPS s stopničastimi robovi, ki omogoča manjše prehajanje padavin skozi stike TI ali vgradimo poseben vodo-odvajalni ločilni sloj. Slednje velja tudi v primeru kraja Lesce, kjer nastopijo vrednosti, ki niso merljive.

- Debeline EPS izolacijskih plošč kombinirane ravne strehe ohranjajo vrednosti, enake prvotnim, ker nanje popravek k U nima vpliva.
- Za XPS izolacijo kombinirane ravne strehe se vrednosti povišanih debelin razlikujejo glede na kraj, kjer se obravnavan konstrukcijski sklop strehe nahaja, ter glede na razmerje EPS:XPS. Potrebe po višjih debelinah nastopajo v krajih z višjimi padavinami, saj so tu zaradi povišanih izgub toplote na račun precejanja padavinske vode med stike TI na HI potrebne za namestitvev v sistem večje debeline XPS za dosego želenega U . Povišanja nihajo med 0 – 70% za kraj Murska Sobota, od 0 – 210 % za Ljubljano in 18 – 570 % za Lesce.

V odvisnosti od vrednosti povprečnih padavin p v času ogrevalne sezone, oziroma glede na lokacijo objekta, se spreminjajo debeline toplotne izolacije XPS. Tako je v primeru nižjih vrednosti p , ki se precejajo skozi sistem, potreba po manjših dodatnih debelinah XPS kakor v primeru večje padle povprečne količine padavin p , kjer nastopijo potrebe po večjih dodatnih debelinah izolacije XPS. To velja ne glede na vrednost U konstrukcijskega sklopa. Nižje vrednosti debelin toplotnih izolacij v obeh sistemih nastopijo v primeru uporabe nižjega kombinacijskega faktorja $f \cdot x$, p ter razmerja $(R_1/R_T)^2$.

8.5 Razlaga negativnih vrednosti U_c in d_{novi} , ki nastopijo v izračunih

Ob pogoju nastopa višjih vrednosti kombinacijskega faktorja [$f \cdot x=0,04$ ali v nekaterih primerih 0,03] ter povišanih vrednosti povprečne količine padavin [p] v izkustveni enačbi (19) nastopijo vrednosti popravkov ΔU , ki presežejo zahtevane vrednosti U konstrukcijskega sklopa ($\Delta U \geq U$). Slednji privedejo do tega, da vrednosti izračunov korigirane toplotne prehodnosti U_c ter potrebne (celotne) debeline toplotne izolacije [d_{novi}] gravitirajo v ∞ , kar se v rezultatih kaže v obliki padajočih in negativnih vrednosti. Ti rezultati so še bolj izraziti ob visokem razmerju $(R_1/R_T)^2$ [~ 1], ki pomeni obravnavo konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe (glej Grafikon 15). Višje število $(R_1/R_T)^2$ pomeni nižjo toplotno prehodnost U sistema in slednje, da so v strešni sistem vgrajene večje debeline toplotne izolacije.

Ko ΔU gravitira proti zahtevanemu U , so pogoji ekstremni (nesingularnost enačbe). To se dogaja pri povišanih vrednostih $f \cdot x$, p velik ter $(R_1/R_T)^2 \sim 1$ (obrnjena ravna streha).

Vse vrednosti na »krivulji«, ki gredo v negativne vrednosti, so singularne. Singularnost je v matematiki v splošnem točka, kjer dan matematični objekt ni določen, oziroma je brez »lepih« lastnosti, kot je odvedljivost [72]. Gre za točke, ki ne dovoljujejo tangente (Grafikon 15).

Kaj pomeni, kadar ΔU gravitira proti zahtevanemu U ? Pomeni, da se izgube toplote skozi sistem ΔU povečajo do te mere, da dosežejo zahtevano velikost toplotne prehodnosti sistema U . Se pravi, da sistem izgublja vso toploto, ki ga ta v obliki toplotne prehodnosti oziroma upornosti zadržuje. Da krijemo te izgube, so potrebne enormne debeline toplotnih izolacij. Ko popravki ΔU presežejo zahtevan U , vrednosti debelin toplotnoizolacijskega materiala niso več merljive. Takrat krivulje predstavljenih vrednosti preidejo v negativne vrednosti oziroma drugače rečeno, debeline toplotne izolacije, nameščene v sistem, tečejo v ∞ . Skrajna najvišja točka prikaže do koder je možno vzpostaviti in uporabiti obravnavani sistem ravne strehe (glej Grafikon 15).

Ker je enačba (19) izkustvena enačba, lahko privede tudi do negativnih vrednosti izračunov ΔU ter d_{novi} , kar se kaže v obliki nezveznosti funkcije. V teh primerih privzamemo maksimalne vrednosti, ki predstavljajo gornjo limitno vrednosti. Primer izračuna maksimalne vrednosti je prikazan v nadaljevanju.

Vzemimo primer obrnjene ravne strehe z $U_{KS}=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ in najvišjo možno vrednost spremembe toplotne prehodnosti, to je $\Delta U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, enako zahtevi toplotne prehodnosti obravnavanega konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe ($U_{KS} = \Delta U$). Pri zahtevanem $U_{KS}=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, predstavlja popravek/sprememba $\Delta U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ naš limit. Korigirana toplotna prehodnost U_c je po izkustveni enačbi [$U_c = U - \Delta U$] v tem primeru enaka 0. Sprememba toplotne prehodnosti je sedaj enaka zahtevani toplotni prehodnosti konstrukcijskega sklopa in korigiran, popravljen, na novo zahtevan U_c je v tem primeru enak nič. Torej je tudi d_{novi} enak nič. Zato velja, da so vrednosti debelin toplotnih izolacij merljive le do nastopa $\Delta U \ll U$. V predstavljenem primeru na grafikonu to prikažemo z lokacijo kraja oziroma s količino povprečnih padavin p , kjer nastopi skrajna točka [d_{novi}] pozitivne vrednosti. Ko ΔU narašča, U_c pada. Negativne vrednosti korigiranega U_c nastopijo, ko od zahtevanega U odštejemo večje vrednosti ΔU . Slednje dosežemo ob izbiri visokih vrednosti p , faktorja $f \cdot x$ in razmerja $(R_i/R_T)^2$. Vrednosti U_c kot tudi d_{novi} gravitirajo v ∞ .



Grafikon 15: Primer nastopa negativnih vrednosti v primeru obrnjene ravne strehe z $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, ob različnih p ter $f \cdot x$

Večje ko so izgube toplote na sistemu zaradi precejanja vode skozi stike TI na HI, večje so potrebe po nastopu večjih debelin toplotnoizolacijskega materiala.

Po kratkem izračunu na primeru obrnjene strehe, ob upoštevanju $\Delta U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ in $f \cdot x=0,04$ (najvišji kombinacijski faktor, kjer nastopijo negativne vrednosti), dobimo vrednost za povprečno količino padavin p v času ogrevalne sezone, pri kateri nastopi ničelna vrednost izračuna potrebne (celotne) debeline toplotne izolacije (Grafikon 15). Zapišemo:

$$\Delta U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} = p \cdot f \cdot x \cdot (R_i/R_T)^2$$

Izberemo faktor $f \cdot x=0,04$ (konvergenca v neskončnost) ter vrednost količnika $(R_i/R_T)^2=0,8678$ za $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ za primer obrnjene strehe. Ob znanih vrednostih dobimo skrajno pozitivno merjeno točko na abscisni osi pri $p < 5,76 \text{ mm/dan}$. To pomeni, da je $p= 5,76 \text{ mm/dan}$ točka

na krivulji [$f \cdot x = 0,04$], od koder naprej debeline toplotne izolacije gravitirajo v neskončnost. Vse točke na krivulji do merljive vrednosti so nesingularne (to pomeni, da je v vsaki točki vsaj eden od parcialnih odvodov $\neq 0$, tj. da v vsaki točki obstaja tangenta) [73] oziroma da je krivulja nesingularna, nima konic (nesingularnosti) ali presekov same sebe [74]. V primeru, da leži objekt na kraju, kjer pade v času kurilne sezone v povprečju na dan več kakor 5,76 mm/dan, pomeni nastop sledečih ukrepov: uporabimo nižje vrednosti kombinacijskega faktorja, ki ga dosežemo z odločitvijo izbire XPS izolacijskih plošč z drugo vrsto stikov (stopničasti robovi) ali z namestitvijo drenažno-ločilnega sloja nad toplotnoizolacijske XPS plošče; lahko pa se odločimo za drugačno sestavo konstrukcijskega sklopa (namesto obrnjene izberemo sistem kombinirane ravne strehe).

9 POVEČANJE TOPLOTNE PREVODNOSTI TOPLOTNE IZOLACIJE ZARADI SKLADIŠČENJA VLAGE PREKO DIFUZIJE VODNE PARE

Vpliv spremembe toplotne prevodnosti (λ_{corr}) toplotne izolacije na spremembo debeline toplotne izolacije

V poglavju predstavljamo vpliv upoštevanja gradbeno-fizikalnih lastnosti sestavljene konstrukcije zunanjega ovoja na njeno sestavo oziroma razmerja debelin v njej. Obravnavamo drugi popravek, kot ga omenja standard ISO 6946 v Prilogi D.4 pri popravku za obrnjene strehe, in sicer popravek k toplotni prevodnosti toplotne izolacije. Njegov namen je upoštevanje možnosti povečanja vsebnosti vlage v toplotnoizolacijskem materialu, povzročene preko difuzije (vodne pare). Vpliv popravka je prikazan s povečanjem toplotne prevodnosti toplotnoizolacijskega materiala in s tem potreb po povečanih debelinah toplotne izolacije (XPS in EPS). V prejšnjih poglavjih smo prikazali izračune vpliva izgub toplote zaradi precejšnje padavinske vode skozi stike TI na HI na potrebe po dodatnih debelinah toplotnih izolacij za primere obrnjene in kombinirane ravne strehe, brez upoštevanja vpliva difuzije vodne pare v obliki spremembe toplotne prevodnosti toplotnih izolacij, kot to navaja standard ISO 6946. Če želimo izpolniti zahteve navedenega standarda, je potrebno konstrukcijskemu sklopu dodati toplotno izolacijo. Večja debelina pomeni večjo toplotno stabilnost objekta in večjo toplotno akumulacijo v bivalnih prostorih. Ker tradicionalni beton nima dovolj velike toplotne izolativnosti, ga moramo obdati s primerno toplotno izolacijo. Da dosežemo toplotno prehodnost obravnavanih streh med 0,20 in 0,08 W/m²·K, moramo betonsko ploščo obdati s toplotno izolacijo v debelini od 17 do 45 cm, kar prikazujemo v Preglednici 4 ter **Prilogi B**. Veljavni standardi nas tako poleg zahtev glede največjih dovoljenih toplotnih prehodnosti U zunanjega ovoja tudi obvezujejo, da se zanje preveri še difuzija vodne pare v zimskih pogojih. Ob upoštevanju vpliva povečane vlage zaradi difuzije vodne pare v obliki spremembe toplotne prevodnosti toplotne izolacije pričakujemo dodatne spremembe debelin na toplotnoizolacijskem materialu. Nepravilna sestava gradbene konstrukcijske ima lahko za posledico kondenzacijo v posameznih plasteh, kar povzroči poslabšanje U vrednosti ali celo poškodbo konstrukcije [23]. V primeru, da difuzijski izračun s programom TEDI pokaže, da v določeni varianti v zimskih pogojih nastaja kondenz, je pomembno da ta ne presega kritične vlage. Vlaga z ugodnimi pogoji se lahko hitro posuši. Zelo pomembno v primeru nastanka kondenza je njegova količina in čas sušenja ter možnost izsuševanja.

Tehnična smernica [16] v poglavju toplotne zaščite navaja pojem prehoda vodne pare. Osnovne zahteve za zasnovo gradbenih konstrukcij glede na difuzijo vodne pare so opredeljene s tem, da morajo biti stavbe projektirane in zgrajene tako, da se pri namenski uporabi in projektnih pogojih vodna para, ki zaradi difuzije prodira v gradbeno konstrukcijo, ne kondenzira (na njihovih površinah). Če pride do kondenzacije vodne pare v konstrukciji, se mora ta po koncu računskega obdobja difuzijskega navlaževanja in izsuševanja povsem izsušiti. Kondenzirana vlaga v konstrukciji ne sme povzročiti škode na gradbenih materialih (na primer korozije, nastanka plesni, poslabšanja lastnosti izolacijskih materialov).

Za zunanje gradbene konstrukcije in konstrukcije, ki mejijo na neogrevane prostore, razen za konstrukcije, ki mejijo neposredno na teren (tla, strop, stene), se zahteva račun difuzije vodne pare. Za strešne in stenske konstrukcije je podana omejitev skupne količine kondenzirane vlage na površinsko enoto, ki ne sme preseči vrednosti 1 kg/m².

Prekomerna navlaženost materialov in konstrukcij ter posledično spremenjena toplotna prevodnost je ena tistih gradbeno fizikalnih težav, ki lahko opazno vplivajo na obratovalne in vzdrževalne stroške, kakovost bivanja in ne nazadnje na trajnost in vrednost nepremičnine.

Je eden od pojavov, s katerim se srečujemo v življenjski dobi stavbe. Težava lahko nastopi tako pri starejših stavbah kot pri novogradnjah. Sanacija problemov z vlago je praviloma povezana z visokimi stroški in zapletenimi tehničnimi posegi. Tako so že v fazi projektiranja potrebni preventivni, naravi problema ustrezni ukrepi za odpravo vzrokov in sanacijo posledic. Z njimi želimo zmanjšati možnosti prekomernega navlaženja na najmanjšo možno mero in zagotoviti trajnost ter funkcionalnost stavbe in njenih sestavnih delov skozi vso življenjsko dobo [75].

Včasih se problem prekomernega navlaženja pojavi, ko konstrukciji dodamo sloje na napačnem mestu ali v napačni debelini ali s spremembo določenih oblikovnih elementov.

Materiali v naravi niso povsem suhi. Pogoj za navlaženje je njihova poroznost. V poroznih gradbenih materialih je vlaga prisotna zaradi higroskopsnosti - absorpcije vlage s kapilarnim vlekem (prodor in dvig) iz virov (zemljina, voda, ...), s katerimi je material v stiku - in zaradi akumulacije vlage kot posledice kondenzacije vodne pare.

Povečana vlažnost v stavbah ima lahko različne vzroke, med najpogostejše spadajo zamrzovanje, zamakanje - vdor vode v stavbo, kapilarni vlek vlage, kondenzacija vodne pare in poškodovana vodovodna napeljava. Vzroki za povečano vlago so različni in jih ni vedno enostavno odkriti. Ob korektni zasnovi konstrukcij in tehničnih možnostih za ustrezno ogrevanje ter prezračevanje prostorov je vzrok poškodbe zaradi vlage, nastale zaradi kondenzacije vodne pare, praviloma v neprimerni mikroklimi prostorov. Lahko pa je vzrok navlaženja notranjih slojev tudi uporaba zelo nepropustnega materiala na sistemu.

Ločimo t.i. računsko (tudi največjo dovoljeno) vlažnost materiala, ki jo uporabljamo pri določenih preverjanjih zasnove konstrukcije in »vgrajeno« oz. »gradbeno« vlago, o kateri govorimo po končani gradnji stavbe. Ta se v primeru pravilne gradnje sčasoma izsuši.

Težko je določiti mejo, kdaj govoriti o neprimerni vlažnosti. Kot vlažen ali moker material navadno označujemo material, pri katerem je vsebnost vlage tako velika, da lahko pride do poškodb materiala (poslabšanja njegovih funkcij) in/ali njegovih oblog. Stopnjo nesprejemljivosti materiala zaradi vlažnosti je težko oceniti. Običajno se preverja stopnja nasičenja materiala z vlago.

Vsebnost vlage v materialu se lahko izraža kot fizično propadanje materiala, kristalizacija soli, zmrzovanje, kemijsko propadanje pa tudi biološko propadanje.

V nekaterih primerih ni pomembna (trenutno največja) vsebnost vlage, temveč njeno nihanje, ki lahko povzroči določene nevšečnosti, kot npr. spremembe toplotnih lastnosti materiala ali dimenzijske spremembe in posledično premike konstrukcijskih elementov. Nihanje vsebnosti vlage pomembno vpliva na gostoto materiala. Materiali z majhno gostoto, kot sta EPS in XPS, so večinoma bolj porozni. Ob absorbiranju večjih količin vlage se njihova gostota poveča in s tem zviša njihova toplotna prevodnost ter zmanjša toplotni upor. Slednje je tudi del naše analize v sledečih izračunih.

Bistvenega pomena je čim hitrejše sušenje navlaženih delov stavbe. V prvi fazi sušenje poteka z izhlapevanjem površinske vlage (relativno hiter proces). Počasneje se izsušuje vlaga iz notranjosti materialov. Če potrebne toplote ne zagotovimo iz zunanjih virov, se med izhlapevanjem vode temperatura površin – navlažene predstavljajo toplotni most zaradi večje toplotne prevodnosti – še znižuje. Zato so vlažne stavbe tudi hladne stavbe.

Prodoru vlage skozi konstrukcijske sklope se praviloma izognemo z uporabo strokovno pravih rešitev zasnove detajlov in celotnih sklopov, pravilno izbiro gradbenih materialov ter izvedbo v skladu s pravili stroke [76]. Na razpolago imamo mnogo različnih vrst izolacijskega

materiala, vendar se ti močno razlikujejo glede oviranja prehoda vodni pari. Od klasičnih izolacijskih materialov se za izolacijo zunanega ovoja največ uporablja mineralna volna in polistiren. Mineralna volna, ki ima difuzijsko upornost vodni pari ($\mu = 1,1 - 2,5$), omogoča dober prehod vodne pare, medtem ko polistiren (ekspandirani in ekstrudirani), ki ima difuzijsko upornost vodni pari ($\mu = 35 - 60$), prehod vodne pare znatno ovira [77].

V nadaljevanju se podrobneje lotevamo pojma difuzije vodne pare kot enega izmed vzrokov povečanja vsebnosti vlage v gradbenem materialu.

Pojem difuzije vodne pare iz prostora v zunanost (pogovorno »dihanje sistema«) predstavlja varovanje konstrukcijskega sklopa pred prevelikim navlaževanjem in njegovimi posledicami (notranjo kondenzacijo, razvojem plesni in gob) [17].

Pojav difuzije vodne pare skozi konstrukcijski sklop je fizikalni pojav, ki nastane kot posledica razlike parcialnih tlakov vodne pare na obeh straneh sklopa. Tok vlage je usmerjen v isti smeri kot toplotni tok (oz. toplotne izgube), iz notranjega ogrevanega prostora v zunanost, kjer je notranji parni tlak bistveno višji od zunanega [17]. Gre torej za molekularni transport vodne pare, ki je posledica različnih parcialnih tlakov vodne pare v zračnih slojih, ki obdajajo gradbeni element. Parcialni tlak vodne pare je odvisen od temperature in relativne vlažnosti zraka. Če parcialni tlak vodne pare doseže mejo nasičenja, ki je odvisna od temperature, pride do pojava, ki ga imenujemo rosenje [78]. Temperatura rosišča je odvisna od notranje temperature in vlažnosti zraka. Pri izračunih toplotnega upora elementa je potrebno preveriti, ali je ravnina rosišča na primernem mestu ovoja oziroma če je navlaževanje materiala dovoljeno. V primeru, da navlaževanje ni dovoljeno, so ukrepi naslednji: namestitev parne zapore, sprememba zaporedja plasti, zamenjava materiala ali sprememba debeline plasti [22]. Difuzija vodne pare lahko postane problem pri višjih vlažnostih in neprimerno izvedenih izolacijah. Posledica zarositve zaradi difuzije vodne pare je dosti večja toplotna konduktivnost izolacije in s tem večji toplotni tok. Posebej moramo biti pozorni na ta pojav pri nizko temperaturnih izolacijah. Tu lahko difuzijski tok vodne pare zmanjšamo z uporabo parnih zapor [78].

Izmenjava ne poteka tako kot pri konvekciji prek fug, temveč prek prehajanja vlažnosti skozi monolitni zrakotesni sloj. Vnos vlažnosti v konstrukcijo je odvisen od difuzijske odpornosti (vrednost μ) materiala, ki je ena izmed dveh količin, ki nastopata pri razlagi pojma difuzije vodne pare [20].

Koeficient paro-propustnosti (koeficient prehoda vodne pare, faktor upornosti difuzije vodne pare, koeficient paro-difuzijske odpornosti) določenega materiala označujemo z μ in je brez enote. Pove, za koliko je upor proti prehodu vodne pare nekega materiala večji kot prehod vodne pare po zraku (ima vrednost $\mu = 1$) oziroma za koliko je večja difuzijska odpornost sloja v primerjavi z enako debelo plastjo zraka pod enakimi pogoji. Manjša vrednost μ pomeni manjšo odpornost, večja vrednost μ pa pomeni večjo odpornost oz. večjo parozapornost materiala [17] in [20]. Nižja kot je vrednost μ , boljša je paroprepustnost materiala [77]. Vsak gradbeni material ima specifično difuzijsko odpornost. Porozni materiali imajo praviloma majhne vrednosti μ . Vrednost μ lahko pri določenem materialu močno variira in je navedena z zgodnjo in spodnjo vrednostjo [20].

Drugo pomembno količino pri opisu pojma difuzije vodne pare predstavlja s_d – vrednost, ki predstavlja zmnožek koeficienta prehoda vodne pare μ z debelino materiala v metrih. Enota je dolžinski meter [m]. s_d – vrednost je bila uvedena predvsem za izredno tanke (folije, plošče,...) in za nehomogene gradbene materiale. Marsikateri od teh materialov je paropropusten in hkrati vodonepropusten. Manjšo s_d – vrednost imajo paropropustni

materiali. V primeru slabo paropropustnih zaključnih slojev streh (ali sten) potrebujemo parne zapore z izredno visoko s_d - vrednostjo.

Določena manjša s_d – vrednost folij ne omogoča tudi tolikokrat večjega odvajanja notranje vlage skozi konstrukcijski sklop v okolico. Posebej pa velja za toplotno izolacijo, da nekajkrat večja paropropustnost toplotno izolacijskega materiala ne predstavlja tudi tolikokrat večjo paropropustnost celotnega konstrukcijskega sklopa, saj so še kako pomembni ostali materiali in njihova paropropustnost. Zato je pri večslojnih konstrukcijah izrednega pomena vrstni red posameznih slojev. V idealnem primeru naj bi paropropustnost slojev padala iz notranjosti v smeri proti zunanosti objekta. Ravno obratno kot toplotna izolativnost, ta naj bi naraščala proti zunanosti. Splošno pravilo velja, da težave ne nastopajo, v kolikor imajo lahke konstrukcije na notranji strani sloj parne ovire z vsaj sedemkrat večjo s_d – vrednostjo kakor zunanji paropropustni sloj. Če je to razmerje manjše, lahko prihaja do kondenzacije vodne pare pri difuzijskem prehodu. Če pa je to razmerje bistveno večje, pa je lahko narobe v poletnem času, ko je potek toplote in vlage obrnjen in posebej intenziven v klimatiziranih objektih. Kolikšno s_d – vrednost določenega elementa KS potrebujemo, pokaže izračun difuzije vodne pare [17].

Kot sloji za oviranje vdora difuzijske vlage se uporabljajo parne ovire in omejujejo te vrednosti na takšni ravni, da niso škodljive za konstrukcijo. Praviloma so nameščene na toplejši strani konstrukcijskega ovoja. Parne zapore v nasprotju s parnimi ovirami preprečujejo (skoraj) vsakršno prehajanje vlage [20].

Prehod vodni pari je pri difuzijsko zaprti gradbeni konstrukciji preprečen s parno zaporo, nameščeno na notranji strani toplotne izolacije. V tem primeru je prehajanje vodne pare skozi element ovoja stavbe praktično nemogoče. V ogrevalni sezoni lahko pride zaradi previsokega deleža vodne pare v toplem notranjem zraku in nizke temperature notranjih sten do kondenzacije vodne pare na hladnih površinah in s tem do pojava plesni ter propadanja notranjega ometa. Površinsko kondenzacijo lahko preprečimo z vgradnjo toplotno izolacijskega materiala, ki omogoča čim boljši prehod vodne pare skozi konstrukcijo ter istočasno zagotavlja tudi dovolj visoko površinsko temperaturo notranje površine [77].

Ustrezna sestava konstrukcijskih sklopov s pravilno izbiro materialov in s pravilnim položajem zaščitnih in dodatnih slojev v konstrukcijskem sklopu poskrbi za pravilen prehod vodne pare oz. difuzijo vodne pare skozi različne tipe strehe v obdobju, ko obstaja razlika med parnima tlakoma na eni in drugi strani sistema, kar ni nujno pogojeno s temperaturo (najbolj običajno pa je v ogrevalnem obdobju). Ni priporočljivo, da v strešnih sistemih prihaja do nastanka kondenza. Kadar pa se to dogaja, morajo biti dani tudi pogoji za izsuševanje nastale vlage iz konstrukcije. Količina kondenza ne sme biti prekomerna, saj lahko bistveno vpliva na poslabšanje funkcije materialov (v nekaterih materialih kondenz ni dovoljen) ter na njihovo prehitro staranje. Navlaženim materialom se zviša toplotna prevodnost in s tem zmanjša toplotni upor, nekateri materiali pod vplivom vlage izgubijo trdnost in razpadajo, vlaga v sistemu lahko poškoduje nosilno konstrukcijo, kondenz v velikih količinah lahko privede do izcejanja vode v notranjost objekta, na navlaženih mestih se razrašča površinska plesen itd. [79].

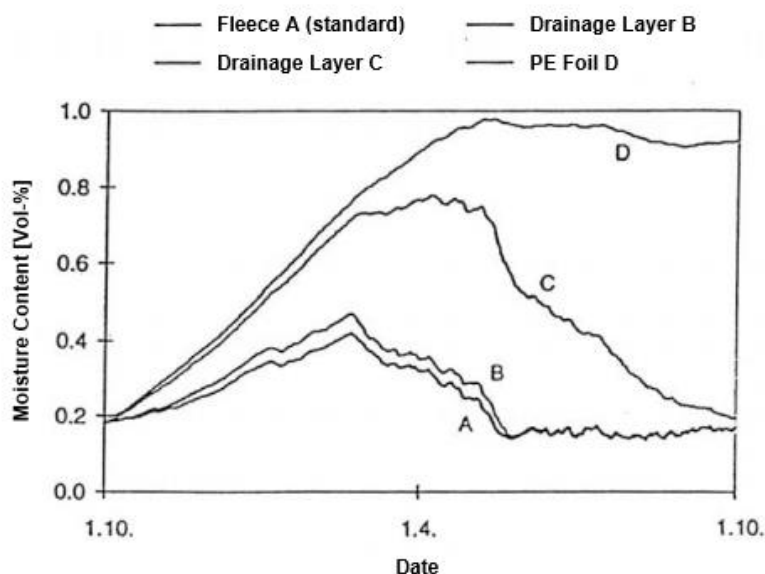
9.1 Difuzijska upornost materialov v sestavi ravnih streh

Zaščita ravnih streh proti padavinam ni zagotovljena z odvajanjem vode, kakor v primeru poševnih streh. Kopičenje vode na površini strehe je praktično neizogibno in vodotesen zaključek strehe je pri tem ključnega pomena. To je v splošnem doseženo z zagotovitvijo sloja vodotesnih fleksibilnih trakov na strehi (hidroizolacije), ki morajo biti medsebojno lepljeni ali varjeni. Projektiranje hidroizolacije zaključka strehe je tudi odvisno od toplotnih in mehanskih obremenitev glede na posamezno vrsto konstrukcije in uporabe streh. Vloga hidroizolacij pa ni samo vodotesnost, ampak v istem času tudi *visoka difuzijska odpornost; tako preko slojev pod njo ni možnosti poteka izsuševanja in ne navlaževanja konstrukcije*. Strešni hidroizolacijski materiali z nižjo paro-difuzijsko odpornostjo, kot so sintetični materiali, dopuščajo določeno količino sušenja v primeru, da nad tem slojem ni nadaljnega strešnega kritja. Taki zmerno difuzijsko odporni materiali so manj primerni za namestitev ob trajno vlažnih površinah, to je pod rastlinjem ali drugih strešnih zaključkih, ki absorbirajo vodo. To pa zato, ker se v teh primerih vlaga lahko širi tudi v drugo smer, to je v streho. In kot taki so popolnoma neprimerni za hidroizolacijo obrnjenih streh, kot to kažejo številni primeri poškodb z vodo napolnjenimi mehurčki med betonsko ploščo in hidroizolacijskim materialom. V obrnjeni strehi voda potuje skozi hidroizolacijo (preko vlage je vedno prisotna pod slojem toplotne izolacije) z osmozo. Tako so za hidroizolacije obrnjenih streh *priporočljivi visoko difuzijsko odporni ali difuzijsko tesni materiali* [50]. Ti v obrnjeni strehi prevzamejo vlogo parnih zapor. Med nasutjem in toplotno izolacijo obrnjene strehe pa mora biti vedno zagotovljen tudi ločilni sloj, ki preprečuje izpiranje drobnih delčkov nasutja med stike toplotnoizolacijskih plošč. Namesto tradicionalne ločilne membrane je lahko vgrajen *difuzijsko prepusten material, ki se vede kot vodo odvajalni sloj*, tako da je večina padavinske vode odvedena v stran še preden doseže toplotno izolacijski sloj. Učinek tega je zmanjšati toplotne izgube povzročene zaradi vode, odtekajoče med toplotno izolacijo do te mere, da ne rabijo biti upoštevane k popravku U -vrednosti [33].

S primerno uporabo materialov v obrnjeni ravni strehi (visoka difuzijska upornost $HI (=PZ)$ ter difuzijska prepustnost ločilnega sloja) se izognemo pojavu kondenzacije prej kakor v primeru tople ravne strehe, kjer previsoka difuzijska odpornost hidroizolacije ne dovoljuje primernega izsuševanja vlage iz konstrukcijskega sklopa. To velja za kritja streh z nasutjem prodca, ki predstavlja odprto, zračno, kritje. Večji problem torej predstavlja sistem kombinirane ravne strehe, kjer je problematičen predvsem spodnji del sestave strehe (topla streha) in v njem nameščena toplotna izolacija, ki je podvržena večjim vplivom difuzije vodne pare kakor toplotna izolacija v sestavu obrnjene strehe.

9.1.1 Analize raziskav na ločilnih slojih obrnjenih streh z odprtim kritjem

V članku [56] je prikazan vpliv izbire ločilnega sloja, vgrajenega v konstrukcijski sklop modificirane obrnjene strehe, na širjenje vlage v toplotnoizolacijski material XPS. Prikazan je z rezultati analize difuzijske odpornosti različnih ločilnih slojev (standardni filc, vodo-odvajalni ločilni sloj, PE folija), ki so nameščeni nad TI obrnjenih ravnih streh. Ti bistveno vplivajo na obnašanje vlage znotraj XPS s svojimi različnimi difuzijskimi lastnostmi. Porazdelitev vsebnosti vlage je vsakokrat zabeležena za obdobje enega leta od začetka obdobja rosenja do konca obdobja izhlapevanja. Absorpcija vlage in sušenje izolacijske plošče se spreminja v sezonskem ciklu v povezavi s preizkusnimi materiali A, B in C (z enakovrednimi debelinami zračnih plasti difuzije $s_d < 4,0$ m) in D ($s_d = 108$ m). Rezultati analize so pokazali, da se absorbirana količina vode ni izsušila pri uporabi PE-folije (tip D) in da se ob uporabi primerne materiala (A, B ali C) voda, ki se med zimskim obdobjem premakne v konstrukcijo, lahko izloči v zunanji zrak v času poletja.



Slika 9: Izračunana porazdelitev (vsebnost) vlage v središču XPS izolacijskih plošč (vir: raziskava EMPA, 1996, cit. po [56])

Velik vpliv na vsebnost zadržane vlage v toplotnoizolacijskem sloju in njegove lastnosti ima torej ločilni sloj, ki je nameščen v konstrukcijski sklop kot zaščita toplotne izolacije (pred atmosferskimi vplivi kot pred izpiranjem delcev nasutja). Vendar pa ima velik vpliv na samo izbiro ločilnega sloja tudi zaščitni sloj, ki je nameščen nad njim; odprto kritje (nasutje) ali zaprto kritje (rastlinje, betonske plošče,...). Izbira primerne ločilnega sloja namreč uravnava ali preprečuje smer poteka nastale vlage iz okolja v prostor ali obratno [57].

9.1.2 Sprememba toplotne prevodnosti λ_{corr} kot upoštevanje povečanja toplotne prevodnosti izolacije zaradi skladiščenja vlage preko difuzije vodne pare

Procesi izmenjave toplote in vlage, ki nastajajo v toplotni izolaciji, imajo velik vpliv na značilnosti in življenjsko dobo izolacije. Intenzivnost prenosa toplote in vlage skozi izolacijski material je odvisna od strukture, oblike, dimenzij in razporeditve por ter kapilar, v manjši meri pa od kemične sestave in fizikalnih lastnosti materiala. Prenos toplote in vlage se odvija od večjega k manjšemu potencialu [78].

Mehanizem širjenja vlage v materialu je sestavljen proces. Pretok vlage skozi kapilarno-porozni material predstavlja vsoto kapilarnega in filmskega pretoka nasičene vlage in difuzijskega pretoka vlage v obliki pare [78].

Pri nizki vlažnosti okolice se vodna para prenaša preko poroznih materialov pretežno z difuzijo vodne pare. Ko vlažnost naraste, se pore začnejo zapolnjevati s tekočo vodo in tok tekočine postane vedno bolj pomemben mehanizem transporta. Tako odpornost vodni pari pada z naraščajočo vlažnostjo zraka [80].

Na toplotno prevodnost materiala bistveno vplivajo gostota, kemijska sestava in struktura materiala, temperatura, vlažnost, oblika in velikost por. Gostota je odvisna od materiala in fluida, ki zapolnjuje pore. Z večanjem poroznosti se gostota zmanjšuje, toplotna prevodnost pa doseže vrednost toplotne prevodnosti plina, ki izpolnjuje pore. Zaradi povečanja dimenzij por prihaja do povečanja toplotne prevodnosti zaradi pojava naravne konvekcije in sevanja znotraj por. Oblika in dimenzije por zelo vplivajo na toplotno prevodnost, predvsem s stališča naravne konvekcije. Zato se priporoča čim večje število manjših zaprtih por, da se zmanjša

sevanje in koeficient difuzije vodne pare v materialu. Najprimernejša struktura je struktura izolacijskega materiala z zaprtimi porami [78].

Raziskava absorpcije vlage v izolaciji, izdelani iz toge pene ekstrudiranega polistirena, tipično uporabljene v obrnjenih strehah, je pokazala, da izolacija absorbira nezanemarljive količine vlage preko difuzije, čeprav ne izkazuje nobene absorpcije vode preko kapilarnega delovanja [37].

Tudi terenske študije na obrnjenih strehah z zaprtim kritjem kažejo na pojav kopičenja vlage v XPS izolacijskem materialu zaradi kondenzacije vodne pare, povzročene preko difuzije v obdobju ogrevanja [57]. Obrnjene strehe z zaprtimi plastmi zaradi onemogočanja vrhnjih plasti do poletnega izsuševanja vodijo do vedno večjega skladiščenja vlage v XPS izolaciji.

Med tem ko so obrnjene strehe z nasutjem, z odprtimi plastmi in funkcionalnimi, difuzijsko prepustnimi, ne vodo-zadrževalnimi sloji ter zadostnim naklonom ($\geq 2\%$) do odvodnih kanalov glede dolgoročnega skladiščenja vlage zaradi difuzije vodne pare v XPS izolacijskih ploščah, znane kot neproblematične konstrukcije. Poleti poteka popolna izsušitev zimske kondenzacijske plasti v prerezu toplotne izolacije. To kažejo praktične in teoretične raziskave [57].

Z izvedenimi študijami je znano, da je od zasnove in klimatskih robnih pogojev odvisna naraščajoča vsebnost vlage v času življenjske dobe strehe zaradi vodne pare (difuzija), ki se pojavi v XPS izolaciji in vodi do postopnega povišanja toplotne prevodnosti XPS izolacije. Da bi ovrednotili na konkretnem primeru pričakovano poslabšanje toplotne prevodnosti v obliki $\Delta\lambda$, nimamo še do danes zadovoljivih postopkov popravka [57].

Katerakoli toplotna izolacija, uporabljena v obrnjeni topli strehi, bo absorbirala vlago z difuzijo. Tudi ponavljajoči cikli zmrzali in taljenja vplivajo na toplotno izolacijo kot povišana količina absorbirane vode. Na učinkovitost toplotne izolacije torej neposredno vpliva količina vlage, ki jo ta vsebuje [68].

9.1.3 Izsledki analiz in diskusija

Glede upoštevanja povišanja toplotne prevodnosti toplotnoizolacijskega materiala preko skladiščenja vlage zaradi difuzije vodne pare ne obstaja še noben splošno primeren postopek ocenjevanja [57]. Standard ISO 6946 se sklicuje v Prilogi D.4.4 na potrebo po popravku toplotne prevodnosti toplotne izolacije, ki se izvede temelječ na standardu ISO 10456 [80]. S pomočjo postopka iz standarda pretvorimo deklarirano vrednost toplotne prevodnosti $[\lambda_D]$, izvzeto iz kataloga [45] proizvajalca FRAGMAT, v povišano projektno vrednost $[\lambda_{corr}]$, upoštevajočo vpliv možnosti povečanja vsebnosti vlage v materialu zaradi difuzije vodne pare.

Postopki določanja nazivnih (oziroma deklariranih) in projektnih toplotnih vrednosti za toplotno homogene gradbene materiale in proizvode so določeni s standardi [81].

Za določanje toplotnoizolacijskih lastnosti so v preteklosti (v skladu z določili o toplotnih izolacijah) uporabljali t. i. računske vrednosti. Te so bile povzete po ustreznih tehničnih pravilih. V okviru evropskih standardov ta merska vrednost ustreza tudi vrednosti pri izdelavi. Dosedanje računske vrednosti so s prihodom novega standarda prešle v projektne vrednosti. Ta naj bi opisovala tipično obnašanje produkta po vgradnji, torej upošteva staranje kot tudi klimatsko pogojeno vlažnost [20].

Nazivna ali deklarirana toplotna vrednost je pričakovana vrednost toplotnih lastnosti gradbenega materiala ali izdelka [81].

Projektna toplotna vrednost je vrednost toplotnih lastnosti gradbenega materiala ali izdelka pri nekaterih zunanjih in notranjih pogojih, ki jih je mogoče obravnavati kot tipično obnašanje materiala ali proizvoda, ko je vgrajen [81].

Med proizvodnjo toplotnoizolacijskega materiala je njegova prevodnost (vrednost λ) pod vplivom sprememb v proizvodnem procesu. Njegova vrednost v uporabi pa je pod vplivom staranja, stiskanja in prisotnosti vlage. Da se zagotovi izračun projektne U -vrednosti kot zanesljiv izračun, standardi izdelkov zahtevajo od proizvajalca uporabo deklarirane vrednosti λ_D za njihove izdelke. Deklarirane vrednosti so prišle z statistično analizo, ki zagotavlja da 90% proizvodnje doseže citirano vrednost toplotne prevodnosti z 90% stopnjo zaupanja (zato izraz $\lambda_{90/90}$, $\lambda_{90/90}$) [68].

Deklarirana prevodnost mora ustrezati standardom za proizvode in vključevati popravke k vlagi v skladu z ISO 10456:2007 (ali smernico ETAG 031-1) za navedene mejne vrednosti absorpcije vode preko difuzije (EN 12088:1997) in absorpcije vode z zamrzitvijo-taljenjem (EN 12091:1997).

V nalogi se osredotočamo na absorpcijo vode preko difuzije vodne pare.

Smernica ETAG 031-1 zahteva popravek deklarirane toplotne prevodnosti katerekoli toplotne izolacije, uporabljene v obrnjeni topli strehi, s faktorjem pretvorbe vlage F_m , ki je izračunan v skladu s ISO 10456 in ETAG 031-1 (poglavje 5.6.1.2.) [68].

Deklarirana vrednost toplotne prevodnosti (λ_D) toplotne izolacije je pomnožena z F_m z namenom dosega popravljenih vrednosti toplotne prevodnosti (λ_{corr}), ki je potem uporabljena pri določitvi U vrednosti konstrukcije [68].

Standard ISO 10456 opredeljuje faktor F_m (dodatek, pribitek) za vpliv vlage na toplotno prevodnost, vendar pa manjka predpis, kako učinkovito oceniti končno določeno skladiščenje vlage preko kondenzacije z difuzijo vodne pare v XPS izolaciji v konstrukciji obrnjene strehe [57].

V Tabeli 4 standarda ISO 10456 opredeljen ekstrapoliran faktor f_ψ je prav tako omejen, in sicer na vrednost segajočo do 10% povečanja vsebnosti vlage, medtem ko praktične izkušnje na konstrukcijah obrnjenih streh kažejo, da se glede na naravo vrhnje zaščite (količine obstoječe zadrževane vlage) in zunanjih robnih pogojev (podnebna lokacija, izpostavljenost) lahko pojavijo tudi precej večja povečanja vsebnosti vlage [57].

V nadaljevanju je prikazan popravek k toplotni prevodnosti toplotnoizolacijskih materialov XPS in EPS, ki nastopata v obravnavanih sistemih ravnih streh. Izračun popravka je narejen po postopku iz standarda ISO 10456, kot to zahteva standard ISO 6946. Prikazujemo pa tudi postopek popravka po evropski smernici za sisteme obrnjenih streh ETAG 031-1.

9.2 Popravki k toplotni prevodnosti: ISO 10456, Priloga B

Izračuni prenosa toplote in vlage zahtevajo projektne vrednosti termičnih lastnosti ter lastnosti vlage za materiale, ki se uporabljajo v gradbeništvo. Projektne vrednosti so lahko pridobljene iz deklariranih (nazivnih) vrednosti, ki temeljijo na izmerjenih podatkih za zadevni izdelek: to je običajno v primeru toplotno izolacijskih materialov. Kadar se projektne pogoji razlikujejo od teh z deklarirano vrednostjo, se morajo podatki pretvoriti v veljavne pogoje, katerih metode in podatke za to početje omogoča ISO 10456. Za materiale, za katere izmerjene vrednosti niso na voljo, se projektne vrednosti lahko pridobi iz tabel, ki jih zagotavlja standard (ISO 10456) s tabelaričnimi podatki, temelječimi na zbranih obstoječih podatkih [80].

Standard [80] določa metode za določanje deklariranih in projektnih toplotnih vrednosti za toplotno homogene gradbene materiale in proizvode, skupaj s postopki za pretvorbo vrednosti ter podaja koeficiente pretvorbe za temperaturo in vlago.

Deklarirana in projektna toplotna vrednost, definirani v standardu (uporabljajo se izrazi in definicije ISO 7345):

Deklarirana (nazivna) toplotna vrednost

Pričakovana vrednost toplotne lastnosti gradbenega materiala ali proizvoda

- ocenjena preko izmerjenih podatkov pri referenčnih pogojih temperature in vlažnosti,
- dana za navedeno frakcijo in stopnjo zanesljivosti,
- ustrezajoča razumni pričakovani življenjski dobi storitev pod normalnimi pogoji.

Deklarirana vrednost je ocenjena vrednost statistične vrednosti.

Projektna toplotna vrednost

Vrednost toplotne prevodnosti gradbenega materiala ali izdelka pod posebnimi zunanji in notranji pogoji, ki jih je mogoče obravnavati kot tipične za obnašanje pri tem materialu ali izdelku, kadar je vključen v gradbeni element.

Opomba: Podan izdelek ima lahko več kot eno projektno vrednost, za različne aplikacije ali okoljske pogoje [80].

9.2.1 Določanje projektne toplotne vrednosti

Projektne vrednosti se lahko pridobijo iz deklariranih vrednosti, merjenih vrednosti ali tabeliranih vrednosti. Pretvorba podatkov se opravi v skladu s postopkom, danem v Poglavju 7 standarda ISO 10456. Projektna vrednost je izračunana iz deklarirane vrednosti in temelji na istem statističnem vrednotenju.

Projektna vrednost za toplotno prevodnost se zaokroži na najbližjo višjo vrednost toplotne prevodnosti v wattih na meter kelvin (W/(m·K)).

Pretvorba toplotnih vrednosti

Pretvorba toplotnih vrednosti iz enega sklopa pogojev (λ_1) v drugi sklop pogojev (λ_2) se izvede v skladu z naslednjim izrazom:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a \quad (23)$$

Pretvorbeni koeficienti se izvzamejo iz tabel v tem standardu. Drugače pa se lahko pridobijo iz izmerjenih podatkov, pridobljenih v skladu s preskusnimi metodami, navedenimi v standardu.

Pretvorba za temperaturo - F_T

$$F_T = e^{f_T(T_2 - T_1)} \quad (24)$$

- f_T koeficient pretvorbe temperature;
- T_1 temperatura prvega sklopa pogojev;
- T_2 temperatura drugega sklopa pogojev;

Vrednosti koeficienta pretvorbe temperature za izolacijske in gradbene materiale so dane v Prilogi A standarda.

OPOMBA 1: Vpliv temperature na toplotne lastnosti drugih materialov v splošnem ni pomembna za izračune prenosa toplote in se običajno lahko zanemari, kot to navaja standard ISO 10456.

Vpliv temperature na toplotne lastnosti materiala zanemarimo.

Pretvorba za vlago - F_m

Faktor F_m za vsebnost vlage je določen kot sledi:

- a) Pretvorba vsebnosti vlage, dana kot masa z maso:

$$F_m = e^{f_u(u_2 - u_1)} \quad (25)$$

Kjer je

- f_u koeficient pretvorbe vlage mase z maso;
 u_1 vsebnost vlage mase z maso v prvem sklopu pogojev [kg/kg];
 u_2 vsebnost vlage mase z maso v drugem sklopu pogojev [kg/kg].

- b) Pretvorba vsebnosti vlage, dana kot volumen z volumnom:

$$F_m = e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)} \quad (26)$$

Kjer je

- f_ψ koeficient pretvorbe vlage volumen z volumnom;
 ψ_1 vsebnost vlage volumen z volumnov v sklopu prvih pogojev [m³/m³];
 ψ_2 vsebnost vlage volumen z volumnov v sklopu drugih pogojev [m³/m³].

Vrednosti koeficientov pretvorbe vlage za izolacijo in gradbene materiale so dani v Tabeli 4 standarda ISO 10456.

Pretvorba starosti - F_a

Staranje je odvisno od vrste materiala, oblog, strukture, penila, temperature in debeline materiala. Za dani material je učinek staranja mogoče dobiti iz teoretičnih modelov, potrjenih preko eksperimentalnih podatkov. Ni preprostih pravil za dani material glede sovpadanja staranja s časom.

OPOMBA 2: V obravnavanem mednarodnem standardu (ISO 10456) za izpeljavo faktorja staranja F_a niso dani nobeni pretvorbeni koeficienti. Postopki za določitev vrednosti staranja ali faktorja staranja so dani v nekaterih standardih za proizvode.

Vpliv staranja zanemarimo.

Projektne toplotne vrednosti za izolacijo morajo biti pretvorjene na primerne projektne pogoje z uporabo pretvorbenih koeficientov iz Priloge A in Tabele 4 standarda [80].

Tabela 4 podaja projektne vrednosti za specifično toplotno kapaciteto in informacijo glede vsebnosti vlage, koeficienta pretvorbe za vlago in faktorje upora vodni pari za izolacijske materiale in gradbene materiale. Vsebnosti vlage materialov in proizvodov so dane pri zraku temperature 23°C in relativne vlažnosti 50% in 80%. Razponi gostot in vsebnosti vlage prikazani v tabeli 4 kažejo na obseg možnosti uporabe podatkov. Podatki so okvirni in v ravnovesju z vsebnostjo vlage materialov, ki se pojavljajo v tipični uporabi v gradbeništvo. Niso uporabni za situacije z visoko vlago.

Po postopku iz smernice ETAG 031-1 se projektna vrednost toplotne prevodnosti toplotne izolacije obrnjenih streh določa kot zmnožek deklarirane vrednosti lambde toplotne izolacije (λ_D) in faktorja vsebnosti vlage F_m . S tem izračunom dobimo popravljeno lambda vrednost (λ_{corr}), ki se uporabi pri nadaljnjem določanju U -vrednosti. Po izrazu iz smernice se popravljena vrednost toplotne prevodnosti računa po izrazu:

$$\lambda_{corr} = \lambda_D \cdot F_m \quad (27)$$

Kjer je F_m izpeljan iz:

- f_ψ koeficient pretvorbe vlage z volumnom
- Ψ_{cor} vsebnost vlage z volumnom [m^3/m^3], ki vključuje absorbirano vlago z difuzijo (Ψ_{dif}) in dodatno absorpcijo (Ψ_{FT}), izhajajočo iz cikla zmrzali-taljenja.

$$F_m = e^{f_\psi \cdot \Psi_{cor}} \quad (28)$$

f_ψ se določi po ISO 10456 ali po Prilogi B smernice ETAG 031-1, kjer je podana metoda določanja f_ψ .

Ψ_{cor} se določi z izrazom:

$$\Psi_{cor} = \Psi_{dif} + \Psi_{FT} \quad (29)$$

Ker ne upoštevamo vpliva dodatne absorpcije vlage iz cikla zmrzali in taljenja, velja

$$\Psi_{cor} = \Psi_{dif} \quad (30)$$

Ψ_{dif} vpijanje vode z difuzijo se določi po (EN 12088) ali ETAG 031-1 (z oznako WD(V)), kjer za toplotnoizolacijske plošče velja:

EPS < 100mm WD(V)5
EPS ≥ 100mm WD(V)3

XPS < 50mm WD(V)5
XPS ≥ 50mm WD(V)3

Vpijanje vlage toplotnoizolacijskega materiala preko difuzije vodne pare je predstavljeno v odvisnosti od debeline nameščene toplotne izolacije v sistemu. Vrednosti podane v smernici ETAG 031-1 predstavljajo velike vrednosti za toplotne izolacije v primeru dolgoročnega vpijanja vode preko difuzije.

9.2.2 Izračun projektne toplotne prevodnosti toplotne izolacije

Za izračune projektnih vrednosti toplotne prevodnosti toplotnih izolacij uporabimo enačbo (26) postopka iz standarda, saj ob izbiri enačbe (25) ta ne podaja podatka za koeficient f_u . Projektno toplotno prevodnost obeh vrst toplotnih izolacij določimo s pretvorbo znane deklarirane (nazivne) toplotne prevodnosti s pomočjo pretvorbenih koeficientov. Pri izračunih zanemarimo vpliv staranja F_a in temperature F_T , kot to prikazuje tudi primer izračuna pretvorbe v standardu ISO 10456.

(1) XPS toplotna izolacija

Za toplotno izolacijo XPS računamo toplotno prevodnost, za katero je predvidena vsebnost vlage $0,010 \text{ (m}^3/\text{m}^3)$. Deklarirana vrednost toplotne prevodnosti za ta produkt, ki je statistična vrednost, znaša $\lambda_D = 0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Standard podaja pretvorbo dveh projektnih vrednosti, ena predstavlja enako fraktilo kot deklarirana vrednost in druga predstavlja srednjo vrednost. Zanima nas prva statistična vrednost.

Koeficient pretvorbe, potreben za naše izračune, je faktor za vsebnost vlage F_m . Uporabimo izraz:

$$F_m = e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)}$$

Koeficient pretvorbe za vlago je dan v tabeli 4:

$$f_\psi = 2,5 \text{ (za XPS)}$$

$$\text{in ob znanem } \psi_2 = 0,010 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

pretvorbeni faktor postane:

$$F_m = e^{(2,5(0,010-0))} = 1,0253$$

Pretvorjena toplotna prevodnost postane:

$$\lambda_2 = 0,036 \cdot 1,0253 = 0,0369113$$

Projektna vrednost je najbližja višja vrednost zaokrožena na $0,001 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$:

$$\lambda = 0,037 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}.$$

Povišana toplotna prevodnost glede na prvotno projektirano toplotno prevodnost predstavlja 2,78% povišanje vrednosti. Ker je delež povišanja odvisen od količine obstoječe zadrževane vlage in vrste uporabljenih penjenih plinov za proizvodnjo XPS izolacijskih materialov, glede na navedbe članka [57], pretvorjena vrednost ni primerna za presojo.

(2) EPS toplotna izolacija

Deklarirana (statistična) vrednost toplotne prevodnosti za produkt toplotne izolacije EPS znaša $\lambda_D = 0,037 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

$$F_m = e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)}$$

Koeficient pretvorbe za vlago iz tabele 4 standarda:

$$f_\psi = 4,0 \text{ (za EPS)}$$

$$\text{in ob znanem } \psi_2 = 0,010 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

pretvorbeni faktor postane:

$$F_m = e^{(4,0 \cdot (0,010 - 0))} = 1,0408$$

Pretvorjena toplotna prevodnost postane:

$$\lambda_2 = 0,037 \cdot 1,0253 = 0,038 \ 509 \ 9$$

Projektna vrednost je najbližja višja vrednost zaokrožena na 0,001 W/(m·K):

$$\lambda = 0,039 \text{ W/(m·K)}.$$

Povišana toplotna prevodnost glede na prvotno projektirano toplotno prevodnost predstavlja 5,41% povišanje vrednosti. Delež povišanja toplotne prevodnosti EPS izolacije kaže na višji odstotek povečanja vrednosti kot v primeru pretvorbe vrednosti toplotne izolacije XPS. Do tega prihaja v največji meri zaradi razlik v vrednosti faktorja f_ψ . Glede na dobljene rezultate popravljenih toplotnih prevodnosti toplotnoizolacijskih materialov sklepamo, da ima povečana vsebnost vlage v toplotnoizolacijskem materialu zaradi difuzije vodne pare večji vpliv na EPS kot XPS izolacijski material.

V nadaljevanju projektno vrednost toplotne prevodnosti označujemo z oznako λ_{corr} , ki predstavlja popravljen toplotno prevodnost toplotnoizolacijskega materiala po zahtevah (ISO 6946, D.4.4) popravka k toplotni prevodnosti, kot dela popravka za obrnjene strehe.

V kombinirani ravni strehi upoštevamo spremembe toplotne prevodnosti tako za XPS kot EPS toplotno izolacijo.

Standard ISO 6946 v Prilogi D.4 (popravek za obrnjene strehe) zahteva popravek k toplotni prevodnosti zaradi možnosti povečanja vsebnosti vlage v njej zaradi difuzije vodne pare. Popravek k λ je določen s postopkom iz ISO 10456. Vendar pa ta postopek zanemari upoštevanje klimatskih pogojev (temperatura, vlaga) in staranje materiala, pa tudi sestavo in vrstni red slojev v konstrukcijskem sklopu. Tako se upošteva le volumski procent povečanja vlage v toplotnoizolacijskem materialu.

Za uporabo postopka pretvorbe toplotne prevodnosti po standardu ISO 10456 ni konkretno podanih podatkov za potrebe naših izračunov. Glede na to, da je le-ta priporočen s strani standarda ISO 6946, se pričakuje, da bo tudi postopek za popravilo k toplotni prevodnosti iz ISO 10456 podan jasneje in konkretnije.

Upoštevanje vpliva vlage na toplotno prevodnost toplotne izolacije v uporabi obrnjenih streh je z dolgoročnega vidika v skladu s ISO 10456 nemogoča. Doslej v ISO 6946 in ISO 10456 integrirane metode popravka za upoštevanje vpliva vlage na toplotno prevodnost izolacijskih materialov za uporabo v obrnjenih strehah so neprimerne [57].

9.3 Izsledki analiz in diskusija – Vpliv možnosti povečanja vsebnosti vlage zaradi difuzije vodne pare na toplotno prevodnost toplotne izolacije

V delu popravka za obrnjene strehe (Priloga D.4) standarda ISO 6946 je podan popravek k toplotni prevodnosti toplotne izolacije, o katerem smo podrobneje pisali v prejšnjem podpoglavju. Ta se glede na navedbe standarda [21] popravi v skladu s postopkom, danim v Prilogi B standarda ISO 10456. Proizvajalčevo deklarirano toplotno prevodnost (λ_D) toplotne izolacije pretvorimo v projektno ali tako imenovano popravljen (korigirano) toplotno prevodnost (λ_{corr}).

Vpliv λ_{corr} v obliki povečane toplotne prevodnosti na izračune minimalnih potrebnih (celotnih) debelin toplotne izolacije obrnjene in kombinirane ravne strehe glede na zahteve po U vrednosti konstrukcijskega sklopa ni za zanemariti.

Vrnimo se na prvotne izračune najmanjših dovoljenih debelin toplotnih izolacij, izračunanih glede na zahtevke po vnaprej znanih/želenih toplotnih prehodnostih obravnavanih sistemov (glej Preglednica 4 in Priloga B). Z željo po ohranitvi U -vrednosti konstrukcijskih sklopov, se zavedamo, da s tem tudi obenem ohranjamo toplotno upornost konstrukcijskega sklopa, ki je seštevek vseh toplotnih uporov zaporednih plasti sistema. Posamezni toplotni upori sestavnih materialov sistema se tako ohranjajo skozi izračune, so konstantni. Našo spremenljivko predstavlja debelina toplotnoizolacijskega materiala. Ker pa se z zahtevki po popravljeni toplotni prevodnosti toplotne izolacije povišajo vrednosti toplotne prevodnosti, ob konstantnem toplotnem upor materiala, pričakujemo tudi zahtevke po povečanih debelinah le-te. Glede na enačbo (3) lahko trdimo, da se za ohranitev toplotnega upora ob povišanju toplotne prevodnosti materiala, mora povečati debelina le-tega. S tem se ohranja zahtevke po toplotni prehodnosti U konstrukcijskega sklopa. Lahko pa vpliv spremembe fizikalnih lastnosti materiala pogledamo iz drugačne smeri. Ob znani sestavi konstrukcijskega sklopa, z znanimi debelinami, se s spremembo toplotne prevodnosti določenega materiala spremeni toplotni upor tega materiala in s tem tudi toplotna upornost ter toplotna prehodnost celotnega sistema. Z ohranitvijo debelin toplotnoizolacijskega materiala prikažemo vpliv povišanja toplotne prevodnosti slednjega na povišanje toplotne prehodnosti celotnega sistema ravne strehe. Z željo po dosegu nižje vrednosti U moramo zato povečati dimenzije debelin toplotne izolacije, s čimer povišamo upor prehodu toplote skozi sistem, kar se pokaže že pri zahtevkih po strožjih U (glej Preglednica 4).

Z vplivom difuzije vodne pare, ki se kaže v povečani vrednosti toplotne prevodnosti toplotne izolacije v obliki λ_{corr} , pričakujemo tudi potrebe po povečanih debelinah toplotne izolacije sistema, v odvisnosti od zahtevanega U .

Ker se zavedamo, da se že v osnovi z upoštevanjem popravka k toplotni prevodnosti toplotnoizolacijskega materiala (λ_{corr}), povečajo debeline le-tega ob zahtevi po določenem U , pričakujemo ob upoštevanju toplotnih izgub z upoštevanjem dodatka k U iz ISO 6946 (D.4.3) zaradi precejanja vode med stike toplotnoizolacijskih plošč še dodatne potrebe po povišanih vrednostih debelin toplotnih izolacij.

V sledečih izračunih povišana λ_{corr} toplotne izolacije nastopa že v projektni fazi. V prvotno zasnovani sestavi konstrukcijskega sklopa upoštevamo vpliv popravka k toplotni prevodnosti toplotnoizolacijskega materiala.

V nadaljnje želimo prikazati skupen vpliv obeh popravkov na spremembe debelin toplotnoizolacijskega sloja. Govorimo o dveh ločenih popravkih, ki ju v izračunih zadnjega poglavja naloge prikazujemo hkratno.

Rezultati obravnavanih sistemov ravnih streh so prikazani ločeno.

9.3.1 Obrnjena ravna streha

Konstrukcijski sistem projektiramo na vnaprej predpisane toplotne prehodnosti U . Ob tej predpostavki in znanih sestavah konstrukcijskega sklopa ravne strehe se ponovno lotimo izračunov minimalne potrebne debeline toplotno izolacijskega sloja XPS, z upoštevanjem popravka k toplotni prevodnosti po dodatku D.4.4 standarda ISO 6946, ki je sedaj predstavljena z vrednostjo λ_{corr} .

Preglednica 38: Popravek k toplotni prevodnosti - Sprememba debeline XPS ob upoštevanju povečanja toplotne prevodnosti XPS zaradi vpliva možnosti povečanja vsebnosti vlage zaradi difuzije vodne pare v obrnjeni ravni strehi

VRSTA KONSTRUKCIJSKEGA SKLOPA RAVNE STREHE	OBRNJENA STREHA			
VRSTA ZAHTEVANE TOPLOTNE IZOLACIJE V SISTEMU	XPS [$\lambda=0,036 \text{ W/m}\cdot\text{K}$], [cm]	XPS [$\lambda_{\text{corr}}=0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$], [cm]	Δd [cm]	Δd [%]
U KS [$\text{W/m}^2\text{K}$]	POTREBNA MIN. DEBELINA	POTREBNA MIN. DEBELINA		
$\leq 0,20^*$	16,8	17,3	0,5	2,98
$\leq 0,18$	18,8	19,3	0,5	2,66
$\leq 0,15$	22,8	23,4	0,6	2,63
$\leq 0,12$	28,8	29,6	0,8	2,78
$\leq 0,10$	34,8	35,8	1,0	2,87
$\leq 0,08$	43,8	45,0	1,2	2,74

* U_{max} konstrukcijskega sklopa (KS) po PURES 2010 (Zahteve PRAVILNIKA o učinkoviti rabi energije v stavbah UL RS 52/2010 (PURES 2010)), ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$).

Z upoštevanjem možnosti povečanja vsebnosti vlage zaradi difuzije vodne pare v obliki povišane toplotne prevodnosti toplotne izolacije nastopijo potrebe po namestitvi večjih debelin le-te v sistem obrnjene strehe.

Z nižjimi, strožjimi vrednostmi toplotne prehodnosti (U) sistema s spremenjeno – povišano - lambda toplotne izolacije se zvišuje razlika med potrebno minimalno debelino XPS izolacije z različnima toplotnima prevodnostma v samem konstrukcijskem sklopu. Debeline toplotne izolacije s projektno (popravljenno/ korigirano) toplotno prevodnostjo se od prvotno računanih debelin toplotne izolacije z deklarirano toplotno prevodnostjo razlikujejo za 0,5 cm pa do 1,2 cm, v odvisnosti od zahtevane toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa.

9.3.2 Kombinirana ravna streha ter primerjava razmerij debelin med sistemoma kombinirane in obrnjene ravne strehe

Povečane vrednosti debelin toplotnoizolacijskega materiala kombinirane ravne strehe zaradi možnosti povečanja vsebnosti vlage v le-tej na račun difuzije vodne pare so prikazane v preglednici **Priloge G**. Za primerjavo podajamo tudi prikaz vpliva popravka na debeline toplotne izolacije obrnjene ravne strehe.

V **Prilogi G** so prikazane povišane vrednosti debelin toplotnih izolacij obeh obravnavanih konstrukcijskih sklopov ravnih streh, glede na zahteve po ustrezni toplotni prehodnosti U konstrukcijskega sklopa, z upoštevanjem možnega povečanja vsebnosti vlage v XPS in EPS izolacijskih ploščah zaradi nastanka difuzije vodne pare, kot to zahteva ISO 6946 v prilogi za popravke k obrnjenim streham. Vpliv difuzije vodne pare je prikazan kot sprememba toplotne prevodnosti XPS in EPS s povišano vrednostjo le-te.

Upoštevamo spremembo toplotne prevodnosti vseh, v sistem nameščenih, toplotnih izolacij, torej tako XPS kot EPS izolacij, kar je pomembno predvsem za primer kombinirane ravne strehe. Obrnjena streha naj bi s svojo sestavo preprečevala pojav vlage v sistemu zaradi difuzije vodne pare, med tem ko je ta pojav v primeru kombinirane ravne strehe, kjer je del toplotne izolacije (EPS) nameščene tudi na notranjo stran sistema, bolj verjeten.

V obeh konstrukcijskih sklopih ravnih streh se povečajo potrebe po minimalnih debelinah toplotne izolacije s tem, ko se poveča vrednost njene toplotne prevodnosti. Ob pogoju zahtevka po ohranitvi toplotne prehodnosti U konstrukcijskega sklopa se ob spremenjeni (povišani) toplotni prevodnosti λ toplotne izolacije dogodijo zahteve po povečanih debelinah toplotne izolacije. Se pravi, da se debeline toplotne izolacije spreminjajo v odvisnosti od vrednosti same toplotne prevodnosti materiala, kar povemo že z enačbo (3).

Rezultati povečanih debelin toplotnoizolacijskega materiala kombinirane ravne strehe ne odstopajo za velike vrednosti od rezultatov primera prvotno zasnovanih debelin kombinirane ravne strehe, kjer se možnost povečanja vsebnosti vlage zaradi difuzije ne upošteva. Do večjih sprememb v debelinah kombinirane ravne strehe prihaja pri višjih razmerjih debelin EPS:XPS.

Vpliv deleža razmerja EPS:XPS bistveno vpliva na potrebno računano celotno debelino v sistemu. Z večanjem razmerja med njima na račun večjih debelin EPS ter nižjih XPS se povečujejo tudi potrebne celotne debeline toplotnoizolacijskega materiala kombinirane ravne strehe. K temu doda svoj vpliv še upoštevanje povišane vrednosti toplotne prevodnosti [λ_{corr}]. S strožjimi zahtevami po toplotni prehodnosti v sistemu prihaja večinoma s povišano toplotno prevodnostjo toplotne izolacije tudi večanje debeline le-te. Povečanja debeline EPS izolacij nihajo med 0,3 cm in 2 cm, med tem ko povečanja prvotnih debelin XPS od 0,1 cm do 0,9 cm.

V primerjavi z obrnjeno ravno streho opazimo, da je procentni delež povečanih debelin pri teh nižji kakor v primeru kombinirane ravne strehe. Sklepamo, da zaradi razlik v njuni sestavi in razmerja deležev toplotne izolacije v sestavi kombinirane strehe. Kombinirana ravna streha ima v sestavi dve različni vrsti ravnih streh, kjer imata toplotni izolaciji tudi različni toplotni prevodnosti.

V nadaljevanju prikazujemo vpliv povečanja potrebnih (celotnih) debelin toplotne izolacije ob upoštevanju obeh popravkov, danih v dodatku D.4 standarda ISO 6946 [21] kot popravki za obrnjene strehe. Tako upoštevamo popravek k toplotni prehodnosti z ΔU zaradi upoštevanja dodatnih izgub toplote v sistemu na račun precejanja vode med stike XPS in popravek k toplotni prevodnosti s povišano λ_{corr} , ki upošteva možnost povečane vsebnosti vlage v toplotni izolaciji povzročene preko difuzije vodne pare. Z zagotovostjo lahko trdimo, da se že na osnovi zahtev po povečanih debelinah toplotnih izolacij na račun povišane toplotne prevodnosti povečajo tudi debeline le-teh ob upoštevanju popravka k toplotni prehodnosti konstrukcijskega sklopa obrnjene (in kombinirane) ravne strehe zaradi upoštevanja dodatnih toplotnih izgub na račun precejanja vode skoti stike XPS izolacije. Slednji popravek pokaže potrebe po večjih debelinah toplotne izolacije že ob deklariranih (prvotnih) vrednostih toplotne prevodnosti toplotnoizolacijskega materiala.

10 POPRAVEK K TOPLOTNI PREHODNOSTI KONSTRUKCIJSKEGA SKLOPA SKUPAJ S POPRAVKOM K TOPLOTNI PREVODNOSTI TOPLOTNE IZOLACIJE

Poglejmo na kratko na primeru obravnavanih konstrukcijskih sklopov ravnih streh še upoštevanje obeh popravkov hkrati; popravek zaradi toplotnih izgub, nastalih od precejanja padavin skozi stike toplotnoizolacijskih plošč XPS, in popravek zaradi možnega povečanja vsebnosti vlage v toplotni izolaciji (EPS in XPS toplotnoizolacijske plošče) na račun difuzije vodne pare. Pričakujemo nastop zahtev po povišanih minimalnih debelinah toplotnih izolacij za doseg projekiranega U , v primerjavi z obravnavanimi ločenimi izračuni obeh popravkov.

Postopek izračuna poteka sledeče. V sestavi obravnavane ravne strehe spremenimo podano deklarirano toplotno prevodnost toplotne izolacije proizvajalca na projektno toplotno prevodnost, ki je v obeh primerih izračunov za nastopajoči toplotni izolaciji EPS in XPS višja od prvotno dane toplotne prevodnosti (glej Preglednica 38 za obrnjene strehe in **Priloga G** za kombinirane ravne strehe).

Standard ISO 6946 v poglavju toplotnega upora ob definiciji le-tega navaja uporabo toplotne prevodnosti v obliki projektne toplotne prevodnosti, ki se izračuna po postopku standarda ISO 10456 ali pridobi iz tabelaričnih vrednosti. Se pravi, da nas obravnavani standard že v začetku opozarja na pretvorbo deklarirane vrednosti toplotne prevodnosti materialov, kot tudi v Prilogi D, v popravku k toplotni prevodnosti za toplotno izolacijski material.

S pretvorjeno toplotno prevodnostjo toplotne izolacije in znano sestavo konstrukcijskega sklopa ter zahtevi po U , dobimo vrednost najmanjše dovoljene toplotne izolacije v sestavu strehe. Vrednosti dobljenih debelin so prikazane v podpoglavjih 9.3.1 ter 9.3.2.

Sledi postopek popravka k toplotni prehodnosti sistema, kot to zahteva prvotni popravek k obrnjenim stregam, to je popravek ΔU , s popravljenimi vrednostjo toplotne prevodnosti toplotne izolacije. Popravki ΔU so opravljeni le na XPS izolacijskih ploščah, kot to zahteva ISO 6946 pri popravkih za obrnjeno streho. Izračuni novih debelin TI so prikazani v **Prilogah H, I, in J**, ločeno za oba primera sestave ravnih streh.

10.1 Obrnjena ravna streha

Rezultati sprememb toplotne prehodnosti ΔU po enačbi (17) so v primeru povišane toplotne prevodnosti XPS enaki izračunom prvotnega stanja toplotne izolacije, brez popravka k λ . Do istega rezultata prihaja, ker se vrednosti vseh faktorjev v formuli ohranjajo (p , $f \cdot x$ in $(R_1/R_T)^2$). Predvsem je potrebno izpostaviti vrednost količnika $(R_1/R_T)^2$. Njegova vrednost se ohranja ne glede na spremembo toplotne prevodnosti XPS, saj R_T predstavlja toplotni upor konstrukcijskega sklopa z zahtevanim U (ostaja v analizi vedno enak) in R_1 toplotni upor XPS izolacije, ki se ohranja na račun konstantnih toplotnih uporov ostalih slojev v konstrukcijskem sistemu ter celotnega znanega in vnaprej zahtevanega R_T toplotnega upora KS. Če bi uporabili drug način postopka izračunov, to je da bi računali s prvotno debelino XPS (izračunano z deklarirano toplotno prevodnostjo) in upoštevali povišano toplotno prevodnost (λ_{corr}) le-te, se bi znižal toplotni upor toplotne izolacije. Vendar se potem takem tudi celoten toplotni upor R_T zniža na račun $R_{XPS} = R_1$ in toplotna prehodnost U konstrukcijskega sklopa poviša ter preseže meje zahtevanega U . Rešitev za zagotovitev zahtevanega U in hkrati za doseg ohranitve R_{XPS} , da ustrezemo zahtevam po U ob povečanju λ , se kaže v potrebi po povečani debelini XPS izolacije. Spreminjajo se le vrednosti debeline toplotne izolacije s spremembo njene toplotne prevodnosti λ_{XPS} .

S tem, ko se po izračunih enačbe (17) ohranjajo vrednosti ΔU , ne glede na pred tem spremenjeno toplotno prevodnost toplotnoizolacijskega materiala v sistemu, se ohranjajo tudi vrednosti popravljene toplotne prehodnosti sistema U_c , saj velja:

$$U_c = U - \Delta U,$$

kjer je toplotna prehodnost U za potrebe analize fiksna vrednost.

Ovisnost $\Delta U(\rho$ in $f \cdot x)$, predstavljena za obrnjene ravne strehe s prvotno $\lambda_{XPS}=0,036$ W/m·K, ostaja enaka za sistem obrnjene strehe s spremenjeno $\lambda_{corr}=0,037$ W/m·K, ki upošteva vpliv difuzije vodne pare na spremembo vrednosti λ_{XPS} ter posledično na spremembo potrebne debeline toplotne izolacije XPS. Enako velja tudi za odvisnost $U((R_i/R_T)^2)$.

Ne glede na to pa se sedaj pri izračunu novih debelin toplotne izolacije s povišano toplotno prevodnostjo le-te z upoštevanjem popravljene vrednosti U_c kaže vpliv izgub toplote skozi sistem zaradi precejanja vode skozi stike TI obrnjene strehe z višjimi vrednostmi izračunanih debelin XPS kot v primeru izračuna popravka k toplotni prehodnosti, kjer računamo z deklarirano toplotno prevodnostjo TI (glej **Priloga D in Priloga H**).

Kot primerjavo med različnimi toplotnimi prevodnostmi toplotne izolacije podajamo v Preglednici 39 vrednosti debelin toplotne izolacije XPS z deklarirano in projektno toplotno prevodnostjo. Te so prikazane ob zahtevi po $U=0,20$ W/m²·K. Že v osnovi ($f \cdot x=0$) opazimo vpliv povišane toplotne prevodnosti na povišane vrednosti debelin toplotne izolacije. Vrednosti debelin XPS se ob dodatnem vplivu faktorjev popravka k ΔU še povečajo. Da bi dosegli zahteve po želenem U moramo tako ob zmanjšanju izolacijskih sposobnosti toplotne izolacije to nadomestiti z njeno debelino.

Preglednica 39: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije obrnjene ravne strehe - Upoštevan popravek k $U = 0,20$ W/m²·K zaradi precejanja vode med toplotno- in hidroizolacijski sloj ter popravek k toplotni prevodnosti λ_{corr} zaradi možnosti povečane vsebnosti vlage v toplotnoizolacijskem materialu zaradi difuzije vodne pare

OBRNJENA RAVNA STREHA [U=0,20 W/m ² ·K]						
Količina padavin [mm/dan]	Potrebna minimalna debelina XPS ($\lambda(0,036)$) [m]			Potrebna minimalna debelina XPS ($\lambda_{corr}(0,037)$) [m]		
	f·x=0	f·x=0,03	f·x=0,04	f·x=0	f·x=0,03	f·x=0,04
0	0,1677	0,1677	0,1677	0,1723	0,1723	0,1723
2,1009	0,1677	0,2354	0,2710	0,1723	0,2420	0,2785
2,7923	0,1677	0,2705	0,3369	0,1723	0,2780	0,3463
3,2598	0,1677	0,3004	0,4022	0,1723	0,3087	0,4134
3,3977	0,1677	0,3104	0,4264	0,1723	0,3190	0,4382
4,1970	0,1677	0,3844	0,6505	0,1723	0,3951	0,6686
5,1094	0,1677	0,5251	1,5776	0,1723	0,5397	1,6214
5,4153	0,1677	0,5977	3,1494	0,1723	0,6143	3,0646
5,4628	0,1677	0,6107	3,6247	0,1723	0,6277	3,5530
5,8404	0,1677	0,7384	-13,1923	0,1723	0,7590	-13,5588
6,0639	0,1677	0,8421	-3,4445	0,1723	0,8655	-3,5402

Izračuni povišanih debelin toplotnoizolacijskih materialov z upoštevanjem obeh popravkov so prikazani v **Prilogi H**. V preglednicah priloge so podani izračuni novih potrebnih debelin toplotne izolacije ob upoštevanju povišane toplotne prevodnosti toplotne izolacije skupaj z zahtevo po popravku k U za različne zahteve po toplotni prehodnosti U .

10.2 Kombinirana ravna streha ter primerjava razmerij debelin med sistemoma kombinirane in obrnjene ravne strehe

Popravek na toplotni prevodnosti materiala je narejen na obeh toplotnoizolacijskih materialih strehe, to je EPS in XPS toplotnoizolacijskih ploščah. Ti dve nastopata sedaj v sistemu z višjimi vrednostmi toplotne prevodnosti, ki prikazuje upoštevanje povečane vsebnosti vlage v toplotnoizolacijskem materialu zaradi vpliva difuzije vodne pare. Sledi popravek k toplotni prehodnosti celotnega sistema, kjer upoštevamo nadaljnje spremembe popravka le na XPS toplotni izolaciji kombinirane ravne strehe, kot to navaja standard ISO 6946. Debeline popravljenih, povišanih vrednosti debelin EPS izolacije se ohranjajo; te so povišane na račun povečane toplotne prevodnosti materiala (glej 8.4.3, 9.3.2 in **Priloga I**).

Vrednosti spremembe k toplotni prehodnosti ΔU ter popravljen toplotne prehodnosti U_c so enake kakor v primeru popravka k U brez upoštevanja popravka na toplotni prevodnosti toplotnoizolacijskega materiala. Faktorji enačbe (17) ter zahteve po U se ohranjajo tekom izračunov.

Rezultati izračunov novih debelin toplotnoizolacijskih materialov sistema, ki upoštevajo tako popravek k toplotni prevodnosti toplotnoizolacijskega materiala kot popravek k toplotni prehodnosti konstrukcijskega sklopa, so prikazani v **Prilogi I in Prilogi J**.

Debelina vgrajenega toplotnoizolacijskega sloja se spreminja glede na prehod toplote skozi sistem, samo sestavo sklopa, vrste sklopa in ne nazadnje tudi od lokacije, kjer leži projektiran objekt, ter vrste toplotne izolacije.

V primeru kombinirane strehe so prikazana različna razmerja med debelinami EPS in XPS v sistemu, z namenom prikaza vpliva razmerja na potrebe po povečanih debelinah XPS. Velikosti debelin toplotnoizolacijskega sloja iz EPS se v sistemu kombinirane strehe ohranjajo, ker se kot toplotna izolacija na notranji strani hidroizolacije (to je klasična ravna streha kot sestav kombinirane ravne strehe) v primeru precejjanja vode skozi sistem strehe ne navlaži, se pravi, ostane nedotaknjena. Spreminjamo le vrednosti debelin XPS, ki sestavlja gornji del (obrnjena ravna streha kot sestav kombinirane ravne strehe) sistema in je zaradi same postavitve nad HI podvržena vplivom podnebnih dejavnikov ter s tem posledično izgubam toplote, ki se upoštevajo skozi spreminjane njenih debelin.

Preglednica 40: Povečanje debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe, s toplotno prehodnostjo $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, v odvisnosti od lokacije objekta, vrste stikov med XPS ploščami ter razmerja debelin EPS:XPS (vpliv popravka k U in λ)

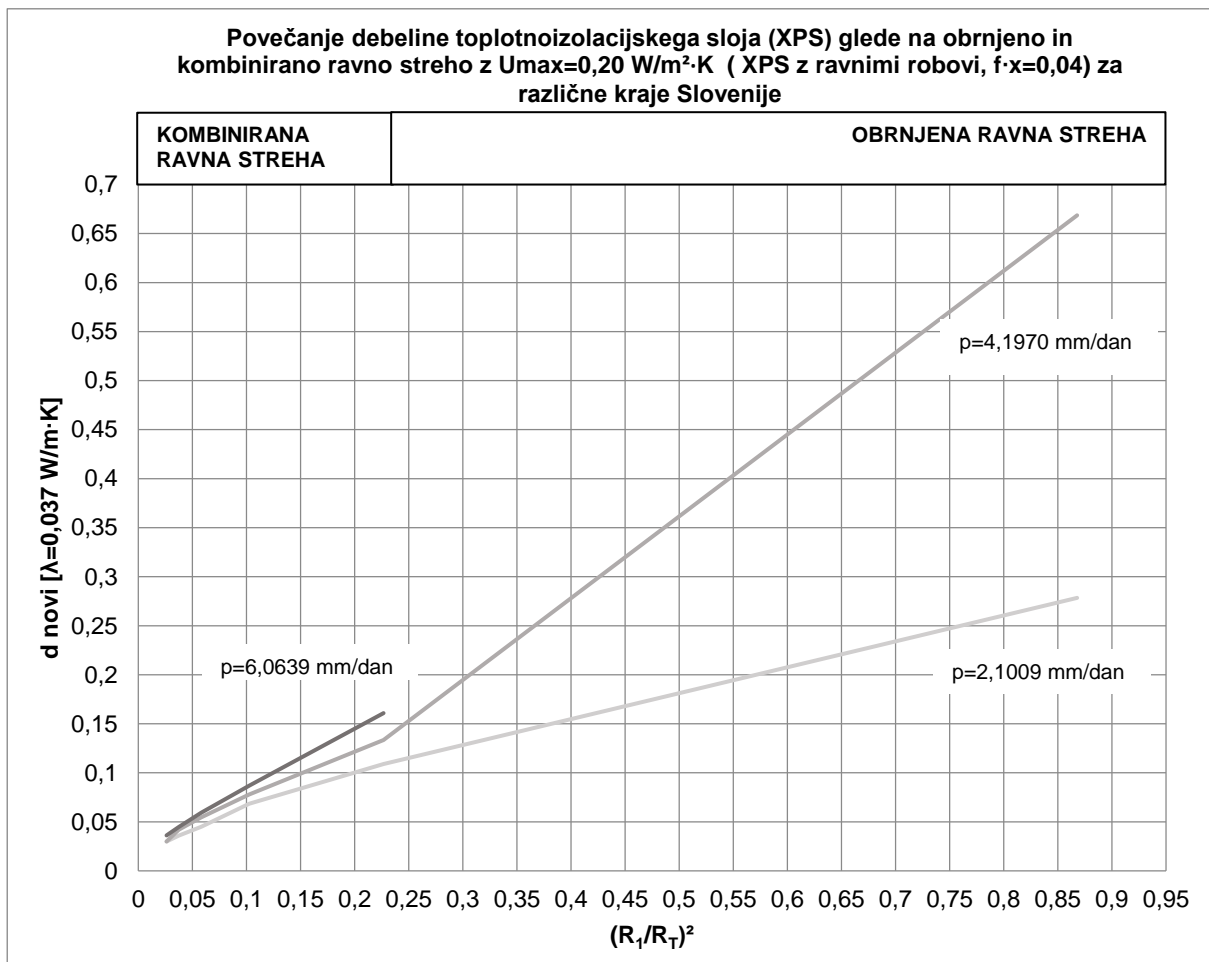
U=0,20 W/m ² ·K		d novi (XPS) KOMBINIRANA RS – Vpliv difuzije vodne pare + ΔU						
		[λ _{XPS} =0,037 W/m·K, λ _{EPS} =0,039 W/m·K]						
		(R ₁ /R _T) ²	Povišana debelina d _{XPS} [m]	p [mm/dan]				
Murska Sobota-Rakičan	Portorož			Novo mesto	Ljubljana-Bežigrad	Lesce		
EPS/XPS				2,1009	3,2598	3,3977	4,1970	6,0639
f·x=0,04	1:1	0,226671	0,0890	0,1089	0,1218	0,1235	0,1335	0,1609
	2:1	0,102568	0,0600	0,0685	0,0736	0,0742	0,0779	0,0870
	3:1	0,058171	0,0450	0,0450	0,05242	0,0527	0,0547	0,0593
	4:1	0,037415	0,0360	0,0360	0,0360	0,0360	0,0421	0,0449
	5:1	0,026069	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0361
f·x=0,03	1:1	0,226671	0,0890	0,1035	0,1126	0,1137	0,1205	0,1382
	2:1	0,102568	0,0600	0,0663	0,0700	0,0705	0,0731	0,0795
	3:1	0,058171	0,0450	0,0450	0,0450	0,0450	0,0522	0,0555
	4:1	0,037415	0,0360	0,0360	0,0360	0,0360	0,0360	0,0426
	5:1	0,026069	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300
f·x=0	1:1	0,226671	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890	0,0890
	2:1	0,102568	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600	0,0600
	3:1	0,058171	0,0450	0,0450	0,0450	0,0450	0,0450	0,0450
	4:1	0,037415	0,0360	0,0360	0,0360	0,0360	0,0360	0,0360
	5:1	0,026069	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300

V **Prilogi J** podajamo izpisane rezultate povišanih vrednosti debelin toplotne izolacije za obrnjene in kombinirane ravne strehe, z upoštevanjem vpliva obeh popravkov. Izračuni so podani za tri različne kraje Slovenije (Murska Sobota, Ljubljana in Lesce). Poleg vrednosti povišanih debelin toplotnoizolacijskih plošč XPS (prikazano v **Prilogi I**) so prikazane tudi povišane vrednosti EPS toplotnoizolacijskih plošč. Vrednosti so izračunane za kombinacijski faktor $f·x=0,04$ (toplotnoizolacijske XPS plošče z ravnimi robovi); ta pogoj podaja najvišje možno nastopajoče debeline toplotne izolacije v sistemu obrnjene ter kombinirane ravne strehe.

V Preglednici 41 so prikazane le izvzete vrednosti povečanih debelin toplotne izolacije XPS na primeru za $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Ob primerjavi rezultatov (Preglednica 37 in Preglednica 41) celotnih debelin toplotne izolacije (XPS), računane s popravkom za obrnjene strehe, so opazne majhne razlike med vrednostmi le-teh. Zaradi razlik med toplotnimi prevodnostmi te nihajo med 0,5 cm do 2 cm. Razmerje med R_1 in R_T se spreminja glede na izbran sistem ravne strehe ter zahtevani U sistema.

Preglednica 41: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije (XPS) obrnjene in kombinirane ravne strehe z zahtevo po $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($f\cdot x=0,04$) ter vplivom obeh popravkov za obrnjene strehe

$U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, $f\cdot x=0,04$ $[(W\cdot\text{dan})/(\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm})]$		d novi [m]			
		$(R_1/R_T)^2$	p [mm/dan]		
			Murska Sobota-Rakičan	Ljubljana-Bežigrad	Lesce
		2,1009	4,1970	6,0639	
Obrnjena RS		0,2785	0,6686	-3,5402	
Kombinirana RS (EPS:XPS)	1:1	0,22667	0,1089	0,1335	
	2:1	0,10257	0,0685	0,0779	
	3:1	0,05817	0,0450	0,0547	
	4:1	0,03741	0,0360	0,0421	
	5:1	0,02607	0,0300	0,0300	



Grafikon 16: Potrebna (celotna) debelina toplotne izolacije (XPS) obrnjene in kombinirane ravne strehe z zahtevo po $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ($f\cdot x=0,04$) ter vplivom obeh popravkov za obrnjene strehe

Ob primerjavi prvotno računanih potrebnih debelin toplotne izolacije s povišanimi vrednostmi le-teh zaradi upoštevanja popravka k U in popravka k λ toplotne izolacije, opazimo sledeče spremembe na debelinah XPS in EPS toplotnoizolacijskih plošč:

- Debeline toplotnoizolacijskih plošč (XPS) v sestavu obrnjene ravne strehe se z upoštevanjem popravkov na obrnjeni strehi povišajo za 66% pa do neizmerljivo visokih vrednosti, ki se pojavljajo na objektih, navidezno lociranih na krajih z višjimi količinami padavin v času kurilne sezone ter pri strožjih zahtevah po dosegu toplotne prehodnosti U konstrukcijskega sklopa. Za Mursko Soboto vrednosti povišanih debelin narastejo za 66 do 1670 odstotkov. Za Ljubljano se debeline toplotnih izolacij na račun popravkov povišajo za vrednosti med 300 – 500%, pri nižjih U pa nastopijo tudi negativne vrednosti, ki povedo, da izbrana toplotna izolacija ni primerna za to sestavo strehe. V teh primerih izberemo toplotno izolacijo (XPS) z drugačno obliko vrste stikov (s stopničastimi robovi, robovi pero-utor), ki omogočajo manj prehajanja padavin skozi stike TI, ali pa namestimo poseben vodo-odvajalni ločilni sloj, ki padavinam preprečuje prehod v streho in posledično ohlajanje konstrukcije. Druge vrste rešitev pa je odločitev za izbiro vgradnje sistema kombinirane ravne strehe, kjer je izkazan nižji delež povišanja vrednosti (celotnih) debelin toplotne izolacije. Slednje velja tudi za primer lokacije objekta v kraju Lesce, kjer izračuni debelin toplotnih izolacij zaradi nastopa izredno visokih vrednosti v obliki negativih vrednosti ni možno izmeriti.
- Vrednosti (celotne) toplotne izolacije na sistemu kombinirane ravne strehe se povišajo za bistveno manjši odstotek kot v primeru obrnjene ravne strehe. Odstotkovno povišanje je za kombinirano ravno streho ločeno prikazano za XPS in EPS toplotne izolacije.
- Debeline neizpostavljene toplotne izolacije (EPS) kombinirane ravne strehe se povečajo za majhen odstotek - od 3 do 6% - glede na prvotno računane potrebe po debelinah za doseg U . Vrednosti teh se povišajo le na račun povišane toplotne prevodnosti materiala, saj prvi popravek, popravek k U , velja le za XPS toplotnoizolacijske plošče obrnjenih streh.
- Za toplotnoizolacijski material XPS kombinirane ravne strehe se vrednosti povišanih debelin razlikujejo glede na kraj, kjer se obravnavan konstrukcijski sklop strehe nahaja, in razmerja med deležem toplotnih izolacij EPS in XPS v njeni sestavi. Višje potrebe po debelinah nastopajo v krajih z višjimi padavinami, saj so tu zaradi povišanih izgub toplote na račun precejanja padavinske vode med stike TI na HI potrebne za namestitev v sistem večje debeline XPS za doseg želenega U . Povišanja nihajo med 3 – 78% za kraj Murska Sobota, od 3 – 230 % za Ljubljano in 24 – 640 % za Lesce.
- V primeru obrnjene strehe zasledimo ob upoštevanju obeh popravkov iz vsebine popravka za obrnjene strehe višji delež povišanih vrednosti debelin toplotnoizolacijskega sloja v sistemu strehe kot v primeru izbire kombinirane ravne strehe.

11 VREDNOTENJE REZULTATOV

Ob medsebojni primerjavi rezultatov razmerij debelin toplotne izolacije sistema obravnavanih ravnih streh opazimo, da se debeline toplotnih izolacij z zahtevo po nižji, strožji toplotni prehodnosti sistema zvišujejo. Izboljšano toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa torej dosežemo z vgradnjo večjih debelin toplotne izolacije v sistem ali pa z vgradnjo toplotne izolacije z nižjo vrednostjo toplotne prevodnosti materiala. Potrebna debelina toplotne izolacije (v nadaljevanju TI), nameščene v sistem strehe, se razlikuje glede na izbran toplotnoizolacijski material ter konstrukcijski sklop ravne strehe. Izračun potrebnih minimalnih debelin TI ob zahtevku po trenutno prepisani najvišji dovoljeni toplotni prehodnosti konstrukcijskega sklopa za ravne strehe pokaže, da le-te morajo v primeru izbire obrnjene strehe doseči vsaj 17 cm debeline in v primeru kombinirane ravne strehe najmanj 17-18 cm, odvisno od razmerij deležev toplotnih izolacij v njeni sestavi. Ob želji po dosegu nižje toplotne prehodnosti in obenem boljše energetske učinkovitosti sklopa, je potrebno v obrnjene strehe vgraditi toplotne izolacije debelin od 19 cm pa do 44 cm, medtem ko za kombinirane ravne strehe nastopijo nekoliko višje vrednosti skupne debeline toplotne izolacije, z razliko med 0,2 cm pa do 1,2 cm. Do odstopanj prihaja zaradi različne sestave sistemov in uporabe različnih vrst toplotne izolacije (z različnima toplotnima prevodnostma) v sistemu kombinirane ravne strehe.

Rezultate vpliva dodatnih toplotnih izgub, ki jih upoštevata obravnavana popravka iz standarda, prikazujemo v obliki najmanjše zahtevane celotne debeline toplotne izolacije sklopa ravne strehe, izračunane za zahteve po različnih toplotnih prehodnostih (U) konstrukcijskega sklopa. Izgube toplote konstrukcijskega sklopa povrnemo s povečano potrebno minimalno (celotno) debelino na sistemu.

Znotraj sestave konstrukcijskega sklopa variirajo vrednosti izgube toplote skozi sistem v odvisnosti od izbire stikov med toplotnoizolacijskimi (XPS) ploščami in vključitve drenažno-ločilnega sloja v sistem. Pri vsem tem je bistvena tudi lokacija objekta, kadar določamo količino toplotne izolacije, potrebne za dosego projektne U vrednosti. Nižja ko je nekorrigirana (prvotno računana) toplotna prehodnost strehe, večji bo učinek uporabe popravka zaradi padavinske ohladitve sistema [68].

Debelina potrebne dodatne toplotne izolacije se zaradi upoštevanja popravka k toplotni prehodnosti povečuje z drenažnim faktorjem $f \cdot x$, ki ga v nalogi predstavljamo kot faktor za uporabljeno vrsto stikov XPS plošč. Debeline toplotne izolacije (XPS) ohranjajo svoje vrednosti v primeru, ko je $f \cdot x \sim 0$. Slednje dosežemo z uporabo posebnega drenažno-ločilnega sloja, nameščenega nad izpostavljeno XPS izolacijo, ki odvede padavine v strešni sistem odvodnjavanja. Imeti mora funkcijo odvajanja vode iz strehe in v najboljšem primeru čim nižjo stopnjo propustnosti $L = 0\%$ oziroma $f = 0$. To pomeni, da se vsa padavinska voda, ki pade na streho, odvede v odvajalni oziroma drenažni sistem strehe in onemogoča padavinam vstop v streho, kjer bi se te potem nabirale na hidroizolaciji, hladile sistem strehe ter povzročile dodatne izgube toplote. V primeru dodatne namestitve drenažno-ločilnega sloja moramo opozoriti na pomembnost paropropustnosti materiala, saj lahko ta ob neprimerni izbiri vrste materiala dodatno zatesni streho in prepreči toplotni izolaciji, ki s svojo sestavo omogoča dobro dihanje in prehajanje difuzijske pare [38], odvajanje vodne pare skozi konstrukcijski sklop. Nasprotno lahko privede do poškodb na materialu. Difuzijske lastnosti (koeficient difuzijskega upora μ) nameščenega vodo-odvajalnega (ločilnega) sloja, ki mora v primeru povečanja vlage v konstrukciji omogočati njeno sušenje in prezračevanje, niso zanemarljive.

V primeru namestitve konvencionalnega flisa nad toplotnoizolacijski sloj nastopijo višje vrednosti kombinacijskega faktorja $f \cdot x$. Pri izbiri faktorja, ki podaja obliko najbolj ranljivih

stikov med toplotnoizolacijskimi ploščami - XPS z ravnimi robovi ali z robovi stopničastega preklopa - se potrebe po večjih debelinah le-teh povečujejo z večanjem povprečne padle količine padavin v času ogrevalne sezone izbranih krajev Slovenije. V teh primerih ustreznega ločilnega sloja, položenega med toplotnoizolacijski material in nasutje, ni, in upošteva se vpliv dodatnih izgub toplote skozi sistem v obliki popravka za obrnjene strehe ($\Delta U \neq 0$).

Potrebe po namestitvi večjih debelin toplotnoizolacijskega materiala se povečujejo tudi z izbiro krajev z višjo povprečno količino padlih padavin p v času ogrevalne sezone ter strožjo zahtevo po toplotni prehodnosti (U), ki jo označuje višji delež $(R_1/R_T)^2$.

Popravljen U vrednost konstrukcijskega sklopa je tako odvisna od lokacije objekta in deleža padavin, ki dosežejo hidroizolacijsko plast strehe. Povprečne količine padavin v času ogrevalne sezone v Sloveniji nihajo med 2 mm/dan v vzhodnem delu države do 6 mm/dan na zahodu države. V regiji z večjim p (Gorenjska) nastopijo večje izgube toplote skozi oba sistema v primerjavi z regijami z nižjim p . Najmanjše izgube toplote so prikazane za pomursko regijo. S povečano izgubo toplote skozi sistem se povečajo potrebe po večji celotni debelini toplotne izolacije XPS, ki se namesti v sistem obrnjene ali kombinirane ravne strehe. Tako na primer za pomursko regijo z manjšo količino padavin v zimskem času slednje pomeni potrebo po vgradnji manjših dodatnih debelin strešne toplotne izolacije v primerjavi z objekti, lociranimi na drugih delih Slovenije.

Z opravljenimi izračuni vpliva precejanja vode skozi stike toplotne izolacije se za določene regije Slovenije ugotavljajo znatne dodatne debeline toplotnih izolacij, ki bi se morale vgraditi v konstrukcijo za preprečitev dodatnih toplotnih izgub oziroma precejšnje povečanje prvotno projektiranih debelin toplotnih izolacij. Visoki rezultati deleža povečanja debelin TI opozarjajo, da se v takih primerih izračunov raje odločimo za drugačne rešitve sistema, ki podajajo nižje vrednosti potrebnih vgrajenih debelin (izbira stopničastih robov namesto ravnih robov XPS toplotnoizolacijskih plošč, odločitev za namestitev vodo-odvajalno ločilnega sloja ali pa izbire druge vrste konstrukcijskega sklopa ravne strehe – kombinirane namesto obrnjene ravne strehe).

Ob pogoju nastopa velikih vrednosti kombinacijskega faktorja $[f \cdot x]$ ter povišanih vrednosti povprečne količine padavin $[p]$ nastopijo vrednosti popravkov ΔU , ki presežejo zahtevane vrednosti U konstrukcijskega sklopa. Izgube toplote skozi sistem se povečajo do te mere, da dosežejo zahtevano velikost toplotne prehodnosti sistema. Nastopijo ekstremni pogoji, ki se v rezultatih izračunov spremenljivk kažejo v obliki padajočih in negativnih vrednostih. Tako sistem ravne strehe izgublja toploto. Da bi krili te izgube, potrebujemo enormne debeline toplotnih izolacij. Ti rezultati so še bolj izraziti ob visokem razmerju $(R_1/R_T)^2$, ki pomeni obravnavo konstrukcijskega sklopa obrnjene ravne strehe z visokim deležem XPS izolacije. V primeru izbire kombinirane strehe, kjer je na notranjo – okolju neizpostavljeno - stran sistema vgrajena debelejša toplotna izolacija (EPS) in tanjša izpostavljena zunanja toplotna izolacija (XPS), se vrednosti razmerja $(R_1/R_T)^2$ znižujejo na račun manjših debelin XPS. To predstavlja manjše izgube toplote na sistemu, saj spodnja EPS izolacija ohranja svoje toplotnoizolacijske sposobnosti.

Ob primerjavi rezultatov za popravke obeh konstrukcijskih sklopov opazimo, da je v primeru izbire kombinirane ravne strehe skupna debelina toplotne izolacije v sistemu večja kakor v primeru obrnjene ravne strehe in se zvišuje z višjim razmerjem EPS:XPS izolacij kombinirane ravne strehe.

Količina izgub toplote skozi konstrukcijski sklop strehe je torej močno odvisna od debeline toplotnoizolacijskega sloja in obratno; v odvisnosti od vgrajene debeline toplotnoizolacijskega

sklopa se spreminja vrednost prehoda toplote skozi sistem strehe. Slednja variira tudi glede na samo sestavo konstrukcijskega sklopa. Debeline toplotne izolacije XPS se tako v primeru obrnjene kot v primeru kombinirane ravne strehe povečujejo z zahtevo po manjši toplotni prehodnosti U konstrukcijskega sklopa. V obeh primerih opazimo tudi dodatno povečanje debelin toplotne izolacije XPS ob upoštevanju popravka za obrnjene strehe iz zahtev dodatka k standardu ISO 6946.

Okoljski pogoji na obrnjeni strehi izpostavljajo toplotno izolacijo do visoke stopnje vlage. Zaradi povišane vlage v materialu se poveča prehod toplote skozi le-tega, ki pa s tem izgublja svojo funkcijo zadrževanja toplote.

Veljavni standardi nas tako poleg zahtev glede največjih dovoljenih toplotnih prehodnosti (U) zunanjega ovoja obvezujejo, da se zanje preveri še difuzija vodne pare v zimskih pogojih, kajti nepravilna sestava gradbene konstrukcijske lahko ima za posledico pojav kondenzacije v posameznih plasteh, kar povzroči poslabšanje U vrednosti ali celo poškodbo konstrukcije. Obenem tudi ISO 6946 pri popravku za obrnjene strehe zahteva, da se deklarirana toplotna prevodnost toplotne izolacije, uporabljena v izračunih za obrnjeno (pa tudi kombinirano) streho, popravi z faktorjem pretvorbe vlage (F_m), ki je računat v skladu s ISO 10456 in ETAG 031-1. Pretvorjeno vrednost deklarirane toplotne prevodnosti toplotne izolacije (λ_{corr}) uporabimo pri določitvi U vrednosti konstrukcije [68].

Vpliv povečane toplotne prevodnosti na izračune najmanjših potrebnih (celotnih) debelin toplotne izolacije obrnjene in kombinirane ravne strehe glede na zahteve po U vrednosti konstrukcijskega sklopa ni za zanemariti. Z zahtevki po popravljeni toplotni prevodnosti toplotne izolacije se pojavijo višje vrednosti toplotne prehodnosti obeh konstrukcijskih sklopov in za kritje povečanih izgub le-teh zahtevki po povečanih debelinah toplotnoizolacijskega materiala. Ob primerjavi rezultatov za obrnjeno in kombinirano ravno streho opazimo, da je odstotek povišanih vrednosti debelin TI glede na prvotne izračune pri obrnjeni strehi nižji (3% povečanje) kakor v primeru kombinirane ravne strehe (3 - 6% povečanje). Do razlik prihaja zaradi različnih deklariranih toplotnih prevodnosti toplotnoizolacijskih materialov in koeficienta pretvorbe za vlago, ki se razlikuje glede na vrsto uporabljenega toplotnoizolacijskega materiala.

S povišano vrednostjo toplotnih prevodnosti toplotno izolacijskih materialov na sistemu obeh streh smo v drugem delu naloge ponovili izračune potrebnih debelin TI z upoštevanjem popravka k U , saj smo želeli dokazati pomembnost upoštevanja obeh popravkov hkrati na spremembe debelin toplotne izolacije v sistemih obrnjene in kombinirane ravne strehe. Rezultati izračunov so pokazali zahteve po povišanih minimalnih debelinah toplotnih izolacij za doseg projektiranega U , v primerjavi z obravnavanimi ločenimi izračuni obeh popravkov ali izračunov potrebnih debelin brez upoštevanja popravkov. Ker se že v osnovi z upoštevanjem popravka k toplotni prevodnosti toplotnoizolacijskega materiala (λ_{corr}) povečajo debeline le-tega ob zahtevi po določenem U , se ob upoštevanju toplotnih izgub z upoštevanjem dodatka k U na račun precejanja vode med stike toplotnoizolacijskih plošč, pričakovano pojavijo potrebe po dodatnih debelinah toplotne izolacije v konstrukcijskem sklopu. Z upoštevanjem obeh popravkov hkrati izkazuje sistem obrnjene ravne strehe v primerjavi s sistemom kombinirane ravne strehe višji delež povečanja celotnih debelin toplotnoizolacijskega materiala.

Z zagotovostjo lahko povemo, da se debelina vgrajenega toplotnoizolacijskega sloja spreminja glede na prehod toplote skozi sistem, samo sestavo sklopa, lastnosti vgrajenih materialov in ne nazadnje tudi od lokacije, kjer je lociran projektiran objekt, ter vrste toplotne izolacije.

12 ZAKLJUČEK

Minimalna debelina toplotne izolacije, ki je predpisana s standardi, pravilniki ali zakoni, ni v nobenem obdobju bila osnova za najbolj ekonomično izbiro toplotne zaščite. Na srednji in daljši rok je bilo vedno bolj ekonomično graditi z debelejšimi sloji toplotne izolacije, kar še posebej velja za obdobja z visoko ceno energije, dolge življenjske dobe stavb in za zahteve po višjem toplotnem udobju [34].

Trenutno veljaven Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010) s pripadajočo tehnično smernico TSG -1- 004: 2010 predpisuje zahteve glede toplotne zaščite površine toplotnega ovoja stavbe. Slednji je pomemben dokument, s katerim se približujemo najbolj energetsko razvitim državam EU. V praksi upoštevanje predpisov gradnjo nekoliko podraži, za graditelje pa izbira materialov in izvajalcev predstavlja nekoliko zahtevnejšo nalogo [14]. Vsekakor pa velja, da bo načrtovana energetska učinkovitost stavbe zaživela v praksi le, če bo poleg določil iz pravilnika vzpostavljeno tudi zagotavljanje tehnične kakovosti stavbe, redno vzdrževanje in zagotovljena ozaveščenost uporabnikov, poučenih o prednostih v stavbo vgrajene tehnologije [9].

Vsebina iz pravilnika se v okviru vsebine naše naloge nanaša na maksimalne dovoljene toplotne prehodnosti. Slednja predstavlja podatek za kakovost toplotne zaščite ovoja stavbe in najpomembnejši element za doseganje zelene energijske varčnosti objekta. Obenem je tudi pokazatelj toplotnih izgub in je odvisna od vrste materiala, njegove toplotne prevodnosti in debeline, skozi katero toplota prehaja.

Zaradi zavedanja po pomembnosti primerne toplotne zaščite stavbe in učinkovitosti, ki jo ta na daljši rok prinese, ter nanjo navezujočega pojma toplotne prehodnosti in dejavnikov, ki vplivajo nanjo, smo se v nalogi lotili podrobnejše analize toplotne prehodnosti na primeru dela ovoja stavbe, to je konstrukcijskega sklopa ravne strehe, in k temu obvezujočim predpisom. Za potrebe naloge smo obravnavali dva tipa ravnih streh; obrnjena (inverzna) ter kombinirana (duo) ravna streha. Za izbiro sistema ravnih streh smo se odločili zaradi osebnega zanimanja za te vrste streh, kompleksnosti oz. posebnosti sestave in še vedno prisotnega nezaupanja v zanesljivost opravljanja funkcije le-teh.

Obrnjena, pa tudi kombinirana ravna streha – ta predstavlja nadgrajen tip obrnjene strehe, zahtevata zaradi svoje sestave, iz strani strokovne obdelave in izvedbe, posebno obravnavo. Slednji imata, kakor že samo ime pove, obrnjen vrstni red slojev v sestavi strehe glede na klasično sestavo tople strehe, kar pomeni, da je toplotnoizolacijski sloj izpostavljen stalni prisotnosti vlage in vode. S tem se sposobnosti toplotnoizolacijskega materiala zmanjšujejo in zato nekateri predpisi, med drugim tudi v nalogi obravnavan standard ISO 6946: 2007, zahtevajo povečano debelino toplotne izolacije preko upoštevanja popravka k toplotni prehodnosti konstrukcijskega sklopa [34]. S tem, ko toplotno izolacijo izpostavimo vremenskim vplivom se poraja vprašanje kako dolgo lahko le-ta opravlja svoj namen, to je izolirati stavbo ali posamezen konstrukcijski sklop, in ali izračunana vrednost toplotne prehodnosti še ustreza dejanskemu stanju ter prvotno računani vrednosti po standardu.

Poleg Pravilnika o učinkoviti rabi energije za stavbe je torej za izračun toplotne prehodnosti pomemben tudi standard ISO 6946 in priložen dodatek D s popravki k toplotni prehodnosti. Standard obsega metodo za izračun toplotne prehodnosti gradbenih komponent in gradbenih elementov, v Prilogi D pa zajema popravek k toplotni prehodnosti U , ki v obliki izraza upošteva vplive iz okolja, lastnosti toplotnoizolacijskega materiala ter načina vgradnje materiala na samo spremembo U . Za potrebe naše naloge smo analizirali popravek D.4, ki

zajema popravek za obrnjene strehe. Slednji upošteva izpostavljenost in ranljivost konstrukcijskega sklopa zunanjim dejavnikom okolja, ki je s svojo sestavo – toplotna izolacija položena nad hidroizolacijo - temu bolj podvržen v primerjavi z drugimi oblikami sestave ravnih streh.

V sklopu popravka za obrnjene strehe standard navaja dva popravka. Prvi se nanaša na popravek k toplotni prehodnosti U (ΔU) zaradi precejšnje padavin skozi stike toplotne izolacije nameščene nad hidroizolacijo, ki ima za posledico ohlajanje konstrukcijskega sklopa, in drugi na popravek k toplotni prevodnosti (λ) toplotne izolacije zaradi možnosti povečanja vsebnosti vlage v samem toplotnoizolacijskem sloju na račun difuzije vodne pare. Rezultate vpliva dodatnih toplotnih izgub, ki so upoštevani v omenjenih popravkih, prikazujemo v obliki povečane toplotne prehodnosti sistema. Izgube toplote povrnemo z zahtevo po povečani minimalni (celotni) debelini toplotne izolacije na sistemu. Upoštevanje obeh popravkov, ločeno in skupaj, preko opravljenih izračunov pokaže potrebe po povečanju prvotno zasnovanih debelin toplotnoizolacijskega materiala v obeh obravnavanih konstrukcijskih sklopih ravnih streh.

V prvem delu naloge smo prikazali izračune debelin toplotne zaščite ravnih streh, izvezetih po računskih metodah standardov, ob različnih zahtevah po toplotni prehodnosti le-teh, v drugem delu naloge pa analizirali faktorje - tako proizvodne kot okoljske - iz popravka za obrnjene strehe, ki neposredno vplivajo na samo povečanje prvotno računanih vrednosti toplotne prehodnosti ter posledično debelin toplotnoizolacijskih slojev.

Pri analizi smo želeli ugotoviti v kolikšni meri uporaba dodatka, kot obvezujoči del standarda ISO 6946, vpliva na spremembo končnih rezultatov debelin toplotnoizolacijskih materialov obravnavanih sistemov streh in uporabo obstoječega predpisanega standarda v praksi.

Iz izsledkov raziskav (članki, projekti) na svetovnem spletu smo ugotovili, da je uporaba obravnavanih standardov oziroma pripadajočih prilog bolj teoretične narave in se v praksi pri nas ne izvaja. V okviru raziskovanja in pridobivanja podatkov za potrebe izvedbe izračunov v naši nalogi smo zaradi tega naleteli na številne ovire pri pridobivanju le-teh. Iz tega smo predvidevali, da je lahko razlog za tako stanje uporabe v praksi vrsta pomanjkljivosti, nedovršenosti in nedorečenosti v predpisih. Ti so zapisani in privzeti brez vnaprejšnjih ustreznih raziskav, zato ocenjujemo, da bi bil potreben temeljitejši pristop k zapisanemu v standardu, ki bi omogočil natančnejšo in pogostejšo izvedbo zapisanega, kot so povezovanje mednarodnih inštitucij, več sodelovanja domačih s tujimi inštitucijami, več finančnih vložkov v obliki pomoči države za graditelje, interes in podpora iz strani države glede investicijskih vložkov v razvoj energetske učinkovitosti. Tudi za strokovno vejo predstavlja nedorečen predpis neprimerno pravno osnovo za uporabo standarda v praksi. Zaradi zavedanja o pomembnosti toplotne učinkovitosti in s tem povezanim ugodjem bivalnega okolja kot tudi s tem povezanih finančnih vložkov bi bil potreben večji poudarek na dorečenosti zakonodaje.

Pri obravnavi predpisov iz področja toplotne zaščite in analize le-teh za potrebe izvedbe izračunov v nalogi, smo naleteli na več ovir. Čeprav obstajajo primerne zakonodaje in predpisi iz področja obravnave, je otežen dostop do ustreznih podatkov, ki bi nas vodili do pričetka dela na nalogi, ali pa jih sploh ni moč pridobiti. Tako smo že na začetku pri uporabi pravilnika ugotovili, da internetne strani pristojnega ministrstva in državnih služb ne nudijo dovolj ustreznih informacij, ki bi pomagale uporabnikom zakonodaje, strokovnjakom in graditeljem uporabo le-teh. Prav tako smo naleteli na težave pri pridobivanju potrebnih podatkov za potrebe izvedbe izračunov iz standarda, natančneje za analize dodatka za obrnjene strehe, saj za enkrat še niso izdani podatki na nacionalni ravni uporabe standarda.

Največ problemov smo imeli z vključitvijo izračunanega dodatka k prvotno računani spremenljivki U , ker ni znanega in splošno podanega postopka uporabe dodatka iz standarda na primeru projekta ali omembe postopka izračuna le-tega v standardu. Poleg tega je še nekaj spremenljivk, ki bi bile potrebne temeljite analize in obdelave ter laboratorijskih preiskav, da bomo lahko z večjo gotovostjo in sigurnostjo ustrezno reševali težave, ki izhajajo iz obstoječe zakonodaje. V zahodnih evropskih državah se že podrobneje ukvarjajo s problemom nedorečenosti teh spremenljivk na samo vrednost U , med katere spadajo določitev faktorjev f in x , povprečnih količin padavin p v času kurilne sezone določenega območja v državi, natančnega postopka določitve kurilne sezone, itd.

Ob vsem tem se moramo zavedati, da se po standardih računane (vnaprej predvidene) toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa pričakovano razlikujejo od dejanskih vrednosti, merjenih na terenu - na objektu samem. Za slednje lahko pričakujemo višje vrednosti. Ker se U -vrednosti uporabljajo pri napovedovanju porabe goriva za stavbni fond kot celote in pri oblikovanju predpisov v zvezi delovanjem novogradenj, je pomembno, da se preuči zanesljivost obstoječih metod izračunov U -vrednosti. Postopek izračuna, opisan v ISO 6946, v veliki meri temelji na »idealni« konstrukciji, čeprav so v majhni meri upoštevane nepopolnosti konstrukcije in materialov. Vendar pa se ta ne ukvarja z vplivi staranja materiala, napak pri izvedbi, odstopanja pri materialu, okoljskimi dejavniki (intenziteta padavin, vpliv vetra na kot padca padavin, ...), pojavi povezani z vlago v materialih (količina vsebnosti vlage, temperatura okolja, ...), naključnim gibanjem zraka ali dejavniki, kot so strokovnost izdelave ter lastnosti vgrajenega materiala (stopnja prepustnosti, uhajanja padavin, ...) in dela ovoja stavbe kot celote [55].

Nastope merjenih in dejanskih razlik lahko vsaj nekoliko omilimo z upoštevanjem popravkov k U (ΔU) - v obliki dodatkov ali povečanih dejavnikov na U -vrednosti - iz standarda ISO 6946, katerega izpeljava in sestavni elementi se še morajo raziskati in podrobneje proučiti, predno lahko rečemo, da so primerni za dejansko uporabo v izračunih toplotne prehodnosti U konstrukcijskega sklopa dela objekta ali celote. Potreben bo tudi razvoj bolj natančne metode izračuna na U -vrednosti, ki bo upošteval dejavnike, ki niso zajeti v ISO 6946 [55].

V nekaterih zahodnoevropskih državah se že zavedajo nastale opisane problematike in izvajajo analize pričujočih problemov. Pri nas smo se tega problema šele pričeli zavedati. V okviru usklajevanja evropskih standardov nastop toplotne izolacije obrnjenih streh v ISO 6946 dobiva bolj diferenciran pristop, kakor je bil do sedaj. Potrebno bi bilo ustvariti enotno osnovo za izračune, ki bi omogočala poenotiti do sedaj zelo različno prakso vrednotenja v evropskih državah. Dodatek za obrnjene strehe iz ISO 6946 sicer že definira postopek popravka z namenom upoštevanja dodatnih toplotnih izgub obrnjenih streh v času njene življenjske dobe zaradi vode, tekajoče med sloja toplotne izolacije in hidroizolacije, vendar pa določene spremenljivke v izrazu popravka trenutno pri nas še niso natančno definirane, ne za obrnjene strehe z odprtim kritjem kot ne za strehe z zaprtim zaključnim kritjem. Pojem zaprtega kritja strehe (kot so pohodne in povozne površine, rastlinje) pa v dodatku standarda sploh ni omenjen, vendar pa predstavlja pomemben element pri obravnavi toplotne prehodnosti ter pojma vlažnosti in pojava kondenzacije v konstrukcijskem sklopu obrnjene strehe.

Poleg tega je tudi premalo zadovoljivih postopkov popravka in splošno primerne postopka ocenjevanja, ki bi obravnavali in preučili ter ovrednotili na konkretnem primeru pričakovano specifično poslabšanje toplotne prevodnosti toplotne izolacije v obliki spremembe λ . Z izvedenimi študijami v tujini je znano, da je od zasnove in klimatskih robnih pogojev odvisna naraščajoča vsebnost vlage v času življenjske dobe strehe zaradi vodne pare (difuzija), ki se

pojavi v XPS izolaciji obrnjene strehe in vodi do postopnega povišanja toplotne prevodnosti toplotne izolacije. Tudi popravek k slednji nima natančno definiranih dejavnikov vpliva na spremembo njegove vrednosti, med katere spadajo vrsta zaščite strehe, staranje toplotnoizolacijskega materiala, temperatura okolice in drugi [57].

Pri dimenzioniranju toplotne izolacije moramo upoštevati najnovejše predpise, ki navajajo največje dovoljene vrednosti toplotne prehodnosti za posamezne gradbene konstrukcije v zgradbah. Predvsem za ravno streho in strop proti podstrešju je pravilno, da izbiramo nižje vrednosti toplotne prehodnosti, ker s tem v prostorih pod temi konstrukcijami ustvarimo boljše bivalne pogoje tudi v poletnem obdobju ter preprečujemo nastanek kondenza v konstrukciji [31]. Poleg tega pa je v primeru izračunov prehoda toplote skozi konstrukcijski sklop strehe potrebno upoštevati še zahteve po popravku k toplotni prehodnosti, kot ga navaja standard ISO 6946. Z izračuni smo dokazali pomembnost upoštevanja popravkov z vplivi na spremembe povečanih prvotno izračunanih debelin toplotne izolacije, kljub temu, da popravek za obrnjene strehe pri nas še ni natančno opredeljen.

(prazna stran)

VIRI

Uporabljeni viri

- [1] "Varovanje okolja – znižanje stroškov. 2004. Priročnik za učinkovito rabo energije v industriji in obrti", 1. naklada. Augsburg, Bayer. Landesamt für Umweltschutz.
<http://okolje.arso.gov.si/jppc/uploads/File/Prirocnik%20za%20ucinkovito%20rabo%20energije%20si.pdf> (Pridobljeno 5. 5. 2014.)
- [2] Bizjak, V. 2015. Toplotna izolacija strehe in stropa proti neogrevanemu podstrešju. Energetsko svetovalna pisarna Kočevje – brezplačni nasveti za zmanjšanje rabe energije.
<http://www.kocevje.ensvet.com/index.php?id=35> (Pridobljeno 29. 4. 2015.)
- [3] Koliko izolacije na streho? 2011. Spletni časopisni portal Deloindom, Delo d.d..
<http://www.deloindom.si/enostanovanjske-hise/koliko-izolacije-na-streho>
(Pridobljeno 5. 3. 2015.)
- [4] Zbirka informativnih listov "Za učinkovito rabo energije". Predpisi o toplotnih izgubah stavb. Toplotna zaščita zgradb. 1999. Ljubljana. Ministrstvo za gospodarske dejavnosti, Agencija RS za učinkovito rabo energije - AURE.
<http://gcs.gj-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/PDFknjiznjicaAURE/IL2-02.PDF>
(Pridobljeno 28. 4. 2015.)
- [5] Marušič, I. 2014. Celovita obnova toplotnega ovoja večstanovanjske stavbe na obali, v pogledu ekonomike in ogljičnega odtisa. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba: I. Marušič): 95 f.
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/4667/>
http://drugg.fgg.uni-lj.si/4667/1/GRU3370_Marusic.pdf (Pridobljeno februar 2014.)
- [6] Zupan, M. 2008. (Predpisi). Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah na pot. ECES 5/2008: 132-134.
- [7] Grobovšek, B. 2015. Izračun letne rabe energije v stanovanjskih stavbah. Ljubljana. Spletni portal - Gradbeni inštitut ZRMK.
<http://gcs.gj-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT152.htm> (Pridobljeno 28. 4. 2015.)
- [8] Direktiva EPBD. Skoraj ničenergijske hiše: Že danes obiščite hiše prihodnosti. 2015.
<http://0energijskehise.si/direktiva-epbd> (Pridobljeno 28. 4. 2015.)
- [9] Šijanec Zavrl, M. 2010. Zakaj je potrebna prenova pures 2008 in izhodišča pri pripravi pures 2010. Novela Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah. Glasilo Inženirske zbornice Slovenije IZS.NOVO 13, 53: 4-5.
http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/glasilo/izs_novo_13_53.pdf (Pridobljeno 16. 5. 2015.)
<http://www.izs.si/prirocniki-publikacije/glasilo-izsnovo/letnik-2010/letnik-13-stevilka-53/aktualno/zakaj-je-potrebna-prenova-pures-2008-in-izhodisca-pri-pripravi-pures-2010/>
(Pridobljeno 16. 5. 2015.)
- [10] EPBD 2002/2010. Energetska učinkovitost in energetske izkaznice – učinkovita raba energije. 2015.
<http://www.energetska-ucinkovitost.si/energetska-ucinkovitost-v-stavbah/evropske-direktive/epbd-20022010/> (Pridobljeno 28. 4. 2015.)

[11] Evropske direktive. Energetska učinkovitost in energetske izkaznice – učinkovita raba energije. 2015.

<http://www.energetska-ucinkovitost.si/energetska-ucinkovitost-v-stavbah/evropske-direktive/>
(Pridobljeno 28. 4. 2015.)

[12] Prenos v slovensko zakonodajo. Energetska učinkovitost in energetske izkaznice – učinkovita raba energije. 2015.

<http://www.energetska-ucinkovitost.si/energetska-ucinkovitost-v-stavbah/evropske-direktive/prenos-v-slovensko-zakonodajo/> (Pridobljeno 28. 4. 2015.)

[13] Zakon o graditvi objektov (ZGO-1-UPB1). Uradni list RS št. 102 – 4398/2004: 13084.
(Uradni list RS št. 102/2004 z dne 21. 9. 2004)

<http://www.uradni-list.si/1/content?id=51265> (Pridobljeno 22. 11. 2013.)

[14] Kalan, F. 2009. Novi pravilnik o učinkoviti rabi energije.

<http://varcevanje-energije.si/zakonodaja-pravilniki-gradnja/novi-pravilnik-o-ucinkoviti-rabi-energije.html> (Pridobljeno 28. 4. 2015.)

[15] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010). Uradni list RS št. 52 - 2856/2010: 7840.

(Uradni list RS št. 52/2010 z dne 30. 6. 2010)

<https://www.uradni-list.si/1/content?id=98727> (Pridobljeno 25. 11. 2013.)

[16] Tehnična smernica TSG - 1 - 004: 2010 Učinkovita raba energije. 2010. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor.

http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf (Pridobljeno 25. 11. 2013.)

[17] Kunič, R. 2009. Mehanizem prehoda toplote skozi konstrukcijske sklope v stavbah (1. del). Gradbenik 9: 30-31.

http://www.fragmat.si/download/clanki/Gradbenik%20Prehod%20toplote_1.pdf

(Pridobljeno 6. 11. 2014, 14. 3. 2015, 17. 5. 2015.)

[18] E-va učna gradiva za fiziko. 2014.

<http://www.fiz.e-va.si/lessons/98/> (Pridobljeno 5. 11. 2014.)

[19] Toplotni tok. Wikipedija, prosta enciklopedija. 2014.

http://sl.wikipedia.org/wiki/Toplotni_tok (Pridobljeno 4. 11. 2014.)

[20] Slovar. Proform. 2015.

<http://www.proform.si/proform/index.php/slovar> (Pridobljeno 13. 11. 2014, 14. 5. 2015.)

[21] ISO 6946:2007. Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method.

[22] Krainer, A. 2009/2010. Difuzija toplote in vodne pare. Stavbarstvo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente (KSKE).

<ftp://ftp.fgg.uni-lj.si/Sendable/Patricia/STAVBARSTVO/Stavbarstvo%20II%202009-10/Krainer%20Staro%20stavbarstvo/Stavbarstvo1/8%20difuzija%20toplote%20in%20vodne%20pare.pdf> (Pridobljeno 17. 5. 2015.)

- [23] Grobovšek, B. 2015. Difuzija vodne pare in toplotna stabilnost gradbenih konstrukcij. Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o..
<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT60.htm> (Pridobljeno 12. 2. 2015.)
- [24] Zupan, M. (Fibran Nord d.o.o.). 2008. Obrnjena ozelenjena streha – pogled gradbenega fizika, Gradbenik. Tematska revija Strehe & kritine 5: 30-32.
- [25] Schittich, Ch. 2010. The evolution of the flat roof. V: Hellstern, C. (ur.), Billhardt, J. (ur.). Flat Roof Construction Manual: Materials, Design, Applications (1st edition). Munich. Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG: str. 10-21.
- [26] Roofing Applications. 2015. American Hydrotech, Inc.
<http://www.hydrotechusa.com/assemblies/roofing> (Pridobljeno 20. 6. 2015.)
- [27] Kirn, W.A. 2014. A Brief History and the Evolution of Low Slope Roofing...or...»How a Rather Conservative Construction Industry Can Change Real Fast in 40 Years«.
<http://www.nationalcoatings.com/a-brief-history-of-low-slope> (Pridobljeno 20. 6. 2015.)
- [28] Watts, M. 2000. PMR Systems. The forgotten solution: 4-7.
<http://www.rci-online.org/interface/2000-05-watts.pdf> (Pridobljeno 20. 6. 2015.)
- [29] Ursa Slovenija d.o.o. 2007. Ravne strehe. Gradbenik 11, 9: 20-21.
- [30] Krainer, A. 2009/2010. Horizontalni konstrukcijski sklopi. Stavbarstvo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente (KSKE).
ftp://ftp.fgg.uni-lj.si/Sendable/Patricia/STAVBARSTVO/Stavbarstvo%20II%202009-10/Krainer%20Staro%20stavbarstvo/Stavbarstvo1/6%20hor_ks.pdf
(Pridobljeno 20. 1. 2014.)
- [31] Grobovšek, B. 2015. Toplotna zaščita ravnih streh. Gradbeni inštitut ZRMK.
<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT18.htm> (Pridobljeno 16. 4. 2015.)
- [32] Pravilnik o zaščiti stavb pred vlago. 2004. Uradni list RS št. 29 - 1259/2004: 3386. (Uradni list RS št. 29/2004 z dne 26. 3. 2004)
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2004-01-1259> (Pridobljeno 4. 2. 2014.)
- [33] Bludau, C., Schunck, E. 2010. Flat roof construction. V: Hellstern, C. (ur.), Billhardt, J. (ur.). Flat Roof Construction Manual: Materials, Design, Applications (1st edition). Munich. Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG: str. 98-117.
- [34] Kunič, R., Krainer, A. 2010. Ekonomična debelina toplotnoizolacijskih slojev v ravnih strehah. Gradbeni vestnik 59, 1: 6-12.
<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-1IKGDEKK> (Pridobljeno maj 2015.)
<http://www.zveza-dgits.si/ekonomicna-debelina-toplotnoizolacijskih-slojev-v-ravnih-strehah>
(Pridobljeno 25. 11. 2013.)
- [35] Zillig, W. 2010. Materials. V: Hellstern, C. (ur.), Billhardt, J. (ur.). Flat Roof Construction Manual: Materials, Design, Applications (1st edition). Munich. Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG: str. 86-97.

[36] Grobovšek, B. 2008. Gradbena fizika pri strešnih konstrukcijah. Gradbenik. Tematska revija Strehe & kritine 5: 23-26.

[37] Bludau, Ch., Künzel, H. M. 2010. Thermal insulation. V: Hellstern, C. (ur.), Billhardt, J. (ur.). Flat Roof Construction Manual: Materials, Design, Applications (1st edition). Munich. Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG: str. 50 -61.

[38] FRAGMAT TIM d.d. 2015.

<http://www.fragmat.si/slo/nasveti.htm> (Pridobljeno 2. 6. 2015.)

[39] SIST EN 1991-1-4:2005. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Vplivi vetra.

SIST EN 1991-1-4:2005/oA101:2007. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Obtežbe vetra – Nacionalni dodatek. Brussels, European Committee for Standardisation.

[40] Pulko, A. 2011. Vpliv oblike objekta na obtežbo vetra. Diplomski naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo (samozaložba A. Pulko): 120 f.

<https://dk.um.si/Dokument.php?id=22296> (Pridobljeno 1. 6. 2015.)

[41] Krainer, A., Perdan, R. 2012. TEDI – Program za analizo toplotnega prehoda, toplotne stabilnosti in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST 1025:2002. Ljubljana, UL FGG, KSKE in FRAGMAT.

Krainer, A., Perdan, R. 2012. Računalniški program TEDI, Uporabniški priročnik. Ljubljana, UL FGG, KSKE in FRAGMAT.

[42] Microsoft Excel 2010. Programska oprema za preglednice. Microsoft Office.

[43] Stavbarstvo. Izpitni odgovori. Strehe. 2015.

<http://www.stavbarstvo.com/strehe.php> (Pridobljeno 27. 4. 2015.)

[44] Stavbarstvo. Konstrukcijski sklop. Izpeljava konstrukcijskega sklopa. 2015.

<http://www.stavbarstvo.com/izpeljava-ks.php> (Pridobljeno 27. 4. 2015.)

[45] Katalog – cenik FRAGMAT 'Termoizolacije 2013.1'. 2013. FRAGMAT TIM d.d., Laško.

[46] Katalog – cenik FRAGMAT 'Hidroizolacije 2013.1'. 2013. FRAGMAT TIM d.d., Laško.

[47] Das Umkehrdach, das unentdeckte Land. 2009. Steinhagen, JACKON Insulation GmbH.

http://www.jackon-insulation.com/uploads/tx_wdownloads/Das_Umkehrdach_D_2011.pdf
(Pridobljeno 22. 8. 2014.)

[48] Obrnjena streha - trajna in uporabna površina. 2015. Fibran nord d.o.o.

<http://www.fibran.si/frontend/article.php?aid=3&cid=9&t=Obrnjena-streha-trajna-in-uporabna-povrsina> (Pridobljeno 3. 5. 2015.)

[49] Vide Lutman, M. (Fibran nord d.o.o.). 2007. Vrt na strehi. Gradbenik 11, 9: 22.

[50] Künzel, H. M. 2010. Moisture control. V: Hellstern, C. (ur.), Billhardt, J. (ur.). Flat Roof Construction Manual : Materials, Design, Applications (1st edition). Munich. Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG: str. 62-73.

[51] Gruden, T. 2008. Nizkoenergijska ali pasivna hiša – kaj je to? Gradbenik. Tematska revija Nizkoenergijske in pasivne hiše: 10-12.

[52] Termo d.d. 2008. Kamena volna Tervol®. Gradbenik. Tematska revija Nizkoenergijske in pasivne hiše: 16-18.

[53] Fibran nord d.o.o.. DUO streha. 2015. Fibran nord d.o.o.
<http://www.fibran.si/frontend/articles.php?cid=10> (Pridobljeno 4. 6. 2015.)

[54] Kavčič, B. (Norik, d.o.o.). 2008. Zelene strehe. Gradbenik. Tematska revija Strehe & kritine 5: 28-29.

[55] DETR Framework Project Report: (Safety and Health Business Plan) Field investigations of the thermal performance of the construction elements as built. 2000. Building Research Establishment Ltd.
<http://projects.bre.co.uk/uvalues/U-values.pdf> (Pridobljeno 3. 3. 2015.)

[56] Leimer, H-P., Rode, C., Künzel, M. H., Bednar, T. 2014. Requirements of inverted roofs with a drainage layer.
http://web.byv.kth.se/bphys/reykjavik/pdf/art_097.pdf (Pridobljeno september 2014.)

[57] Pernette, U. 2006. Wärmeschutz von Umkehrdächern mit geschlossenen Deckschichten aus Dachbegrünungen, Gehwegplatten und Ort-betonbelägen, Einführung eines $\Delta\lambda$ -Zuschlags und Quantifizierung des ΔU_r -Zuschlags.
<http://www.pwim.ch/downloads/538510waermeschutzukdgesamtversion2006.pdf>
(Pridobljeno 5. 10. 2014.)

[58] Kurilna sezona. 2015. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.
http://www.mkgp.gov.si/si/delovna_podrocja/gozdarstvo/navodila_za_pravilno_kurjenje/nasveti_za_pripravo_drv/kurilna_sezona/ (Pridobljeno 4. 3. 2015.)

[59] Podatki za pravilnik o učinkoviti rabi energije. 2014. Državna meteorološka služba RS (meteo.si).
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/pravilnik-ucinkoviti-rabi-energije/>
(Pridobljeno 12. 2. 2014.)

[60] Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971-2000). 2006. Agencija Republike Slovenije za okolje.
http://www.arso.gov.si/vreme/podnebie/podnebne_razmere_Slo71_00.pdf
(Pridobljeno 10. 9. 2014.)

[61] Cegnar, T. 2003. Podnebne spremembe in padavinski režim. Agencija RS za okolje, Urad za meteorologijo.
http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%C5%BEnica/publikacije/Podnebne_spremembe.pdf
(Pridobljeno 10. 9. 2014.)

[62] Izbrani podnebni elementi po meteoroloških postajah, Slovenija, 2013 - končni podatki. 2014. Statistični urad RS.

<http://www.stat.si/StatWeb/glavnanavigacija/podatki/prikazistaronovico?ldNovice=6236>

(Pridobljeno 9. 9. 2014.)

[63] Državna meteorološka služba RS. 2014.

www.meteo.si (Pridobljeno 10. 9. 2014.)

[64] Temperaturni primanjkljaj in presežek ter kurilna sezona 1961-2015. 2014.

http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/cooling-heating-degree-days.txt (Pridobljeno 10. 9. 2014.)

[65] Cegnar, T. 2003. Padavine. V: Uhan, J. (ur.), Bat, M. (ur.). VODNO bogastvo Slovenije. Ljubljana : Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija Republike Slovenije za okolje: str. 13-25.

http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Vodno_bogastvo_1padavine.pdf (Pridobljeno 10. 9. 2014.)

http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/vodno_bogastvo_slovenije.html (Pridobljeno 10. 9. 2014.)

[66] British Board of Agreement – BBA. Inverted Roofs – Drainage and U value corrections. 2011. British Board of Agreement.

<http://www.bbacerts.co.uk/wp-content/uploads/2014/09/BBA-Information-Bulletin-No-4.pdf>

(Pridobljeno 21. 5. 2015.)

[67] ETAG 031, Guideline for European Technical Approval of Inverted Roof Insulation Kits, Part 1: General, Version November 2010, EOTA Brussels.

http://www.ue.itb.pl/files/ue/etag/etag_31_1.pdf (Pridobljeno 23. 9. 2014.)

<http://www.eota.eu/en-GB/content/home/2/185/> (Pridobljeno 23. 9. 2014.)

[68] Potter, J., Evans, H. 2014. A review of recent guidance on inverted roof construction.

<http://building.dow.com/eu/gbr/en/pdf/291-00225.pdf> (Pridobljeno september 2014.)

[69] Fechner, O. 2008. Bekieste Umkehrdächer mit wasserableitender Trennlage: Zuschlag $k = 0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Institut für Bauingenieurwesen, Fachgebiet Bauphysik und Baukonstruktionen.

<https://www.bauphysik.tu-berlin.de/menue/forschung/bauphysik/umkehrdaecher/>

(Pridobljeno september 2014, julij 2015.)

[70] Leimer, H-P., Bednar, T., Dreyer, J., Künzle, H. M., Palier, P., Rode, C., & Tejchmann-Konarzewski, J. 2004. Anforderungen an Umkehrdächer mit Trennlage: Erläuterungen zur Anwendung von EN ISO 6946.

http://www.building-physics.net/webfm_send/326 (Pridobljeno 19. 3. 2015.)

Leimer, H-P., Bednar, T., Dreyer, J., Künzle, H. M., Palier, P., Rode, C., & Tejchmann-Konarzewski, J. 2004. Anforderungen an Umkehrdächer mit Trennlage: Erläuterungen zur Anwendung von EN ISO 6946. *Bauphysik*, 233-239. (Pridobljeno 9. 10. 2014.)

[71] Iskanje po Slovarju slovenskega knjižnega jezika. Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša ZRC SAZU.

http://bos.zrc-sazu.si/cgi/a03.exe?name=sskj_testa&expression=izkustvo&hs=1

(Pridobljeno 15. 4. 2015.)

- [72] Matematična singularnost. Wikipedija, prosta enciklopedija. 2015.
http://sl.wikipedia.org/wiki/Matemati%C4%8Dna_singularnost (Pridobljeno 15. 4. 2015.)
- [73] Definicija eliptičke krivulje. 2015.
<http://web.math.pmf.unizg.hr/~duje/ecc/elipdef.html> (Pridobljeno 15. 4. 2015.)
- [74] Eliptična krivulja. Wikipedija, prosta enciklopedija. 2015.
http://sl.wikipedia.org/wiki/Elipti%C4%8Dna_krivulja (Pridobljeno 15. 4. 2015.)
- [75] Mur, U. 2011. Problematika povečane vlage v objektih ter posledični vplivi na povečano toplotno prevodnost. Diplomsko delo. Maribor, Višja strokovna šola Academia (samozaložba U. Mur): 59 f.
<http://www.academia.si/modules/aktualno/uploads/files/uros-mur.pdf>
(Pridobljeno 17. 5. 2015.)
- [76] Tomšič, M. 2014. Vlaga in materiali za gradbene konstrukcije. Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o., Center za bivalno okolje, gradbeno fiziko in energijo.
<http://www.zrmk.si/Knjiznica/VLAGA%20IN%20MATERIALI%20ZA%20GRADBENE%20KONSTRUKCIJE.pdf> (Pridobljeno 6. 11. 2014.)
http://www.gi-zrmk.si/media/uploads/public/document/40-vlaga_in_materiali_za_gradbene_konstrukcije_sl.pdf (Pridobljeno 17. 5. 2015.)
- [77] Grobovšek, B. 2007. Toplotne izgube skozi ovoj stavbe. Gradbeni inštitut ZRMK.
<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT45.htm> (Pridobljeno 16. 6. 2015.)
- [78] Čas Krneža, J. 2012. Procesi izmenjave toplote in vlage v termoizolacijskih materialih. Magistrska naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo (samozaložba J. Čas Krneža): 62 f.
<https://dk.um.si/Dokument.php?id=48553> (Pridobljeno 6. 11. 2014, 14. 3. 2015.)
- [79] Jordan, S. 2007. Problematika streh. Gradbenik. Tematska revija Strehe & kritine 4: 38-39.
- [80] ISO 10456:2007. Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values.
- [81] Tehnički propis o uštedi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. 2005/2006. Razred arhitekata Hrvatske komore arhitekata i inženjera u graditeljstvu.
<http://www.arhitekti-hka.hr/files/file/strucno-usavrsavanje/ssu/program/toplina.pdf>
(Pridobljeno 6. 11. 2014.)

Ostali viri

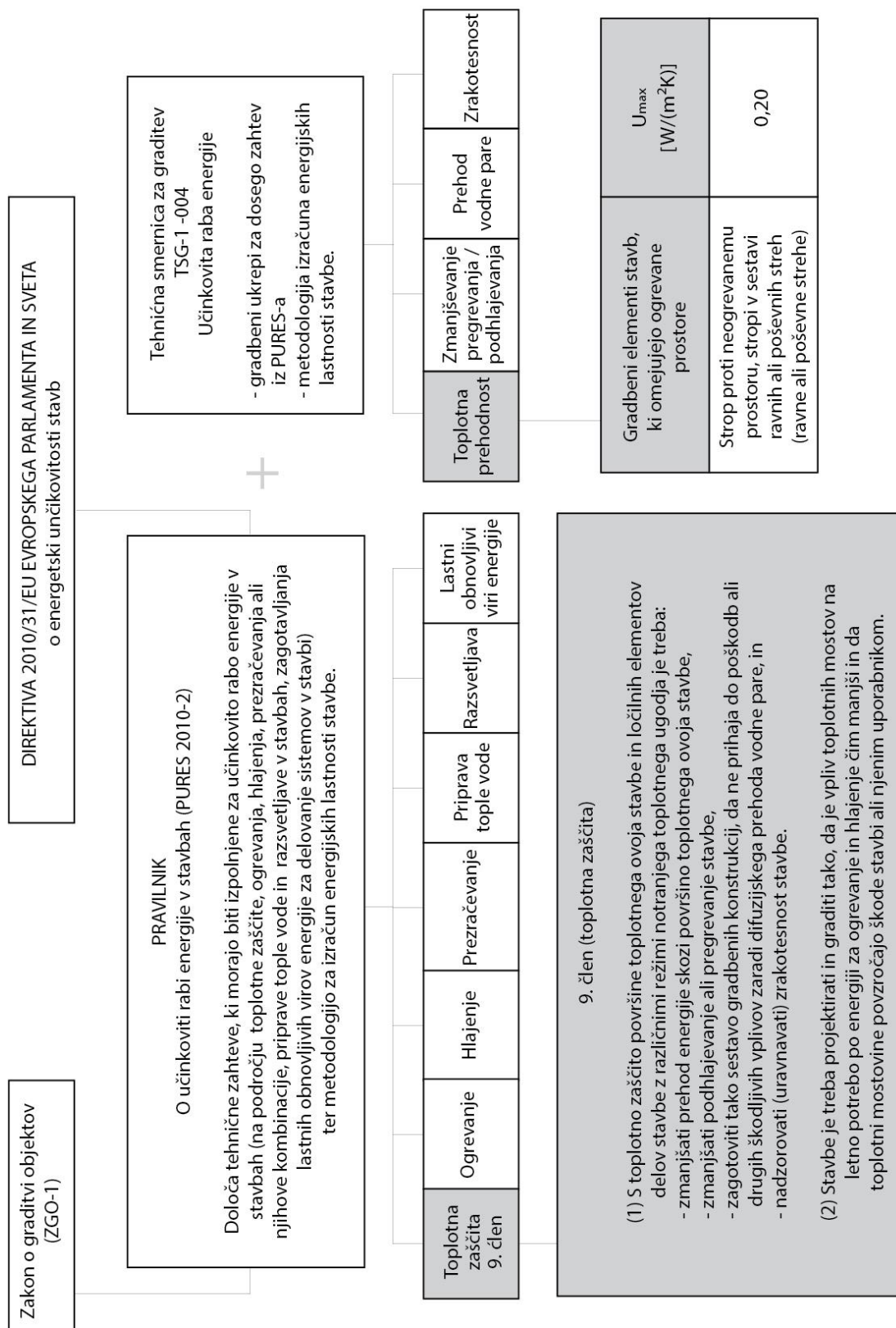
(Slovar strokovnih besed in tujk)

Direktiva 2010/31/EU EVROPSKEGA PARLAMENTA IN SVETA z dne 19. Maja 2010 o energetski učinkovitosti stavb (prenovitev) (Direktiva EPBD ali 2010/31/EU). Uradni list Evropske unije L 153/2010:13-35. (Uradni list Evropske unije L 153/2010 z dne 18.6.2010.)
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:SL:PDF>
(Pridobljeno 20. 1. 2014.)

SEZNAM PRILOG

- PRILOGA A:** Shema zakonodaje iz področja toplotne prehodnosti in toplotne zaščite zgradb
- PRILOGA B:** Izračuni razmerij debelin toplotne izolacije kombinirane ravne strehe
- PRILOGA C:** Podatki za potrebe izračunov povprečne padle količine padavin (p) v obdobju kurilne sezone 2013/2014 za različne kraje Slovenije
- PRILOGA D:** Obrnjena ravna streha – povečane debeline toplotnoizolacijskega sloja zaradi popravka k toplotni prehodnosti U
- PRILOGA E:** Kombinirana ravna streha – povečane debeline toplotnoizolacijskega sloja zaradi popravka k toplotni prehodnosti U
- PRILOGA F:** Obrnjena in kombinirana ravna streha – povečane debeline toplotnoizolacijskega sloja zaradi popravka k toplotni prehodnosti U
- PRILOGA G:** Obrnjena in kombinirana ravna streha – spremembe debelin toplotnoizolacijskega sloja zaradi spremembe toplotne prevodnosti (λ_{corr}) toplotnoizolacijskega materiala
- PRILOGA H:** Obrnjena ravna streha - popravek k toplotni prehodnosti (ΔU) in toplotni prevodnosti (λ_{corr})
- PRILOGA I:** Kombinirana ravna streha - popravek k toplotni prehodnosti (ΔU) in toplotni prevodnosti (λ_{corr})
- PRILOGA J:** Obrnjena in kombinirana ravna streha – spremembe debelin toplotnoizolacijskega sloja zaradi popravka k toplotni prehodnosti (ΔU) in toplotni prevodnosti toplotnoizolacijskega materiala (λ_{corr})

PRILOGA A: SHEMA ZAKONODAJE IZ PODROČJA TOPLOTNE PREHODNOSTI IN TOPLOTNE ZAŠČITE ZGRADB



PRILOGA B: IZRAČUNI RAZMERIJ DEBELIN TOPLOTNE IZOLACIJE KOMBINIRANE RAVNE STREHE

Preglednica: Razmerje debelin toplotne izolacije kombinirane (in obrnjene) ravne strehe v odvisnosti od zahtev po toplotni prehodnosti U ter razmerja med debelinami EPS in XPS izolacij.

VRSTA KONSTRUKCIJSKEGA SKLOPA RAVNE STREHE	OBRNJENA STREHA	KOMBINIRANA RAVNA STREHA											
		EPS:XPS [cm]*											
VRSTA ZAHTEVANE TOPLOTNE IZOLACIJE V SISTEMU/ U [W/m ² ·K]	XPS [cm]	1:1		2:1		3:1		4:1		5:1			
		I	Zahtev PURE S 2010	8,5	8,5	11,4	5,7	12,9	4,3	14	3,5	14,5	2,9
		17		17,1		17,2		17,5		17,4			
II	Izboljšana toplotna izolacija	9,5	9,5	12,8	6,4	14,4	4,8	15,6	3,9	16	3,2		
		19		19,2		19,2		19,5		19,2			
III	Izboljšana toplotna izolacija	11,5	11,5	15,4	7,7	17,4	5,8	18,8	4,7	19,5	3,9		
		23		23,1		23,2		23,5		23,4			
IV	Izboljšana toplotna izolacija	14,6	14,6	19,6	9,8	22,2	7,4	23,6	5,9	24,5	4,9		
		29,2		29,4		29,6		29,5		29,4			
V	Izboljšana toplotna izolacija	17,6	17,6	23,6	11,8	26,7	8,9	28,4	7,1	30	6		
		35,2		35,4		35,6		35,5		36			
VI	Izboljšana toplotna izolacija	22,2	22,2	29,8	14,9	33,6	11,2	36	9	37,5	7,5		
		44,4		44,7		44,8		45		45			

* Δ_{XPS} [$\lambda=0,036$ W/m·K], Δ_{EPS} [$\lambda=0,037$ W/m·K]

**PRILOGA C: PODATKI ZA POTREBE IZRAČUNOV POVPREČNE PADLE KOLIČINE
PADAVIN (p) V OBDOBJU KURILNE SEZONE 2013/2014 ZA RAZLIČNE
KRAJE SLOVENIJE**

Kraj	Povprečna količina padavin (p) v obdobju ogrevalne sezone 2013/2014 (mm/dan)	Št.*	Nadm. višina*	Z KS*	K KS*	T KS* [dan]
1 Murska Sobota - Rakičan	2,1009	355	186	2.10.2013	20.5.2014	231
2 Maribor - Tabor	2,7923	310	275	30.9.2013	21.5.3014	234
3 Novo mesto	3,3977	249	220	5.10.2013	8.5.2014	216
4 Kočevje	5,1094	174	467	14.9.2013	6.6.2014	266
5 Ljubljana - Bežigrad	4,1970	192	299	5.10.2013	24.4.2014	202
6 Postojna	5,4628	136	533	14.9.2013	21.5.2014	250
7 Lesce	6,0639	403	506	14.9.2013	6.6.2014	266
8 Rateče	5,8404	51	864	31.8.2013	8.6.2014	282
9 Bilje	5,4153	97	51	6.10.2013	25.4.2014	202
10 Portorož - letališče	3,2598	464	2	5.10.2013	16.4.2014	194

*Podatki s spletne strani www.meteo.si (Pridobljeno 15.9.2014).

Z KS Začetek kurilne sezone - prvi dan

K KS Konec kurilne sezone - zadnji dan

T KS Trajanje kurilne sezone (dan)

PRILOGA D: OBRNJENA RAVNA STREHA – POVEČANE DEBELINE TOPLOTNOIZOLACIJSKEGA SLOJA ZARADI POPRAVKA K U

Izračuni za $U=0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

(z različnimi drenažnimi faktorji ($f \cdot x$) za različne kraje Slovenije (p))

Umax [W/m ² ·K]	0,20	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/U _{ks} [%]	d novi [m]
U _{ks} [W/m ² ·K]	0,15						
$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,22768	0	0,15	0	100	0,22768
Maribor - Tabor	2,7923	0,22768	0	0,15	0	100	0,22768
Portorož - letališče	3,2598	0,22768	0	0,15	0	100	0,22768
Novo mesto	3,3977	0,22768	0	0,15	0	100	0,22768
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,22768	0	0,15	0	100	0,22768
Kočevje	5,1094	0,22768	0	0,15	0	100	0,22768
Bilje	5,4153	0,22768	0	0,15	0	100	0,22768
Postojna	5,4628	0,22768	0	0,15	0	100	0,22768
Rateče	5,8404	0,22768	0	0,15	0	100	0,22768
Lesce	6,0639	0,22768	0	0,15	0	100	0,22768

U _{ks} [W/m ² ·K]	0,15	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/U _{ks} [%]	d novi [m]
$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,03						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,22768	0,05672	0,09328	37,8142	62,18580	0,37362
Maribor - Tabor	2,7923	0,22768	0,07539	0,07461	50,25969	49,74031	0,47019
Portorož - letališče	3,2598	0,22768	0,08801	0,06199	58,67413	41,32587	0,56843
Novo mesto	3,3977	0,22768	0,09173	0,05827	61,15609	38,84391	0,60554
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,22768	0,11332	0,03668	75,54376	24,45624	0,96903
Kočevje	5,1094	0,22768	0,13795	0,01205	91,96644	8,03356	2,97515
Bilje	5,4153	0,22768	0,14621	0,00379	97,47266	2,52734	9,48383
Postojna	5,4628	0,22768	0,14749	0,00251	98,32679	1,67321	14,33137
Rateče	5,8404	0,22768	0,15769	-0,00769	105,1238	-5,12380	-4,69634
Lesce	6,0639	0,22768	0,16372	-0,01372	109,1464	-9,14637	-2,63631

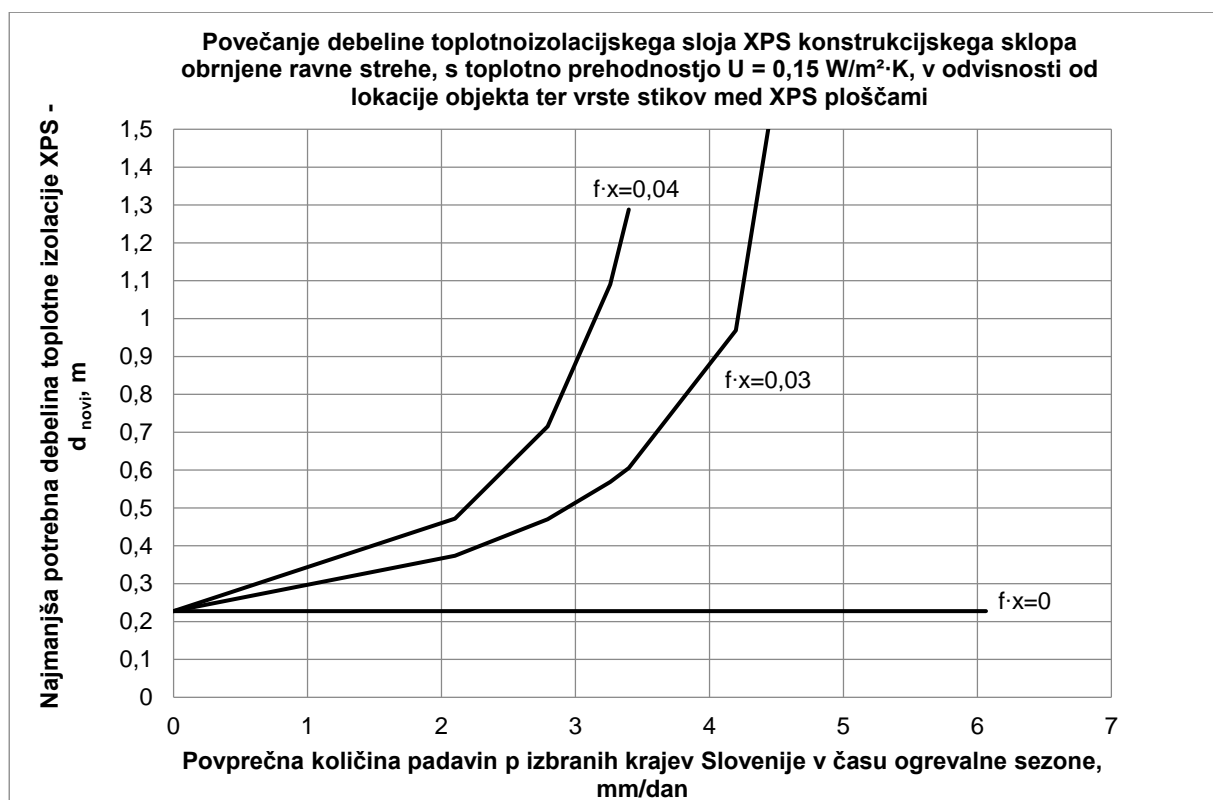
U _{ks} [W/m ² ·K]	0,15	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/U _{ks} [%]	d novi [m]
$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,04						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,22768	0,07563	0,07437	50,41893	49,58107	0,47174

se nadaljuje ...

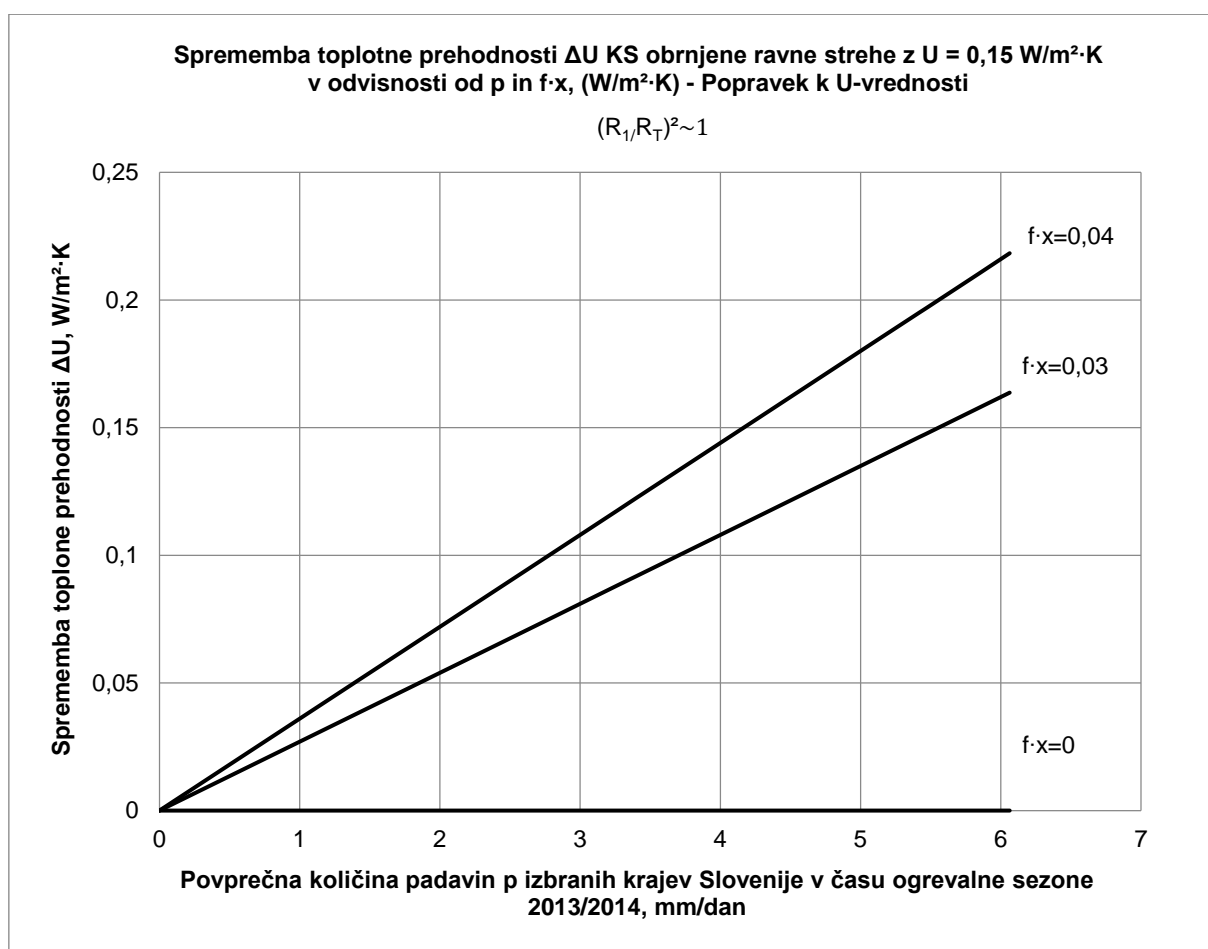
... nadaljevanje preglednice

Maribor - Tabor	2,7923	0,22768	0,10052	0,04948	67,01292	32,98708	0,71524
Portorož - letališče	3,2598	0,22768	0,11735	0,03265	78,23218	21,76782	1,09023
Novo mesto	3,3977	0,22768	0,12231	0,02769	81,54145	18,45855	1,28789
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,22768	0,15109	-0,00109	100,725	-0,72502	-33,11508
Kočevje	5,1094	0,22768	0,18393	-0,03393	122,6219	-22,6219	-1,07324
Bilje	5,4153	0,22768	0,19495	-0,04495	129,9635	-29,9635	-0,81329
Postojna	5,4628	0,22768	0,19665	-0,04665	131,1024	-31,1024	-0,78396
Rateče	5,8404	0,22768	0,21025	-0,06025	140,1651	-40,1651	-0,60985
Lesce	6,0639	0,22768	0,21829	-0,06829	145,5285	-45,5285	-0,53946

Kraj	$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
	Količina padavin p [mm/dan]	d novi [m]		
	0	0,227681	0,227681	0,227681
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,227681	0,37362	0,471736
Maribor - Tabor	2,7923	0,227681	0,47019	0,715238
Portorož - letališče	3,2598	0,227681	0,56843	1,090226
Novo mesto	3,3977	0,227681	0,60554	1,287891
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,227681	0,96903	-33,1151
Kočevje	5,1094	0,227681	2,97515	-1,07324
Bilje	5,4153	0,227681	9,48383	-0,81329
Postojna	5,4628	0,227681	14,33137	-0,78396
Rateče	5,8404	0,227681	-4,69634	-0,60985
Lesce	6,0639	0,227681	-2,63631	-0,53946



ΔU [W/m ² ·K]				
f·x- Vrsta stikov med XPS toplotnoizolacijskimi ploščami [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]/ Povprečna količina padavin p v ogrevalni sezoni 2013/2014 [mm/dan]	0	0,03	0,04	
	0	0	0	0
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0	0,05672	0,07563
Maribor - Tabor	2,7923	0	0,07539	0,10052
Portorož - letališče	3,2598	0	0,08801	0,11735
Novo mesto	3,3977	0	0,09173	0,12231
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0	0,11332	0,15109
Kočevje	5,1094	0	0,13795	0,18393
Bilje	5,4153	0	0,14621	0,19495
Postojna	5,4628	0	0,14749	0,19665
Rateče	5,8404	0	0,15769	0,21025
Lesce	6,0639	0	0,16372	0,21829



Izračuni za $U=0,12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ **(z različnimi drenažnimi faktorji ($f\cdot x$) za različne kraje Slovenije (p))**

Umax [W/m ² ·K]	0,20	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/U _{ks} [%]	d novi [m]
U _{ks} [W/m ² ·K]	0,12						
f·x [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,28768	0	0,12	0	100	0,28768
Maribor - Tabor	2,7923	0,28768	0	0,12	0	100	0,28768
Portorož - letališče	3,2598	0,28768	0	0,12	0	100	0,28768
Novo mesto	3,3977	0,28768	0	0,12	0	100	0,28768
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,28768	0	0,12	0	100	0,28768
Kočevje	5,1094	0,28768	0	0,12	0	100	0,28768
Bilje	5,4153	0,28768	0	0,12	0	100	0,28768
Postojna	5,4628	0,28768	0	0,12	0	100	0,28768
Rateče	5,8404	0,28768	0	0,12	0	100	0,28768
Lesce	6,0639	0,28768	0	0,12	0	100	0,28768

U _{ks} [W/m ² ·K]	0,12	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/U _{ks} [%]	d novi [m]
f·x [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,03						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,28768	0,05796	0,06204	48,29631	51,7037	0,56791
Maribor - Tabor	2,7923	0,28768	0,07703	0,04297	64,19170	35,8083	0,82548
Portorož - letališče	3,2598	0,28768	0,08993	0,03007	74,93863	25,0614	1,18474
Novo mesto	3,3977	0,28768	0,09373	0,02627	78,10858	21,8914	1,35808
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,28768	0,11578	0,00422	96,48453	3,5155	8,52138
Kočevje	5,1094	0,28768	0,14095	-0,02095	117,45957	-17,4596	-1,73057
Bilje	5,4153	0,28768	0,14939	-0,02939	124,49213	-24,4921	-1,23720
Postojna	5,4628	0,28768	0,15070	-0,03070	125,58302	-25,5830	-1,18497
Rateče	5,8404	0,28768	0,16112	-0,04112	134,26417	-34,2642	-0,88787
Lesce	6,0639	0,28768	0,16728	-0,04728	139,40179	-39,4018	-0,77371

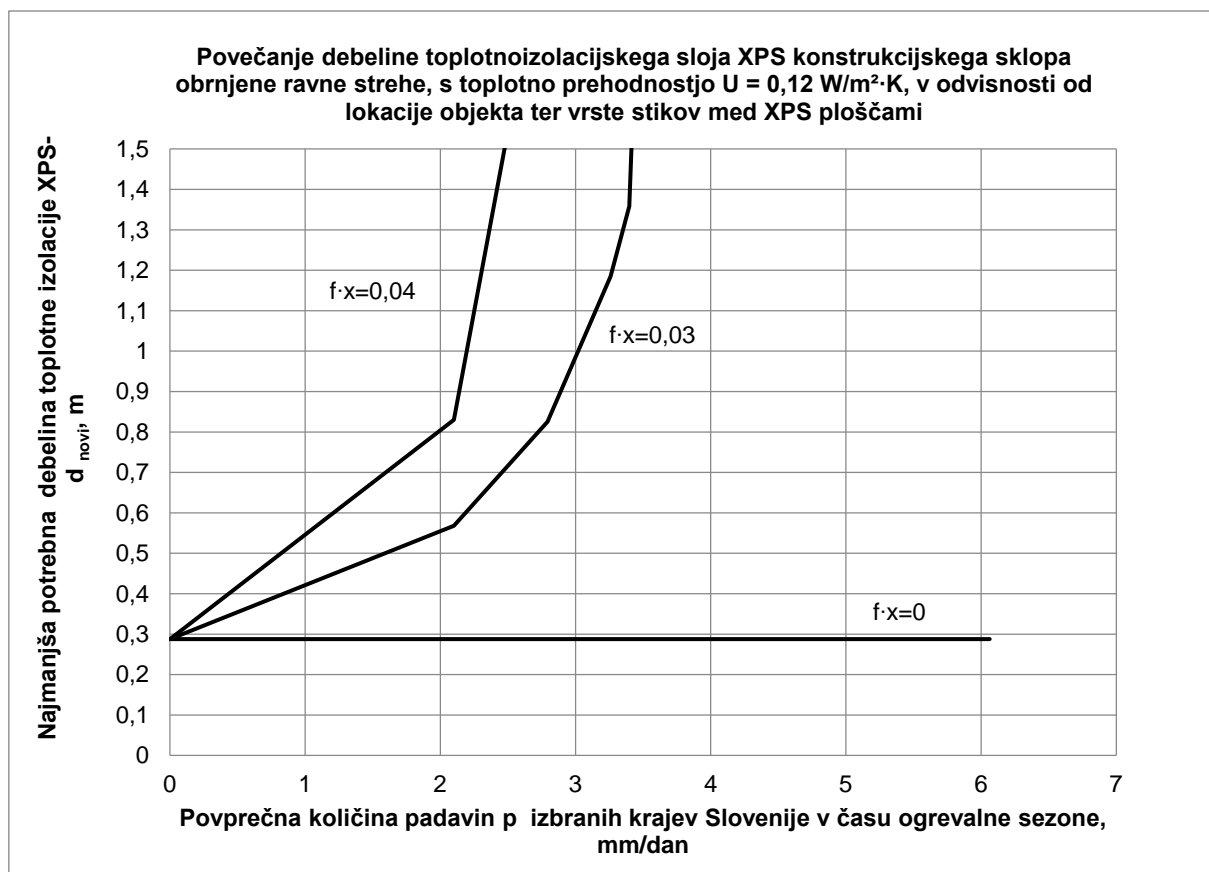
U _{ks} [W/m ² ·K]	0,12	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/U _{ks} [%]	d novi [m]
f·x [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,04						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,28768	0,07727	0,04273	64,39508	35,60492	0,83026
Maribor - Tabor	2,7923	0,28768	0,10271	0,01729	85,58894	14,41106	2,06942
Portorož - letališče	3,2598	0,28768	0,11990	0,00010	99,91818	0,081824	0,00000

se nadaljuje ...

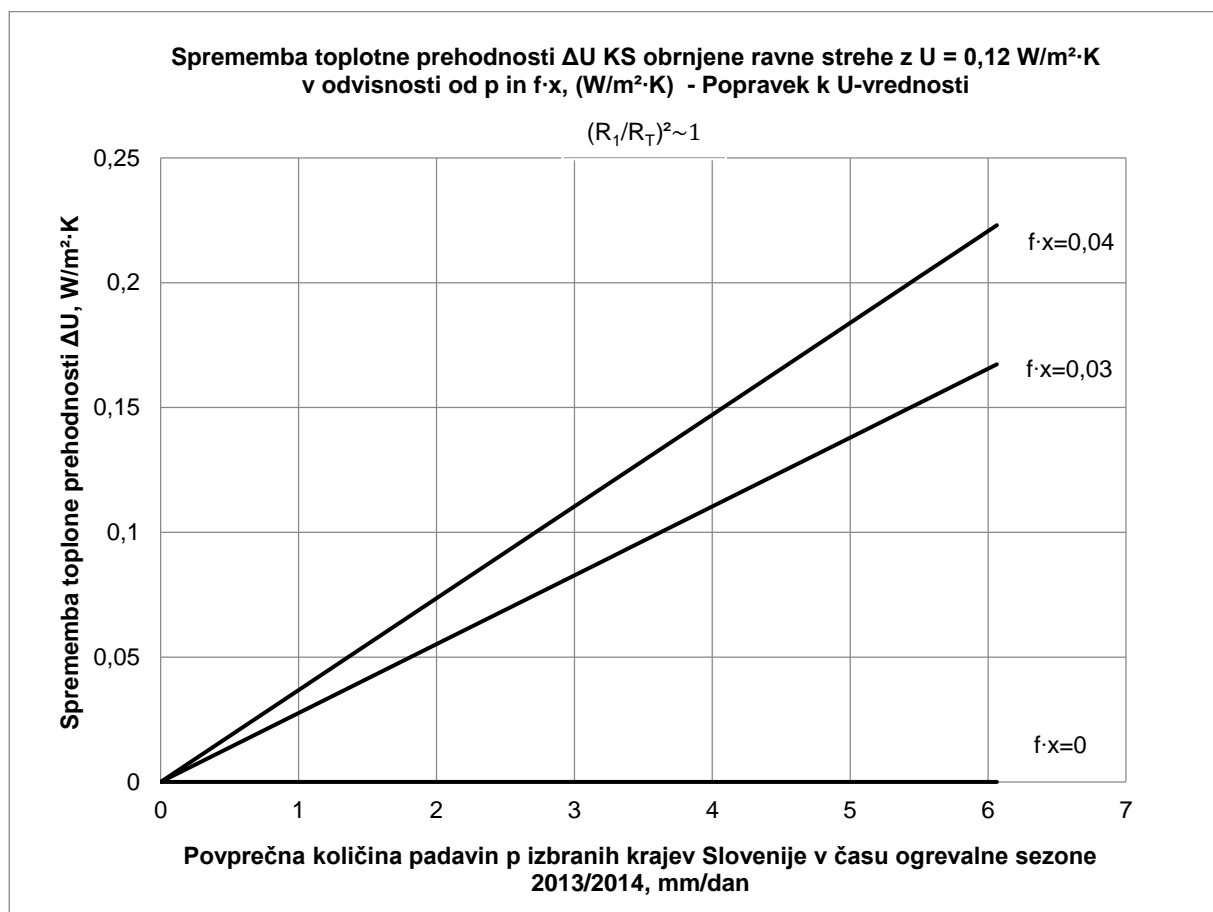
... nadaljevanje preglednice

Novo mesto	3,3977	0,28768	0,12497	-0,00497	104,14478	-4,14478	-7,25034
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,28768	0,15438	-0,03438	128,64604	-28,646	-1,05958
Kočevje	5,1094	0,28768	0,18794	-0,06794	156,61277	-56,6128	-0,54224
Bilje	5,4153	0,28768	0,19919	-0,07919	165,98950	-65,9895	-0,46694
Postojna	5,4628	0,28768	0,20093	-0,08093	167,44403	-67,444	-0,45713
Rateče	5,8404	0,28768	0,21482	-0,09482	179,01889	-79,0189	-0,39198
Lesce	6,0639	0,28768	0,22304	-0,10304	185,86906	-85,8691	-0,36169

Kraj	$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
	Količina padavin p [mm/dan]	dnovi (m)		
	0	0,287681	0,287681	0,287681
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,287681	0,56791	0,83026
Maribor - Tabor	2,7923	0,287681	0,82548	2,06942
Portorož - letališče	3,2598	0,287681	1,18474	0,00000
Novo mesto	3,3977	0,287681	1,35808	-7,25034
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,287681	8,52138	-1,05958
Kočevje	5,1094	0,287681	-1,73057	-0,54224
Bilje	5,4153	0,287681	-1,23720	-0,46694
Postojna	5,4628	0,287681	-1,18497	-0,45713
Rateče	5,8404	0,287681	-0,88787	-0,39198
Lesce	6,0639	0,287681	-0,77371	-0,36169



ΔU [W/m ² ·K]				
f·x- Vrsta stikov med XPS toplotnoizolacijskimi ploščami [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]/ Povprečna količina padavin p v ogrevalni sezoni 2013/2014 [mm/dan]	0	0,03	0,04	
	0	0	0	0
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0	0,05796	0,07727
Maribor - Tabor	2,7923	0	0,07703	0,10271
Portorož - letališče	3,2598	0	0,08993	0,11990
Novo mesto	3,3977	0	0,09373	0,12497
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0	0,11578	0,15438
Kočevje	5,1094	0	0,14095	0,18794
Bilje	5,4153	0	0,14939	0,19919
Postojna	5,4628	0	0,15070	0,20093
Rateče	5,8404	0	0,16112	0,21482
Lesce	6,0639	0	0,16728	0,22304



Izračuni za $U=0,10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

(z različnimi drenažnimi faktorji ($f \cdot x$) za različne kraje Slovenije (p))

Umax [W/m ² ·K]	0,20	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/U _{ks} [%]	d novi [m]
U _{ks} [W/m ² ·K]	0,10						
$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,34768	0	0,1	0	100	0,34768
Maribor - Tabor	2,7923	0,34768	0	0,1	0	100	0,34768
Portorož - letališče	3,2598	0,34768	0	0,1	0	100	0,34768
Novo mesto	3,3977	0,34768	0	0,1	0	100	0,34768
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,34768	0	0,1	0	100	0,34768
Kočevje	5,1094	0,34768	0	0,1	0	100	0,34768
Bilje	5,4153	0,34768	0	0,1	0	100	0,34768
Postojna	5,4628	0,34768	0	0,1	0	100	0,34768
Rateče	5,8404	0,34768	0	0,1	0	100	0,34768
Lesce	6,0639	0,34768	0	0,1	0	100	0,34768

U _{ks} [W/m ² ·K]	0,10	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/U _{ks} [%]	d novi [m]
$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,03						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,34768	0,05879	0,04121	58,78595	41,2141	0,86117
Maribor - Tabor	2,7923	0,34768	0,07813	0,02187	78,13372	21,8663	1,63405
Portorož - letališče	3,2598	0,34768	0,09121	0,00879	91,21480	8,7852	4,08548
Novo mesto	3,3977	0,34768	0,09507	0,00493	95,07325	4,9268	7,29473
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,34768	0,11744	-0,01744	117,44033	-17,4403	-2,07650
Kočevje	5,1094	0,34768	0,14297	-0,04297	142,97101	-42,9710	-0,85009
Bilje	5,4153	0,34768	0,15153	-0,05153	151,53099	-51,5310	-0,71093
Postojna	5,4628	0,34768	0,15286	-0,05286	152,85882	-52,8588	-0,69338
Rateče	5,8404	0,34768	0,16343	-0,06343	163,42545	-63,4255	-0,57991
Lesce	6,0639	0,34768	0,16968	-0,06968	169,67894	-69,6789	-0,52897

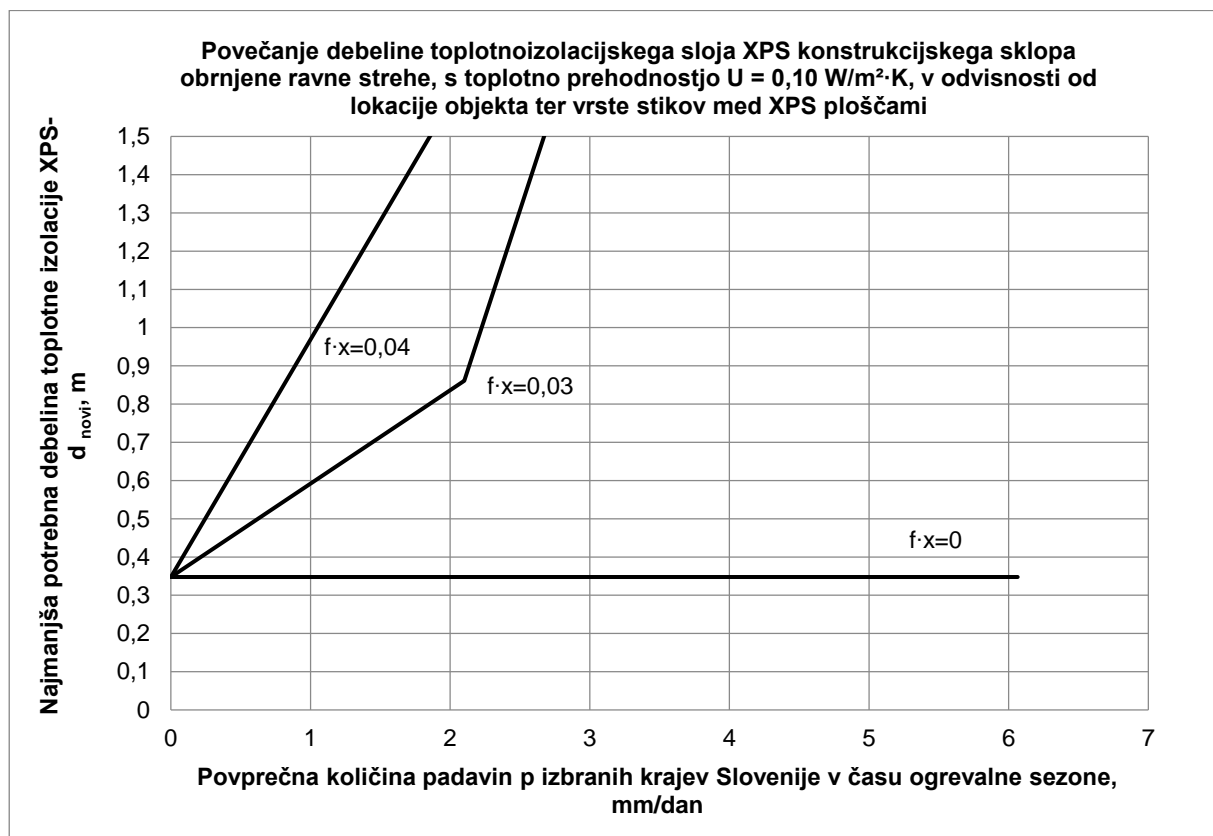
U _{ks} [W/m ² ·K]	0,10	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/U _{ks} [%]	d novi [m]
$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,04						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,34768	0,07838	0,02162	78,38126	21,61874	1,65290
Maribor - Tabor	2,7923	0,34768	0,10418	-0,00418	104,17829	-4,17829	-8,62829
Portorož - letališče	3,2598	0,34768	0,12162	-0,02162	121,61974	-21,61974	-1,67746

se nadaljuje ...

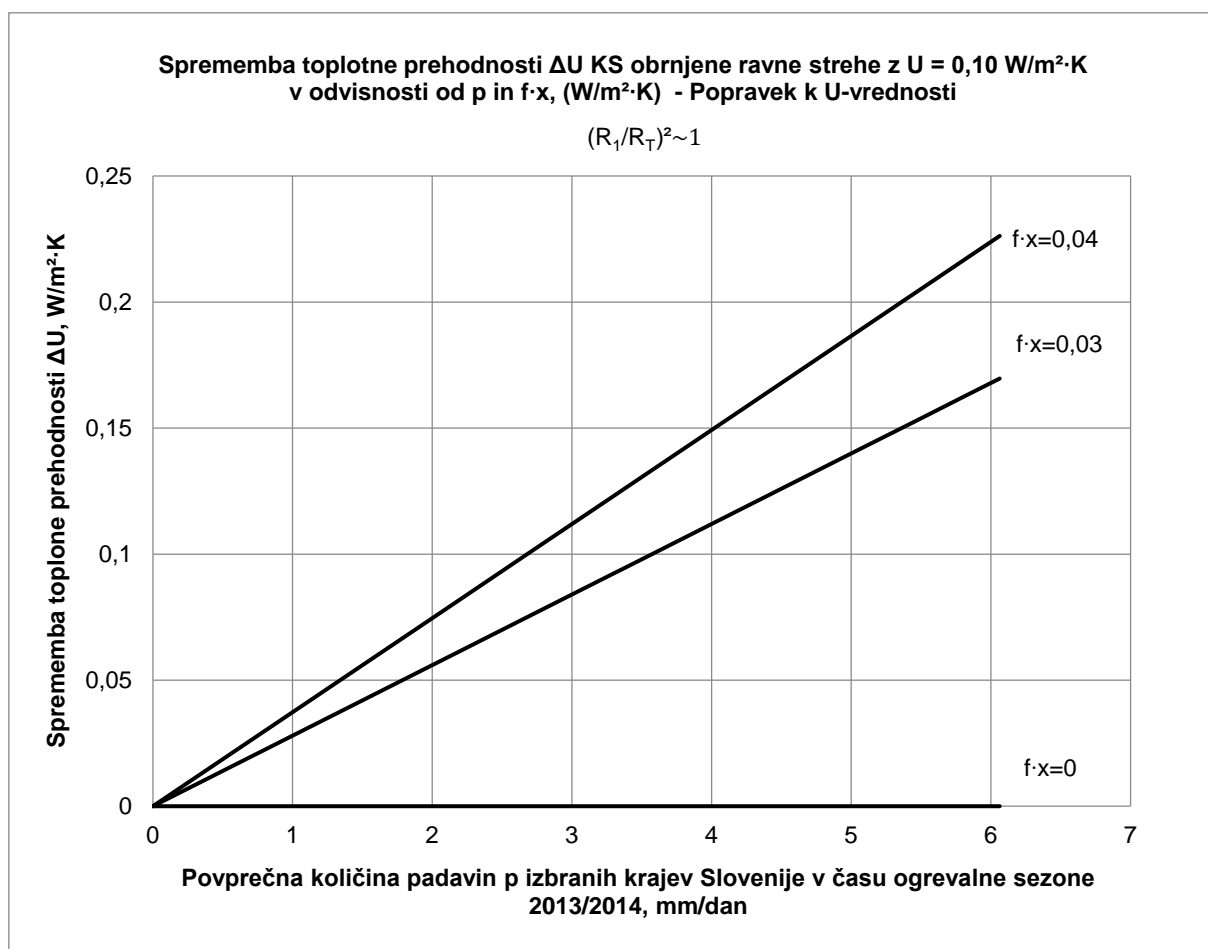
... nadaljevanje preglednice

Novo mesto	3,3977	0,34768	0,12676	-0,02676	126,76433	-26,76433	-1,35739
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,34768	0,15659	-0,05659	156,58710	-56,58710	-0,64851
Kočevje	5,1094	0,34768	0,19063	-0,09063	190,62802	-90,62802	-0,40955
Bilje	5,4153	0,34768	0,20204	-0,10204	202,04132	-102,04132	-0,36512
Postojna	5,4628	0,34768	0,20381	-0,10381	203,81176	-103,81176	-0,35910
Rateče	5,8404	0,34768	0,21790	-0,11790	217,90060	-117,90060	-0,31766
Lesce	6,0639	0,34768	0,22624	-0,12624	226,23858	-126,23858	-0,29749

Kraj	$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
	Količina padavin p [mm/dan]	d novi [m]		
	0	0,347681	0,347681	0,347681
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,347681	0,86117	1,65290
Maribor - Tabor	2,7923	0,347681	1,63405	-8,62829
Portorož - letališče	3,2598	0,347681	4,08548	-1,67746
Novo mesto	3,3977	0,347681	7,29473	-1,35739
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,347681	-2,07650	-0,64851
Kočevje	5,1094	0,347681	-0,85009	-0,40955
Bilje	5,4153	0,347681	-0,71093	-0,36512
Postojna	5,4628	0,347681	-0,69338	-0,35910
Rateče	5,8404	0,347681	-0,57991	-0,31766
Lesce	6,0639	0,347681	-0,52897	-0,29749



ΔU [W/m ² ·K]				
f·x- Vrsta stikov med XPS toplotnoizolacijskimi ploščami [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]/ Povprečna količina padavin p v ogrevalni sezoni 2013/2014 [mm/dan]	0	0,03	0,04	
	0	0	0	0
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0	0,05879	0,07838
Maribor - Tabor	2,7923	0	0,07813	0,10418
Portorož - letališče	3,2598	0	0,09121	0,12162
Novo mesto	3,3977	0	0,09507	0,12676
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0	0,11744	0,15659
Kočevje	5,1094	0	0,14297	0,19063
Bilje	5,4153	0	0,15153	0,20204
Postojna	5,4628	0	0,15286	0,20381
Rateče	5,8404	0	0,16343	0,21790
Lesce	6,0639	0	0,16968	0,22624



Izračuni za $U=0,08 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ **(z različnimi drenažnimi faktorji ($f\cdot x$) za različne kraje Slovenije (p))**

Umax [W/m ² ·K]	0,20	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
Uks [W/m ² ·K]	0,08						
f·x [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,43768	0	0,08	0	100	0,43768
Maribor - Tabor	2,7923	0,43768	0	0,08	0	100	0,43768
Portorož - letališče	3,2598	0,43768	0	0,08	0	100	0,43768
Novo mesto	3,3977	0,43768	0	0,08	0	100	0,43768
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,43768	0	0,08	0	100	0,43768
Kočevje	5,1094	0,43768	0	0,08	0	100	0,43768
Bilje	5,4153	0,43768	0	0,08	0	100	0,43768
Postojna	5,4628	0,43768	0	0,08	0	100	0,43768
Rateče	5,8404	0,43768	0	0,08	0	100	0,43768
Lesce	6,0639	0,43768	0	0,08	0	100	0,43768

Uks [W/m ² ·K]	0,08	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
f·x [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,03						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,43768	0,05962	0,02038	74,52768	25,47232	1,75430
Maribor - Tabor	2,7923	0,43768	0,07925	0,00075	99,0564	0,943599	47,67742
Portorož - letališče	3,2598	0,43768	0,09251	-0,01251	115,6404	-15,6404	-2,88949
Novo mesto	3,3977	0,43768	0,09643	-0,01643	120,532	-20,532	-2,20402
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,43768	0,11911	-0,03911	148,8886	-48,8886	-0,93278
Kočevje	5,1094	0,43768	0,14500	-0,06500	181,2559	-81,2559	-0,56613
Bilje	5,4153	0,43768	0,15369	-0,07369	192,108	-92,108	-0,50088
Postojna	5,4628	0,43768	0,15503	-0,07503	193,7914	-93,7914	-0,49211
Rateče	5,8404	0,43768	0,16575	-0,08575	207,1876	-107,188	-0,43214
Lesce	6,0639	0,43768	0,17209	-0,09209	215,1156	-115,116	-0,40323

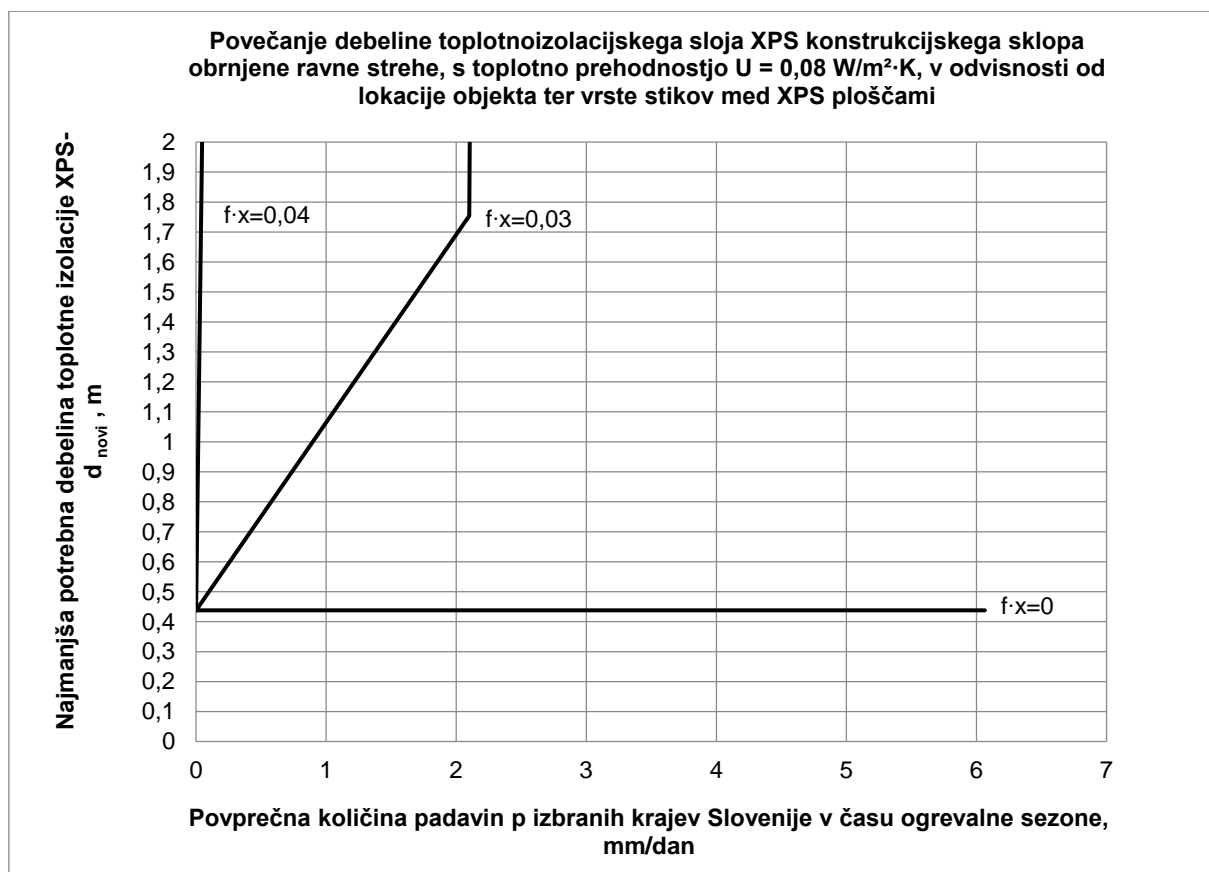
Uks [W/m ² ·K]	0,08	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
f·x [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,04						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,43768	0,07950	0,000504	99,37024	0,6298	71,44296
Maribor - Tabor	2,7923	0,43768	0,10566	-0,025660	132,0752	-32,0752	-1,41527
Portorož - letališče	3,2598	0,43768	0,12335	-0,043350	154,1871	-54,1871	-0,84277

se nadaljuje ...

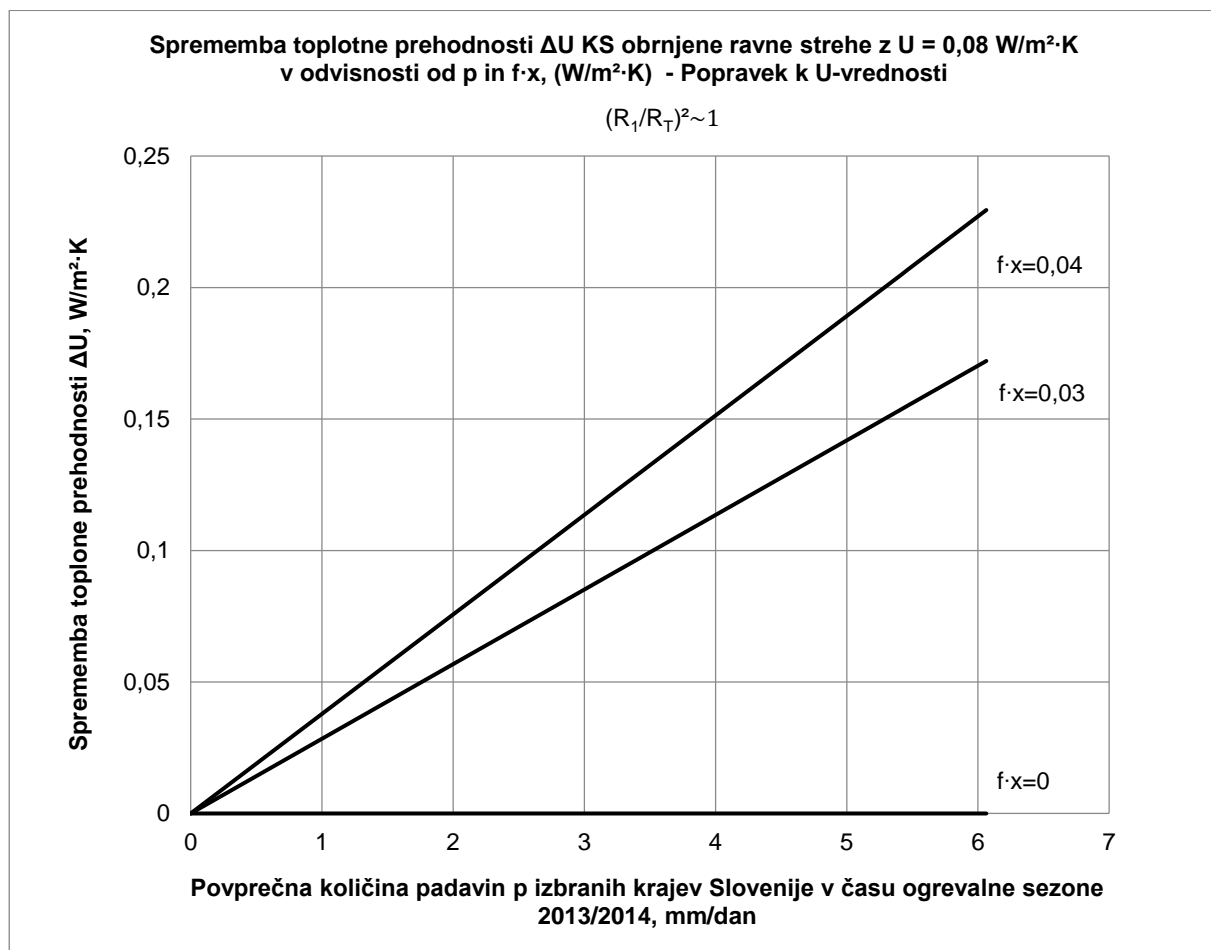
... nadaljevanje preglednice

Novo mesto	3,3977	0,43768	0,12857	-0,048567	160,7093	-60,7093	-0,75356
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,43768	0,15881	-0,078814	198,5181	-98,5181	-0,46909
Kočevje	5,1094	0,43768	0,19334	-0,113340	241,6745	-141,6745	-0,32995
Bilje	5,4153	0,43768	0,20492	-0,124915	256,144	-156,1440	-0,30051
Postojna	5,4628	0,43768	0,20671	-0,126711	258,3886	-158,3886	-0,29643
Rateče	5,8404	0,43768	0,22100	-0,141000	276,2501	-176,2501	-0,26764
Lesce	6,0639	0,43768	0,22946	-0,149457	286,8209	-186,8209	-0,25319

Kraj	$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
	Količina padavin p [mm/dan]	d novi [m]		
	0	0,43768	0,43768	0,43768
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,43768	1,75430	71,44296
Maribor - Tabor	2,7923	0,43768	47,67742	-1,41527
Portorož - letališče	3,2598	0,43768	-2,88949	-0,84277
Novo mesto	3,3977	0,43768	-2,20402	-0,75356
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,43768	-0,93278	-0,46909
Kočevje	5,1094	0,43768	-0,56613	-0,32995
Bilje	5,4153	0,43768	-0,50088	-0,30051
Postojna	5,4628	0,43768	-0,49211	-0,29643
Rateče	5,8404	0,43768	-0,43214	-0,26764
Lesce	6,0639	0,43768	-0,40323	-0,25319



ΔU [W/m ² ·K]				
f·x- Vrsta stikov med XPS toplotnoizolacijskimi ploščami [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]/ Povprečna količina padavin p v ogrevalni sezoni 2013/2014 [mm/dan]	0	0,03	0,04	
	0	0	0	0
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0	0,05962	0,07950
Maribor - Tabor	2,7923	0	0,07925	0,10566
Portorož - letališče	3,2598	0	0,09251	0,12335
Novo mesto	3,3977	0	0,09643	0,12857
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0	0,11911	0,15881
Kočevje	5,1094	0	0,14500	0,19334
Bilje	5,4153	0	0,15369	0,20492
Postojna	5,4628	0	0,15503	0,20671
Rateče	5,8404	0	0,16575	0,22100
Lesce	6,0639	0	0,17209	0,22946



PRILOGA E: KOMBINIRANA RAVNA STREHA – POVEČANE DEBELINE TOPLOTNOIZOLACIJSKEGA SLOJA ZARADI POPRAVKA K U

Izračuni povečanih debelin toplotnoizolacijskega sloja (XPS) ter spremembe toplotne prehodnosti ΔU ($W/m^2 \cdot K$) konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe ob zahtevi po $U=0,18 W/m^2 \cdot K$ in upoštevanjem popravka k U za obrnjene strehe

U=0,18 W/m ² ·K		ΔU (W/m ² ·K)					
		(R ₁ /R _T) ²	p (mm/dan)				
			Murska Sobota- Rakičan	Portorož	Novo mesto	Ljubljana- Bežigrad	Lesce
		2,1009	3,2598	3,3977	4,1970	6,0639	
f·x=0,04	1:1	0,22435	0,0189	0,0293	0,0305	0,0377	0,0544
	2:1	0,100706	0,0085	0,0131	0,0137	0,0169	0,0244
	3:1	0,056891	0,0048	0,0074	0,0077	0,0096	0,0138
	4:1	0,036578	0,0031	0,0048	0,0050	0,0061	0,0089
	5:1	0,025394	0,0021	0,0033	0,0035	0,0043	0,0062
f·x=0,03	1:1	0,22435	0,0141	0,0219	0,0229	0,0282	0,0408
	2:1	0,100706	0,0063	0,0098	0,0103	0,0127	0,0183
	3:1	0,056891	0,0036	0,0056	0,0058	0,0072	0,0103
	4:1	0,036578	0,0023	0,0036	0,0037	0,0046	0,0067
	5:1	0,025394	0,0016	0,0025	0,0026	0,0032	0,0046
f·x=0	1:1	0,22435	0	0	0	0	0
	2:1	0,100706	0	0	0	0	0
	3:1	0,056891	0	0	0	0	0
	4:1	0,036578	0	0	0	0	0
	5:1	0,025394	0	0	0	0	0

U=0,18 W/m ² ·K		d novi (XPS) KOMBINIRANA RS						
		(R ₁ /R _T) ²	Prvotna debelina d _{XPS} (m)	p (mm/dan)				
				Murska Sobota- Rakičan	Portorož	Novo mesto	Ljubljana- Bežigrad	Lesce
EPS/XPS				2,1009	3,2598	3,3977	4,1970	6,0639
f·x=0,04	1:1	0,22435	0,0950	0,1185	0,1341	0,1360	0,1483	0,1823
	2:1	0,100706	0,0640	0,0740	0,0800	0,0807	0,0851	0,0960
	3:1	0,056891	0,0480	0,0480	0,0567	0,0571	0,0594	0,0648
	4:1	0,036578	0,0390	0,0390	0,0390	0,0390	0,0463	0,0498
	5:1	0,025394	0,0320	0,0320	0,0320	0,0320	0,0320	0,0391
f·x=0,03	1:1	0,22435	0,0950	0,1122	0,1229	0,1243	0,1325	0,1540
	2:1	0,100706	0,0640	0,0714	0,0758	0,0763	0,0794	0,0871
	3:1	0,056891	0,0480	0,0480	0,0545	0,0547	0,0564	0,0604

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice

	4:1	0,036578	0,0390	0,0390	0,0390	0,0390	0,0390	0,0470
	5:1	0,025394	0,0320	0,0320	0,0320	0,0320	0,0320	0,0320
f·x=0	1:1	0,22435	0,0950	0,0950	0,0950	0,0950	0,0950	0,0950
	2:1	0,100706	0,0640	0,0640	0,0640	0,0640	0,0640	0,0640
	3:1	0,056891	0,0480	0,0480	0,0480	0,0480	0,0480	0,0480
	4:1	0,036578	0,0390	0,0390	0,0390	0,0390	0,0390	0,0390
	5:1	0,025394	0,0320	0,0320	0,0320	0,0320	0,0320	0,0320

Kombinirana ravna streha EPS:XPS=1:1			
f·x [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
p [mm/dan]	d novi (XPS) [m]		
0	0,0950	0,0950	0,0950
2,1009	0,0950	0,1122	0,1185
3,2598	0,0950	0,1229	0,1341
3,3977	0,0950	0,1243	0,1360
4,197	0,0950	0,1325	0,1483
6,0639	0,0950	0,1540	0,1823

Kombinirana ravna streha EPS:XPS=3:1			
f·x [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
p [mm/dan]	d novi (XPS) [m]		
0	0,0480	0,0480	0,0480
2,1009	0,0480	0,0480	0,0480
3,2598	0,0480	0,0545	0,0567
3,3977	0,0480	0,0547	0,0571
4,197	0,0480	0,0564	0,0594
6,0639	0,0480	0,0604	0,0648

Kombinirana ravna streha EPS:XPS=5:1			
f·x [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
p [mm/dan]	d novi (XPS) [m]		
0	0,0320	0,0320	0,0320
2,1009	0,0320	0,0320	0,0320
3,2598	0,0320	0,0320	0,0320
3,3977	0,0320	0,0320	0,0320
4,197	0,0320	0,0320	0,0320
6,0639	0,0320	0,0320	0,0391

PRILOGA F: OBRNJENA IN KOMBINIRANA RAVNA STREHA – POVEČANE DEBELINE TOPLOTNOIZOLACIJSKEGA SLOJA ZARADI POPRAVKA K U

Izračuni povečanih debelin toplotnoizolacijskega sloja (XPS z ravnimi robovi, $f \cdot x = 0,04$) konstrukcijskega sklopa obrnjene in kombinirane ravne strehe ob zahtevi po različnih U in upoštevanjem popravka k U za obrnjene strehe, prikazani na treh krajih z različnimi povprečnimi količinami padavin v času kurilne sezone 2013/2014

Preglednica 1: Najmanjše zahtevane debeline toplotne izolacije XPS glede na zahtevano toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa U ter upoštevanjem toplotnih izgub po ISO 6946 za primer (1) obrnjene/inverzne in (2) kombinirane ravne strehe (Murska Sobota-Rakičan)

Preglednica 2: Najmanjše zahtevane debeline toplotne izolacije XPS glede na zahtevano toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa U ter upoštevanjem toplotnih izgub po ISO 6946 za primer (1) obrnjene/inverzne in (2) kombinirane ravne strehe (Ljubljana-Bežigrad)

Preglednica 3: Najmanjše zahtevane debeline toplotne izolacije XPS glede na zahtevano toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa U ter upoštevanjem toplotnih izgub po ISO 6946 za primer (1) obrnjene/inverzne in (2) kombinirane ravne strehe (Lesce)

Preglednica 4: Sprememba toplotne prehodnosti ΔU konstrukcijskega sklopa obrnjene in kombinirane ravne strehe, ob različno zahtevanih U ter $f \cdot x = 0,04$, za tri kraje iz Slovenije

Preglednica 5: Povečane debeline toplotnoizolacijskega sloja (XPS) konstrukcijskega sklopa obrnjene in kombinirane ravne strehe, ob različno zahtevanih U ter $f \cdot x = 0,04$, za tri kraje iz Slovenije

*Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah UL RS 52/2010 (U_{max}).

**ISO 6946, Priloga D 4.3 (ΔU).

Povečana debelina toplotne izolacije (TI) = minimalna zahtevana debelina TI + dodatna debelina TI (XPS) glede na zahteve ISO 6946 (nastop toplotnih izgub zaradi precejanja padavin skozi stike obrnjene strehe).

***RD= Razmerje debelin toplotne izolacije glede na zahteve ISO 6946 po korigiranem U konstrukcijskega sklopa (d_{novi}) in prvotne zahteve po U konstrukcijskega sklopa (d), $((\Delta d/d_{novi}) \cdot 100)$, v %.

Murska Sobotna - Rakičan		p=2,1009 mm/dan		Debelina toplotne izolacije														
VRSTA KONSTRUKCIJSKEGA SKLOPARAVNE STREHE				(2) KOMBINIRANA RAVNA STREHA														
(1) OBRNJENA STREHA				EPS:XPS [cm]														
VRSTA ZAHTEVANE TOPLOTNE IZOLACIJE V SISTEMU/ U (W/m ² ·K)				XPS [cm]														
				1:1			2:1			3:1			4:1			5:1		
I	Zahteve PURES*	≤ 0,20		8,5	8,5	11,4	5,7	12,9	4,3	14	3,5	14,5	2,9					
	(+) zahteve ISO 6946**			8,5	10,4	11,4	6,5	12,9	4,3	14	3,5	14,5	2,9					
	RD***	%		51,6	22,4	0	14,0	0	0	0	0	0	0					
II	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,18		9,5	9,5	12,8	6,4	14,4	4,8	15,6	3,9	16	3,2					
	(+) zahteve ISO 6946			9,5	11,9	12,8	7,4	14,4	4,8	15,6	3,9	16	3,2					
	RD	%		74,2	0	25,3	0,0	15,6	0	0	0	0	0					
III	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,15		11,5	11,5	15,4	7,7	17,4	5,8	18,8	4,7	19,5	3,9					
	(+) zahteve ISO 6946			11,5	15	15,4	9,2	17,4	6,6	18,8	4,7	19,5	3,9					
	RD	%		107,3	0	30,4	0	19,5	0	13,8	0	0	0					
IV	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,12		14,6	14,6	19,6	9,8	22,2	7,4	23,6	5,9	24,5	4,9					
	(+) zahteve ISO 6946			14,6	20,6	19,6	12,2	22,2	8,7	23,6	5,9	24,5	4,9					
	RD	%		188,5	0	40,8	0	24,7	0	18,0	0	0	0					
V	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,10		17,6	17,6	23,6	11,8	26,7	8,9	28,4	7,1	30	6					
	(+) zahteve ISO 6946			165,3	17,6	23,6	15,4	26,7	10,8	28,4	8,3	30	6					
	RD	%		375,4	0	51,4	0	30,3	0	21,9	0	16,9	0					
VI	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,08		22,2	22,2	29,8	14,9	33,6	11,2	36	9,0	37,5	7,5					
	(+) zahteve ISO 6946			7144,3	22,2	29,8	20,8	33,6	14,3	36	11,0	37,5	7,5					
	RD	%		16222,4	0	69,6	0	39,3	0	28,0	0	21,9	0					

Ljubljana - Bežigrad		p=4,1970 mm/dan		Debelina toplotne izolacije														
VRSTA KONSTRUKCIJSKEGA SKLOPA RAVNE STREHE				(2) KOMBINIRANA RAVNA STREHA														
(1) OBRNJENA STREHA				EPS:XPS [cm]														
VRSTA ZAHTEVANE TOPLOTNE IZOLACIJE V SISTEMU/ U (W/m ² ·K)				XPS [cm]														
				1:1			2:1			3:1			4:1			5:1		
I	Zahteve PURES*	≤ 0,20		8,5	8,5	11,4	5,7	12,9	4,3	14	3,5	14,5	2,9					
	(+) zahteve ISO 6946**			8,5	12,6	11,4	7,4	12,9	5,2	14	4,1	14,5	2,9					
	RD***	%		288,2	0,0	48,7	29,0	0,0	21,1	0,0	16,8	0,0	0,0					
II	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,18		9,5	9,5	12,8	6,4	14,4	4,8	15,6	3,9	16	3,2					
	(+) zahteve ISO 6946			9,5	14,8	12,8	8,5	14,4	5,9	15,6	4,6	16	3,2					
	RD	%		489,8	0,0	56,1	33,0	0,0	23,6	0,0	18,8	0,0	0,0					
III	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,15		11,5	11,5	15,4	7,7	17,4	5,8	18,8	4,7	19,5	3,9					
	(+) zahteve ISO 6946			11,5	19,8	15,4	10,8	17,4	7,5	18,8	5,8	19,5	3,9					
	RD	%		-14643,3	0,0	72,2	40,6	0,0	28,7	0,0	22,9	0,0	0,0					
IV	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,12		14,6	14,6	19,6	9,8	22,2	7,4	23,6	5,9	24,5	4,9					
	(+) zahteve ISO 6946			14,6	29,4	19,6	15,1	22,2	10,2	23,6	7,6	24,5	6,0					
	RD	%		-468,4	0,0	101,6	53,7	0,0	37,7	0,0	28,3	0,0	23,4					
V	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,10		17,6	17,6	23,6	11,8	26,7	8,9	28,4	7,1	30	6,0					
	(+) zahteve ISO 6946			17,6	41,7	23,6	19,7	26,7	13,0	28,4	9,6	30	7,8					
	RD	%		-286,7	0,0	137,0	67,1	0,0	46,2	0,0	35,2	0,0	29,3					
VI	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,08		22,2	22,2	29,8	14,9	33,6	11,2	36	9,0	37,5	7,5					
	(+) zahteve ISO 6946			22,2	69,1	29,8	28,3	33,6	17,9	36	13,1	37,5	10,2					
	RD	%		-207,2	0,0	211,0	90,1	0,0	60,0	0,0	45,8	0,0	35,9					

Lesce		p=6,0639 mm/dan		Debelina toplotne izolacije														
VRSTA KONSTRUKCIJSKEGA SKLOPA RAVNE STREHE		(1) OBRNJENA RAVNA STREHA		(2) KOMBINIRANA RAVNA STREHA														
VRSTA ZAHTEVANE TOPLOTNE IZOLACIJE V SISTEMUJ U (W/m ² ·K)		XPS [cm]		EPS:XPS [cm]														
				1:1			2:1			3:1			4:1			5:1		
I	Zahteve PURES*	≤ 0,20	16,8	8,5	8,5	11,4	5,7	12,9	4,3	14	3,5	14,5	2,9					
	(+) zahteve ISO 6946**		-344,5	8,5	15,2	11,4	8,2	12,9	5,6	14,0	4,4	14,5	3,4					
	RD***		-2154,0	0	78,4	0	43,7	0	31,1	0	24,7	0	17,7					
II	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,18	18,8	9,5	9,5	12,8	6,4	14,4	4,8	15,6	3,9	16	3,2					
	(+) zahteve ISO 6946		-108,4	9,5	18,2	12,8	9,6	14,4	6,5	15,6	5,0	16,0	3,9					
	RD		-677,5	0	91,9	0	50,0	0	35,0	0	27,7	0	22,3					
III	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,15	22,8	11,5	11,5	15,4	7,7	17,4	5,8	18,8	4,7	19,5	3,9					
	(+) zahteve ISO 6946		-53,9	11,5	25,7	15,4	12,5	17,4	8,3	18,8	6,3	19,5	5,0					
	RD		-336,9	0	123,2	0	62,2	0	42,8	0	33,7	0	27,4					
IV	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,12	28,8	14,6	14,6	19,6	9,8	22,2	7,4	23,6	5,9	24,5	4,9					
	(+) zahteve ISO 6946		-36,2	14,6	42,1	19,6	18,0	22,2	11,6	23,6	8,4	24,5	6,6					
	RD		-225,7	0	188,0	0	84,0	0	56,8	0	42,1	0	34,5					
V	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,10	34,8	17,6	17,6	23,6	11,8	26,7	8,9	28,4	7,1	30	6,0					
	(+) zahteve ISO 6946		-29,7	17,6	67,2	23,6	24,5	26,7	15,2	28,4	10,8	30,0	8,6					
	RD		-185,6	0	281,8	0	107,4	0	70,3	0	52,5	0	43,3					
VI	Izboljšana toplotna izolacija	≤ 0,08	43,8	22,2	22,2	29,8	14,9	33,6	11,2	36	9,0	37,5	7,5					
	(+) zahteve ISO 6946		-25,3	22,2	148,0	29,8	37,3	33,6	21,6	36	15,2	37,5	11,5					
	RD		-157,8	0	566,7	0	150,0	0	92,8	0	68,9	0	53,7					

f·x=0,04		ΔU [W/m²K]		
U KS	(R ₁ /R _T) ²	p [mm/dan]		
		Murska Sobota-Rakičan	Ljubljana-Bežigrad	Lesce
		2,1009	4,1970	6,0639
OBR. RS				
0,20	0,86779	0,0729	0,1457	0,2105
0,18	0,88058	0,0740	0,1478	0,2136
0,15	0,89997	0,0756	0,1511	0,2183
0,12	0,91955	0,0773	0,1544	0,2230
0,10	0,93273	0,0784	0,1566	0,2262
0,08	0,94599	0,0795	0,1588	0,2295
KOMB* 1:1				
0,20	0,220933	0,0186	0,0371	0,0536
0,18	0,22435	0,0189	0,0377	0,0544
0,15	0,229549	0,0193	0,0385	0,0557
0,12	0,234978	0,0197	0,0394	0,0570
0,10	0,238511	0,0200	0,0400	0,0579
0,08	0,242155	0,0203	0,0407	0,0587
KOMB 2:1				
0,20	0,099114	0,0083	0,0166	0,0240
0,18	0,100706	0,0085	0,0169	0,0244
0,15	0,102957	0,0087	0,0173	0,0250
0,12	0,105416	0,0089	0,0177	0,0256
0,10	0,106988	0,0090	0,0180	0,0260
0,08	0,108628	0,0091	0,0182	0,0263
KOMB 3:1				
0,20	0,056037	0,0047	0,0094	0,0136
0,18	0,056891	0,0048	0,0096	0,0138
0,15	0,058182	0,0049	0,0098	0,0141
0,12	0,059592	0,0050	0,0100	0,0145
0,10	0,060473	0,0051	0,0102	0,0147
0,08	0,061384	0,0052	0,0103	0,0149
KOMB 4:1				
0,20	0,036045	0,0030	0,0061	0,0087
0,18	0,036578	0,0031	0,0061	0,0089
0,15	0,037393	0,0031	0,0063	0,0091
0,12	0,038212	0,0032	0,0064	0,0093
0,10	0,038794	0,0033	0,0065	0,0094
0,08	0,039401	0,0033	0,0066	0,0096
KOMB 5:1				
0,20	0,024991	0,0021	0,0042	0,0061
0,18	0,025394	0,0021	0,0043	0,0062
0,15	0,026001	0,0022	0,0044	0,0063
0,12	0,026582	0,0022	0,0045	0,0064
0,10	0,027018	0,0023	0,0045	0,0066
0,08	0,0274	0,0023	0,0046	0,0066

f·x=0,04		d prvotni [λ=0,036 W/m·K]	d novi		
U KS	(R ₁ /R _T) ²		p (mm/dan)		
			Murska Sobota- Rakičan	Ljubljana- Bežigrad	Lesce
			2,1009	4,1970	6,0639
OBR. RS					
0,20	0,86779	0,1677	0,2710	0,6505	-3,4445
0,18	0,88058	0,1877	0,3273	1,1069	-1,0840
0,15	0,89997	0,2277	0,4717	-33,1151	-0,5395
0,12	0,91955	0,2877	0,8303	-1,0596	-0,3617
0,10	0,93273	0,3477	1,6529	-0,6485	-0,2975
0,08	0,94599	0,4377	71,4430	-0,4691	-0,2532
KOMB* 1:1					
0,20	0,22093	0,085	0,1036	0,1264	0,1516
0,18	0,22435	0,095	0,1185	0,1483	0,1823
0,15	0,22955	0,115	0,1504	0,1980	0,2567
0,12	0,23498	0,146	0,2056	0,2944	0,4205
0,10	0,23851	0,176	0,2665	0,4171	0,6719
0,08	0,24215	0,222	0,3764	0,6905	1,4801
KOMB 2:1					
0,20	0,09911	0,057	0,0649	0,0735	0,0819
0,18	0,10071	0,064	0,0740	0,0851	0,0960
0,15	0,10296	0,077	0,0917	0,1082	0,1249
0,12	0,10542	0,098	0,1222	0,1506	0,1804
0,10	0,10699	0,118	0,1537	0,1972	0,2448
0,08	0,10863	0,149	0,2075	0,2833	0,3726
KOMB 3:1					
0,20	0,05604	0,043	0,0430	0,0521	0,0564
0,18	0,05689	0,048	0,0480	0,0594	0,0648
0,15	0,05818	0,0579	0,0660	0,0746	0,0828
0,12	0,05959	0,074	0,0873	0,1019	0,1160
0,10	0,06047	0,089	0,1085	0,1301	0,1516
0,08	0,06138	0,112	0,1433	0,1792	0,2160
KOMB 4:1					
0,20	0,03604	0,035	0,0350	0,0409	0,0436
0,18	0,03658	0,039	0,0390	0,0463	0,0498
0,15	0,03739	0,047	0,0470	0,0578	0,0629
0,12	0,03821	0,0587	0,0587	0,0757	0,0839
0,10	0,03879	0,0709	0,0830	0,0960	0,1083
0,08	0,03940	0,09	0,1097	0,1312	0,1520
KOMB 5:1					
0,20	0,02499	0,0285	0,0285	0,0285	0,0341
0,18	0,02539	0,032	0,0320	0,0320	0,0391
0,15	0,02600	0,039	0,0390	0,0390	0,0497
0,12	0,02658	0,0489	0,0489	0,0605	0,0659
0,10	0,02702	0,06	0,0600	0,0776	0,0860
0,08	0,02740	0,0745	0,0745	0,1020	0,1153

**PRILOGA G: OBRNJENA IN KOMBINIRANA RAVNA STREHA – SPREMEMBE DEBELIN
TOPLOTNOIZOLACIJSKEGA SLOJA ZARADI SPREMEMBE TOPLOTNE
PREVODNOSTI (λ_{corr}) TOPLOTNOIZOLACIJSKEGA MATERIALA**

**VPLIV DIFUZIJE VODNE PARE NA DEBELINO TOPLOTNOIZOLACIJSKEGA MATERIALA
KONSTRUKCIJSKEGA SKLOPA RAVNE STREHE**

Preglednica : Povečanje debeline toplotne izolacije sistema obrnjene in kombinirane ravne strehe zaradi upoštevanja možnosti povečanja vsebnosti vlage v njej zaradi difuzije vodne pare

* λ_{XPS} [$\lambda=0,037$ W/m·K], λ_{EPS} [$\lambda=0,039$ W/m·K],

** λ_{corr} = Vpliv možnosti povečanja vsebnosti vlage v toplotnoizolacijskem sloju zaradi difuzije vodne pare, λ_{corr}
[$\lambda_{XPS}=0,037$ W/m·K, $\lambda_{EPS}=0,039$ W/m·K]

*** RD(razmerje debelin) = Delež povečanja prvotne debeline toplotne izolacije konstrukcijskega sklopa ravne strehe zaradi upoštevanja možnosti povečanja vsebnosti vlage na račun difuzije vodne pare (λ_{corr})

PRILOGA H: OBRNJENA RAVNA STREHA - POPRAVEK K TOPLOTNI PREHODNOSTI (ΔU) IN TOPLOTNI PREVODNOSTI (λ_{corr})

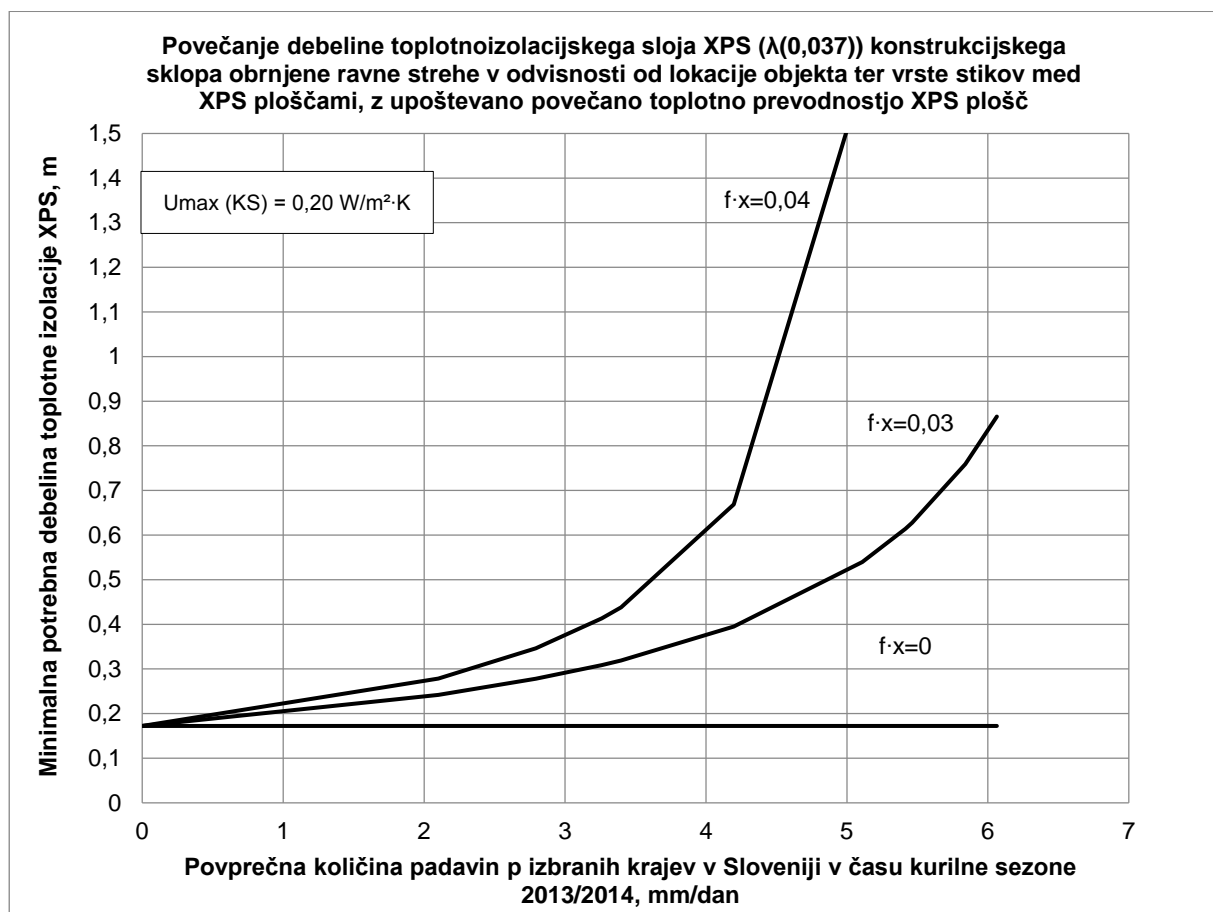
Izračuni za $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

(z različnimi drenažnimi faktorji ($f \cdot x$) za različne kraje Slovenije (ρ))

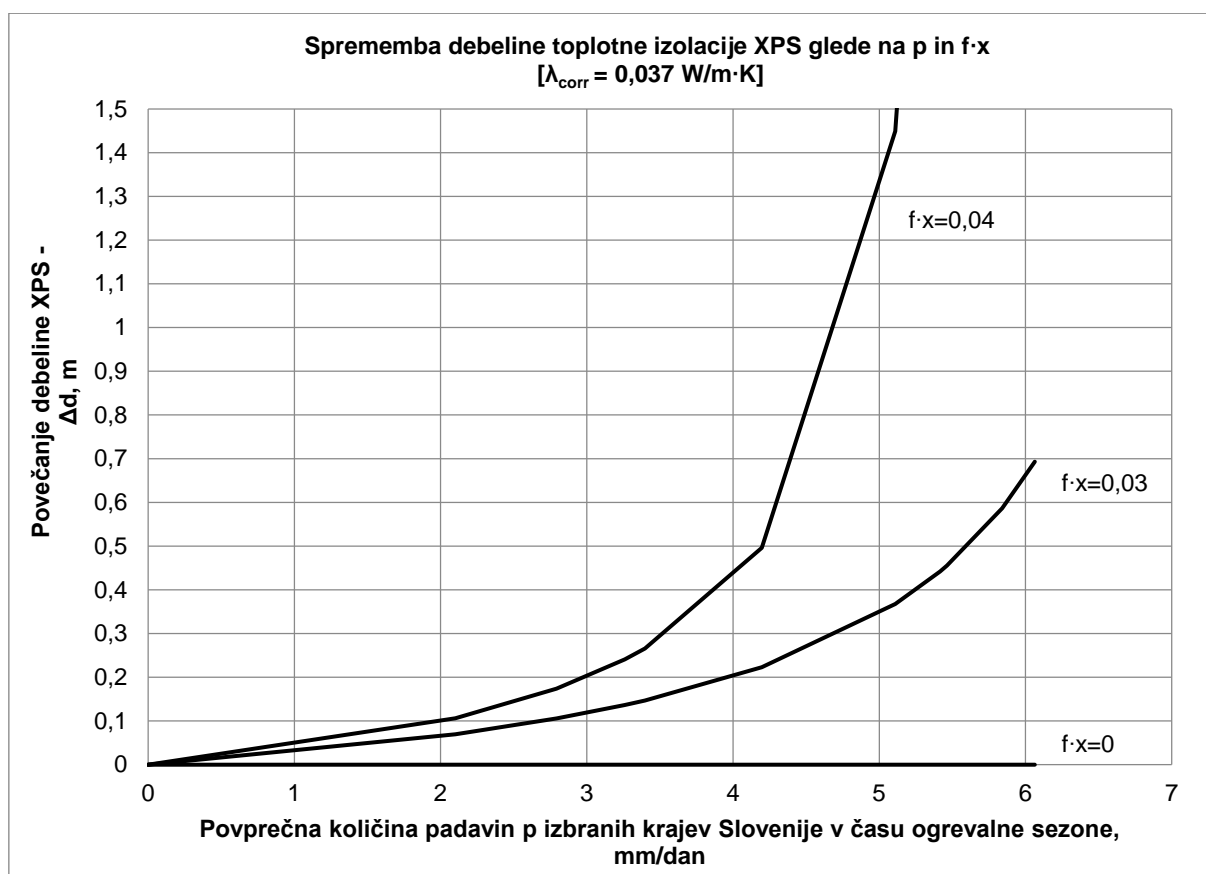
U max [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	0,20	d [m]	ΔU [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	U_c [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	U_c/U_{ks} [%]	d novi [m]
$f \cdot x$ [$(\text{W}\cdot\text{dan})/(\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm})$]	0						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,17234	0	0,2	0	100	0,17234
Maribor - Tabor	2,7923	0,17234	0	0,2	0	100	0,17234
Portorož - letališče	3,2598	0,17234	0	0,2	0	100	0,17234
Novo mesto	3,3977	0,17234	0	0,2	0	100	0,17234
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,17234	0	0,2	0	100	0,17234
Kočevje	5,1094	0,17234	0	0,2	0	100	0,17234
Bilje	5,4153	0,17234	0	0,2	0	100	0,17234
Postojna	5,4628	0,17234	0	0,2	0	100	0,17234
Rateče	5,8404	0,17234	0	0,2	0	100	0,17234
Lesce	6,0639	0,17234	0	0,2	0	100	0,17234

U_{ks} [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	0,20	d [m]	ΔU [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	U_c [$\text{W/m}^2\cdot\text{K}$]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	U_c/U_{ks} [%]	d novi [m]
$f \cdot x$ [$(\text{W}\cdot\text{dan})/(\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{mm})$]	0,03						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,17234	0,05469	0,14531	27,34678	72,65322	0,24197
Maribor - Tabor	2,7923	0,17234	0,07269	0,12731	36,34721	63,65279	0,27798
Portorož - letališče	3,2598	0,17234	0,08486	0,11514	42,43243	57,56757	0,30870
Novo mesto	3,3977	0,17234	0,08845	0,11155	44,22735	55,77265	0,31904
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,17234	0,10926	0,09074	54,63235	45,36765	0,39512
Kočevje	5,1094	0,17234	0,13302	0,06698	66,50903	33,49097	0,53973
Bilje	5,4153	0,17234	0,14098	0,05902	70,49106	29,50894	0,61427
Postojna	5,4628	0,17234	0,14222	0,05778	71,10876	28,89124	0,62767
Rateče	5,8404	0,17234	0,15205	0,04795	76,02428	23,97572	0,75895
Lesce	6,0639	0,17234	0,15787	0,04213	78,93335	21,06665	0,86550

Uks [W/m ² ·K]	0,20	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/Uks$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
f·x [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,04						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,17234	0,07292	0,12708	36,46237	63,53763	0,27850
Maribor - Tabor	2,7923	0,17234	0,09693	0,10307	48,46295	51,53705	0,34630
Portorož - letališče	3,2598	0,17234	0,11315	0,08685	56,57658	43,42342	0,41338
Novo mesto	3,3977	0,17234	0,11794	0,08206	58,96980	41,03020	0,43823
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,17234	0,14569	0,05431	72,84313	27,15687	0,66857
Kočevje	5,1094	0,17234	0,17736	0,02264	88,67870	11,32130	1,62143
Bilje	5,4153	0,17234	0,18798	0,01202	93,98808	6,01192	3,06456
Postojna	5,4628	0,17234	0,18962	0,01038	94,81168	5,18832	3,55304
Rateče	5,8404	0,17234	0,20273	-0,00273	101,36570	-1,36570	-13,55880
Lesce	6,0639	0,17234	0,21049	-0,01049	105,24447	-5,24447	-3,54019



Vrsta stikov/robov med XPS toplotnoizolacijskimi ploščami	f·x	0	0,03	0,04	0	0,03	0,04
Povprečna količina padavin v ogrevalni sezoni 2013/2014 / Kraj	p [mm/dan]	d novi [m]			Δd [m]		
	0	0,17234	0,17234	0,17234	0	0	0
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,17234	0,24197	0,27850	0	0,06963	0,10617
Maribor - Tabor	2,7923	0,17234	0,27798	0,34630	0	0,10564	0,17397
Portorož - letališče	3,2598	0,17234	0,30870	0,41338	0	0,13636	0,24104
Novo mesto	3,3977	0,17234	0,31904	0,43823	0	0,14670	0,26589
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,17234	0,39512	0,66857	0	0,22278	0,49623
Kočevo	5,1094	0,17234	0,53973	1,62143	0	0,36739	1,44909
Bilje	5,4153	0,17234	0,61427	3,06456	0	0,44193	2,89222
Postojna	5,4628	0,17234	0,62767	3,55304	0	0,45533	3,38070
Rateče	5,8404	0,17234	0,75895	-13,55880	0	0,58661	-13,73114
Lesce	6,0639	0,17234	0,86550	-3,54019	0	0,69317	-3,71253



Izračuni za $U=0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ **(z različnimi drenažnimi faktorji ($f\cdot x$) za različne kraje Slovenije (p))**

Umax [W/m ² ·K]	0,20	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
Uks [W/m ² ·K]	0,18						
f·x [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,19289	0	0,18	0	100	0,19289
Maribor - Tabor	2,7923	0,19289	0	0,18	0	100	0,19289
Portorož - letališče	3,2598	0,19289	0	0,18	0	100	0,19289
Novo mesto	3,3977	0,19289	0	0,18	0	100	0,19289
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,19289	0	0,18	0	100	0,19289
Kočevje	5,1094	0,19289	0	0,18	0	100	0,19289
Bilje	5,4153	0,19289	0	0,18	0	100	0,19289
Postojna	5,4628	0,19289	0	0,18	0	100	0,19289
Rateče	5,8404	0,19289	0	0,18	0	100	0,19289
Lesce	6,0639	0,19289	0	0,18	0	100	0,19289

Uks [W/m ² ·K]	0,18	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	dnovi [m]
f·x [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,03						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,19289	0,0555	0,1245	30,83312	69,16688	0,28453
Maribor - Tabor	2,7923	0,19289	0,073766	0,106234	40,98099	59,01901	0,33563
Portorož - letališče	3,2598	0,19289	0,086116	0,093884	47,842	52,158	0,38144
Novo mesto	3,3977	0,19289	0,089758	0,090242	49,86575	50,13425	0,39735
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,19289	0,110875	0,069125	61,59724	38,40276	0,52260
Kočevje	5,1094	0,19289	0,134978	0,045022	74,98804	25,01196	0,80917
Bilje	5,4153	0,19289	0,14306	0,03694	79,47773	20,52227	0,98896
Postojna	5,4628	0,19289	0,144314	0,035686	80,17417	19,82583	1,02415
Rateče	5,8404	0,19289	0,154289	0,025711	85,71635	14,28365	1,42644
Lesce	6,0639	0,19289	0,160193	0,019807	88,99629	11,00371	1,85540

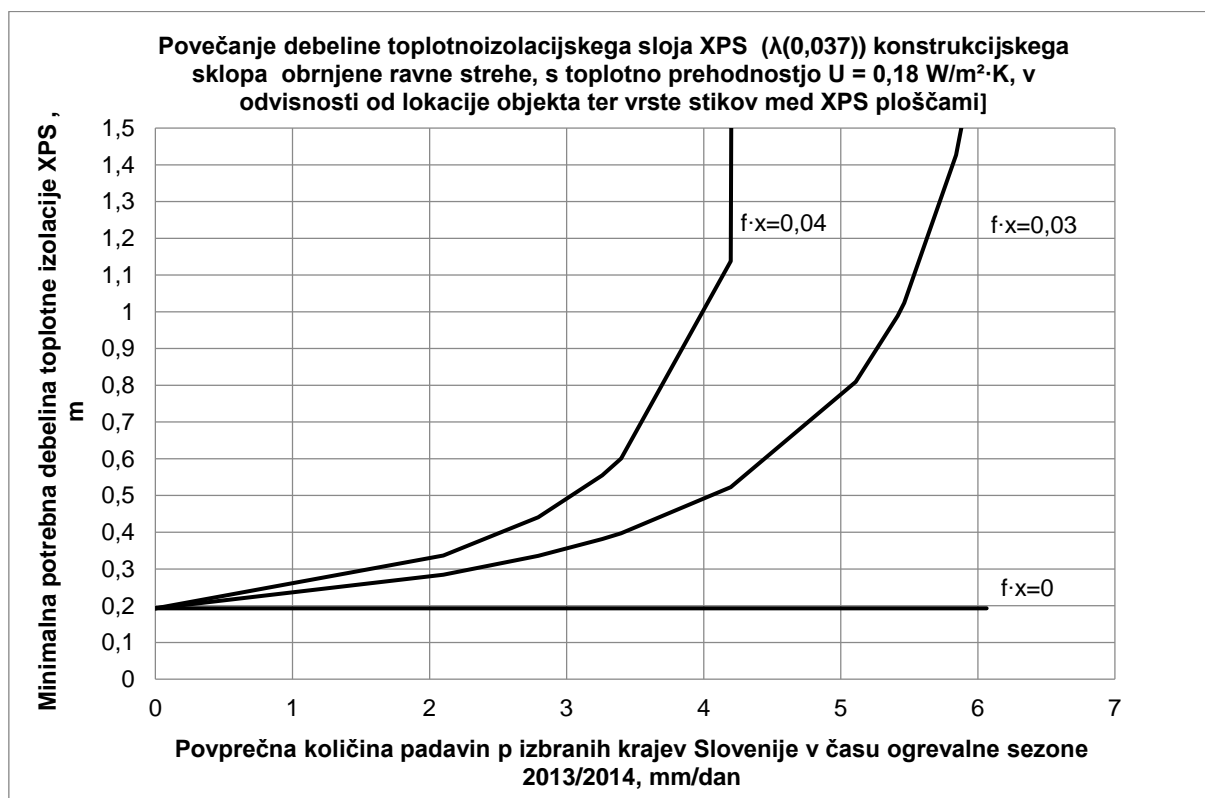
Uks [W/m ² ·K]	0,18	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
f·x [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,04						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,19289	0,073999	0,10600	41,11083	58,88917	0,33639
Maribor - Tabor	2,7923	0,19289	0,098354	0,08165	54,64132	45,35868	0,44052
Portorož - letališče	3,2598	0,19289	0,114821	0,06518	63,78933	36,21067	0,55500

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice

Novo mesto	3,3977	0,19289	0,119678	0,06032	66,48766	33,51234	0,60071
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,19289	0,147833	0,03217	82,12965	17,87035	1,13760
Kočevje	5,1094	0,19289	0,179971	0,00003	99,98405	0,015951	1288,67535
Bilje	5,4153	0,19289	0,190747	-0,01075	105,9703	-5,9703	-3,45563
Postojna	5,4628	0,19289	0,192418	-0,01242	106,8989	-6,8989	-2,99220
Rateče	5,8404	0,19289	0,205719	-0,02572	114,2885	-14,2885	-1,45127
Lesce	6,0639	0,19289	0,213591	-0,03359	118,6617	-18,6617	-1,11414

Kraj	$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
	Količina padavin p [mm/dan]	d novi [m]		
	0	0,19289	0,19289	0,19289
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,19289	0,28453	0,33639
Maribor - Tabor	2,7923	0,19289	0,33563	0,44052
Portorož - letališče	3,2598	0,19289	0,38144	0,55500
Novo mesto	3,3977	0,19289	0,39735	0,60071
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,19289	0,52260	1,13760
Kočevje	5,1094	0,19289	0,80917	1288,67535
Bilje	5,4153	0,19289	0,98896	-3,45563
Postojna	5,4628	0,19289	1,02415	-2,99220
Rateče	5,8404	0,19289	1,42644	-1,45127
Lesce	6,0639	0,19289	1,85540	-1,11414



Izračuni za $U=0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ **(z različnimi drenažnimi faktorji ($f\cdot x$) za različne kraje Slovenije (p))**

Umax [W/m ² ·K]	0,20	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
Uks [W/m ² ·K]	0,15						
$f\cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,2340	0	0,15	0	100	0,2340
Maribor - Tabor	2,7923	0,2340	0	0,15	0	100	0,2340
Portorož - letališče	3,2598	0,2340	0	0,15	0	100	0,2340
Novo mesto	3,3977	0,2340	0	0,15	0	100	0,2340
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,2340	0	0,15	0	100	0,2340
Kočevje	5,1094	0,2340	0	0,15	0	100	0,2340
Bilje	5,4153	0,2340	0	0,15	0	100	0,2340
Postojna	5,4628	0,2340	0	0,15	0	100	0,2340
Rateče	5,8404	0,2340	0	0,15	0	100	0,2340
Lesce	6,0639	0,2340	0	0,15	0	100	0,2340

Uks [W/m ² ·K]	0,15	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
$f\cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,03						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,23400	0,056721	0,093279	37,8142	62,1858	0,38400
Maribor - Tabor	2,7923	0,23400	0,07539	0,07461	50,25969	49,74031	0,48325
Portorož - letališče	3,2598	0,23400	0,088011	0,061989	58,67413	41,32587	0,58422
Novo mesto	3,3977	0,23400	0,091734	0,058266	61,15609	38,84391	0,62236
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,23400	0,113316	0,036684	75,54376	24,45624	0,99594
Kočevje	5,1094	0,23400	0,13795	0,01205	91,96644	8,033565	3,05779
Bilje	5,4153	0,23400	0,146209	0,003791	97,47266	2,527341	9,74727
Postojna	5,4628	0,23400	0,14749	0,00251	98,32679	1,67321	14,72946
Rateče	5,8404	0,23400	0,157686	-0,00769	105,1238	-5,1238	-4,82680
Lesce	6,0639	0,23400	0,16372	-0,01372	109,1464	-9,14637	-2,70954

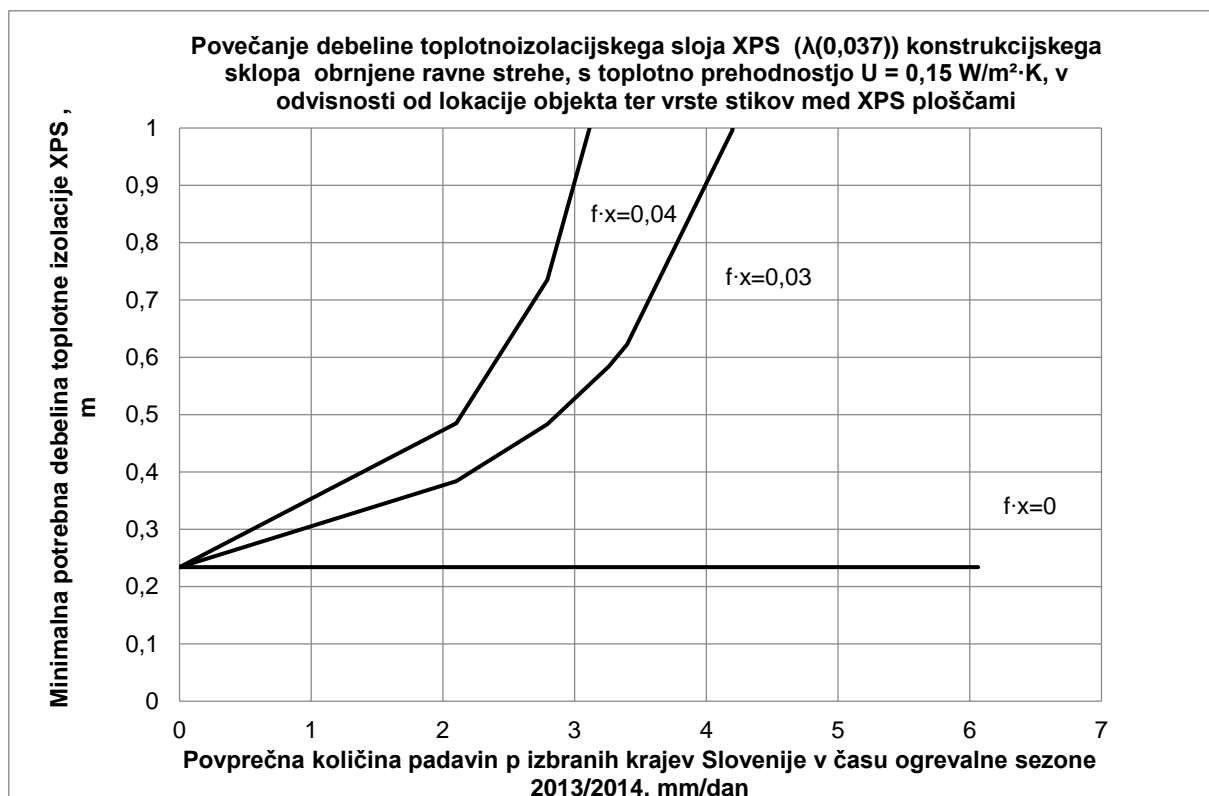
Uks [W/m ² ·K]	0,15	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
$f\cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,04						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,23400	0,075628	0,074372	50,41893	49,58107	0,48484
Maribor - Tabor	2,7923	0,23400	0,100519	0,049481	67,01292	32,98708	0,73511

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice

Portorož - letališče	3,2598	0,23400	0,117348	0,032652	78,23218	21,76782	1,12051
Novo mesto	3,3977	0,23400	0,122312	0,027688	81,54145	18,45855	1,32367
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,23400	0,151088	-0,00109	100,725	-0,72502	-34,03494
Kočevje	5,1094	0,23400	0,183933	-0,03393	122,6219	-22,6219	-1,10305
Bilje	5,4153	0,23400	0,194945	-0,04495	129,9635	-29,9635	-0,83588
Postojna	5,4628	0,23400	0,196654	-0,04665	131,1024	-31,1024	-0,80574
Rateče	5,8404	0,23400	0,210248	-0,06025	140,1651	-40,1651	-0,62679
Lesce	6,0639	0,23400	0,218293	-0,06829	145,5285	-45,5285	-0,55445

Kraj	$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
	Količina padavin p [mm/dan]	d novi [m]		
	0	0,2340	0,2340	0,2340
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,2340	0,3840	0,4848
Maribor - Tabor	2,7923	0,2340	0,4832	0,7351
Portorož - letališče	3,2598	0,2340	0,5842	1,1205
Novo mesto	3,3977	0,2340	0,6224	1,3237
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,2340	0,9959	-34,0349
Kočevje	5,1094	0,2340	3,0578	-1,1030
Bilje	5,4153	0,2340	9,7473	-0,8359
Postojna	5,4628	0,2340	14,7295	-0,8057
Rateče	5,8404	0,2340	-4,8268	-0,6268
Lesce	6,0639	0,2340	-2,7095	-0,5544



Izračuni za $U=0,12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ **(z različnimi drenažnimi faktorji ($f\cdot x$) za različne kraje Slovenije (p))**

Umax [W/m ² ·K]	0,20	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/U _{ks} [%]	d novi [m]
U _{ks} [W/m ² ·K]	0,12						
$f\cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,29567	0	0,12	0	100	0,29567
Maribor - Tabor	2,7923	0,29567	0	0,12	0	100	0,29567
Portorož - letališče	3,2598	0,29567	0	0,12	0	100	0,29567
Novo mesto	3,3977	0,29567	0	0,12	0	100	0,29567
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,29567	0	0,12	0	100	0,29567
Kočevje	5,1094	0,29567	0	0,12	0	100	0,29567
Bilje	5,4153	0,29567	0	0,12	0	100	0,29567
Postojna	5,4628	0,29567	0	0,12	0	100	0,29567
Rateče	5,8404	0,29567	0	0,12	0	100	0,29567
Lesce	6,0639	0,29567	0	0,12	0	100	0,29567

U _{ks} [W/m ² ·K]	0,12	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/U _{ks} [%]	d novi [m]
$f\cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,03						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,29567	0,05796	0,06204	48,296	51,704	0,58369
Maribor - Tabor	2,7923	0,29567	0,07703	0,04297	64,192	35,808	0,84841
Portorož - letališče	3,2598	0,29567	0,08993	0,03007	74,939	25,061	1,21765
Novo mesto	3,3977	0,29567	0,09373	0,02627	78,109	21,891	1,39581
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,29567	0,11578	0,00422	96,485	3,515	8,75809
Kočevje	5,1094	0,29567	0,14095	-0,02095	117,460	-17,460	-1,77865
Bilje	5,4153	0,29567	0,14939	-0,02939	124,492	-24,492	-1,27157
Postojna	5,4628	0,29567	0,15070	-0,03070	125,583	-25,583	-1,21789
Rateče	5,8404	0,29567	0,16112	-0,04112	134,264	-34,264	-0,91253
Lesce	6,0639	0,29567	0,16728	-0,04728	139,402	-39,402	-0,79520

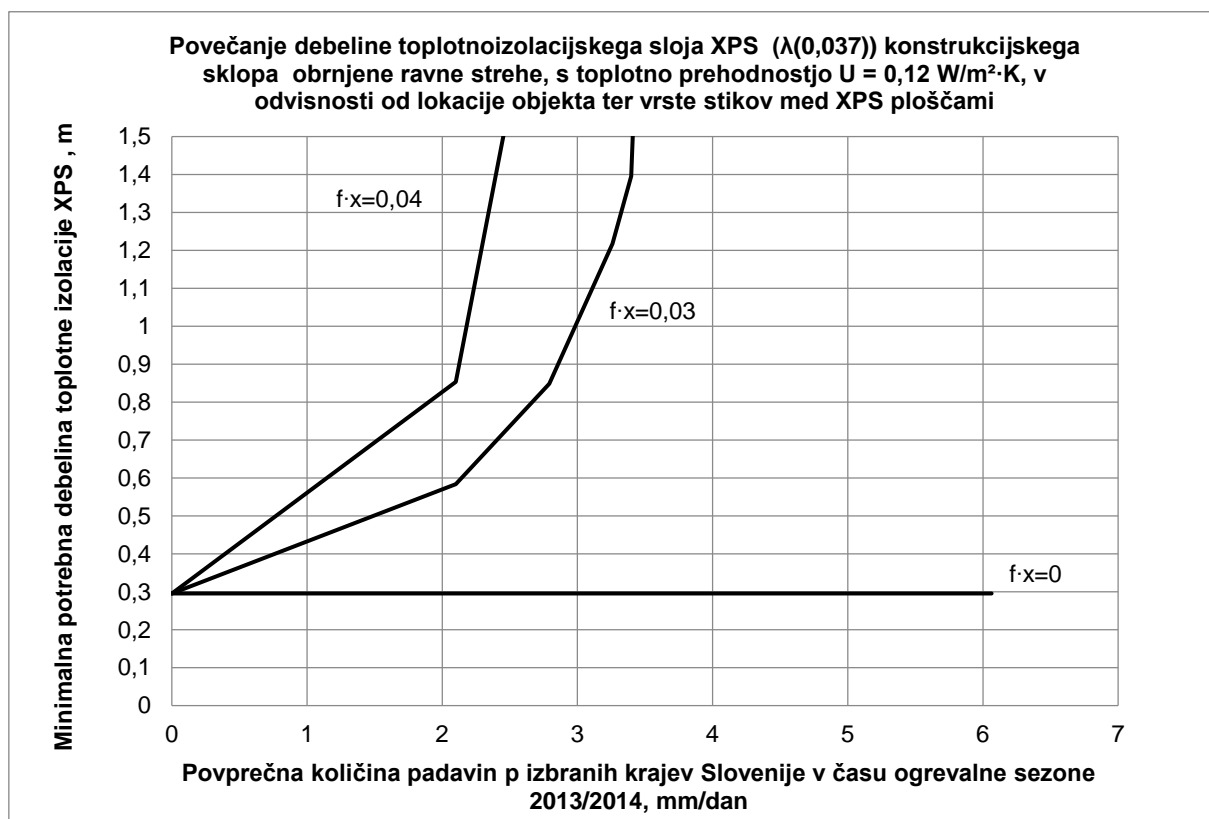
U _{ks} [W/m ² ·K]	0,12	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/U _{ks} [%]	d novi [m]
$f\cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,04						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,29567	0,077274	0,04273	64,39508	35,60492	0,85332
Maribor - Tabor	2,7923	0,29567	0,102707	0,01729	85,58894	14,41106	2,12690

... se nadaljuje

... nadaljevanje preglednice

Portorož - letališče	3,2598	0,29567	0,119902	0,00010	99,91818	0,081824	376,81466
Novo mesto	3,3977	0,29567	0,124974	-0,00497	104,1448	-4,14478	-7,45174
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,29567	0,154375	-0,03438	128,646	-28,646	-1,08902
Kočevje	5,1094	0,29567	0,187935	-0,06794	156,6128	-56,6128	-0,55730
Bilje	5,4153	0,29567	0,199187	-0,07919	165,9895	-65,9895	-0,47991
Postojna	5,4628	0,29567	0,200933	-0,08093	167,444	-67,444	-0,46983
Rateče	5,8404	0,29567	0,214823	-0,09482	179,0189	-79,0189	-0,40286
Lesce	6,0639	0,29567	0,223043	-0,10304	185,8691	-85,8691	-0,37174

Kraj	$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
	Količina padavin p [mm/dan]	d novi [m]		
	0	0,2957	0,2957	0,2957
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,2957	0,5837	0,8533
Maribor - Tabor	2,7923	0,2957	0,8484	2,1269
Portorož - letališče	3,2598	0,2957	1,2177	376,8147
Novo mesto	3,3977	0,2957	1,3958	-7,4517
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,2957	8,7581	-1,0890
Kočevje	5,1094	0,2957	-1,7786	-0,5573
Bilje	5,4153	0,2957	-1,2716	-0,4799
Postojna	5,4628	0,2957	-1,2179	-0,4698
Rateče	5,8404	0,2957	-0,9125	-0,4029
Lesce	6,0639	0,2957	-0,7952	-0,3717



Izračuni za $U=0,10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ **(z različnimi drenažnimi faktorji ($f\cdot x$) za različne kraje Slovenije (p))**

Umax [W/m ² ·K]	0,20	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
Uks [W/m ² ·K]	0,10						
$f\cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	Kraj	Količina padavin p [mm/dan]				
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,35734	0	0,1	0	100	0,357339
Maribor - Tabor	2,7923	0,35734	0	0,1	0	100	0,357339
Portorož - letališče	3,2598	0,35734	0	0,1	0	100	0,357339
Novo mesto	3,3977	0,35734	0	0,1	0	100	0,357339
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,35734	0	0,1	0	100	0,357339
Kočevje	5,1094	0,35734	0	0,1	0	100	0,357339
Bilje	5,4153	0,35734	0	0,1	0	100	0,357339
Postojna	5,4628	0,35734	0	0,1	0	100	0,357339
Rateče	5,8404	0,35734	0	0,1	0	100	0,357339
Lesce	6,0639	0,35734	0	0,1	0	100	0,357339

Uks [W/m ² ·K]	0,10	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
$f\cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,03						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,35734	0,058786	0,041214	58,78595	41,21405	0,885091
Maribor - Tabor	2,7923	0,35734	0,078134	0,021866	78,13372	21,86628	1,679441
Portorož - letališče	3,2598	0,35734	0,091215	0,008785	91,21480	8,785195	4,19897
Novo mesto	3,3977	0,35734	0,095073	0,004927	95,07325	4,92675	7,49736
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,35734	0,11744	-0,01744	117,44033	-17,4403	-2,13418
Kočevje	5,1094	0,35734	0,142971	-0,04297	142,97101	-42,971	-0,87371
Bilje	5,4153	0,35734	0,151531	-0,05153	151,53099	-51,531	-0,73068
Postojna	5,4628	0,35734	0,152859	-0,05286	152,85882	-52,8588	-0,71264
Rateče	5,8404	0,35734	0,163425	-0,06343	163,42545	-63,4255	-0,59602
Lesce	6,0639	0,35734	0,169679	-0,06968	169,67894	-69,6789	-0,54367

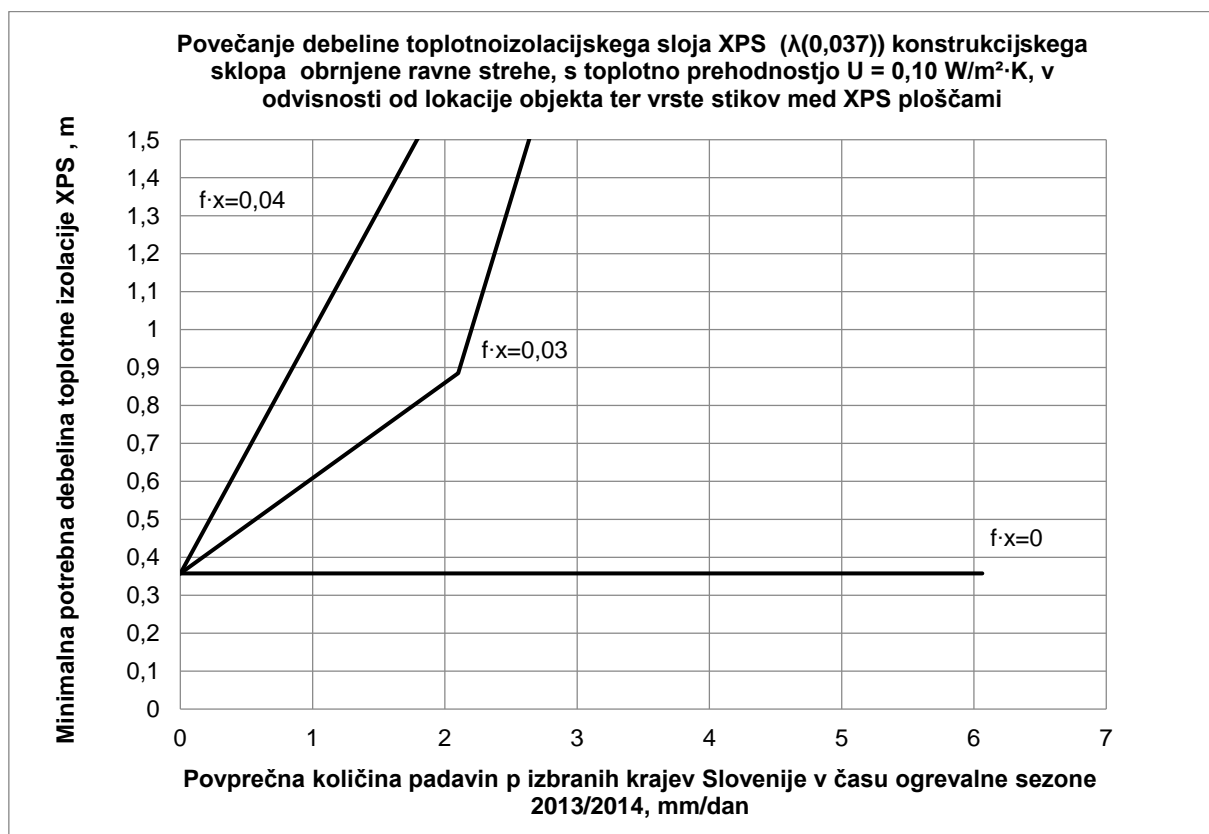
Uks [W/m ² ·K]	0,10	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
$f\cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,04						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,35734	0,07838	0,02162	78,38126	21,61874	1,69882
Maribor - Tabor	2,7923	0,35734	0,10418	-0,00418	104,17829	-4,17829	-8,86797

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice

Portorož - letališče	3,2598	0,35734	0,12162	-0,02162	121,61974	-21,6197	-1,72406
Novo mesto	3,3977	0,35734	0,12676	-0,02676	126,76433	-26,7643	-1,39510
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,35734	0,15659	-0,05659	156,58710	-56,5871	-0,66652
Kočevje	5,1094	0,35734	0,19063	-0,09063	190,62802	-90,628	-0,42092
Bilje	5,4153	0,35734	0,20204	-0,10204	202,04132	-102,041	-0,37526
Postojna	5,4628	0,35734	0,20381	-0,10381	203,81176	-103,812	-0,36908
Rateče	5,8404	0,35734	0,21790	-0,11790	217,90060	-117,901	-0,32649
Lesce	6,0639	0,35734	0,22624	-0,12624	226,23858	-126,239	-0,30576

Kraj	$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
	Količina padavin p [mm/dan]	d novi [m]		
	0	0,3573	0,3573	0,3573
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,3573	0,8851	1,6988
Maribor - Tabor	2,7923	0,3573	1,6794	-8,8680
Portorož - letališče	3,2598	0,3573	4,1990	-1,7241
Novo mesto	3,3977	0,3573	7,4974	-1,3951
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,3573	-2,1342	-0,6665
Kočevje	5,1094	0,3573	-0,8737	-0,4209
Bilje	5,4153	0,3573	-0,7307	-0,3753
Postojna	5,4628	0,3573	-0,7126	-0,3691
Rateče	5,8404	0,3573	-0,5960	-0,3265
Lesce	6,0639	0,3573	-0,5437	-0,3058



Izračuni za $U=0,08 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ **(z različnimi drenažnimi faktorji ($f\cdot x$) za različne kraje Slovenije (p))**

Umax [W/m ² ·K]	0,20	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
Uks [W/m ² ·K]	0,08						
$f\cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	Količina padavin p [mm/dan]					
Kraj							
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,44984	0	0,08	0	100	0,44984
Maribor - Tabor	2,7923	0,44984	0	0,08	0	100	0,44984
Portorož - letališče	3,2598	0,44984	0	0,08	0	100	0,44984
Novo mesto	3,3977	0,44984	0	0,08	0	100	0,44984
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,44984	0	0,08	0	100	0,44984
Kočevje	5,1094	0,44984	0	0,08	0	100	0,44984
Bilje	5,4153	0,44984	0	0,08	0	100	0,44984
Postojna	5,4628	0,44984	0	0,08	0	100	0,44984
Rateče	5,8404	0,44984	0	0,08	0	100	0,44984
Lesce	6,0639	0,44984	0	0,08	0	100	0,44984

Uks [W/m ² ·K]	0,08	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
$f\cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,03						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,44984	0,059622	0,020378	74,52768	25,47232	1,80303
Maribor - Tabor	2,7923	0,44984	0,079245	0,000755	99,0564	0,943599	49,00179
Portorož - letališče	3,2598	0,44984	0,092512	-0,01251	115,6404	-15,6404	-2,96976
Novo mesto	3,3977	0,44984	0,096426	-0,01643	120,532	-20,532	-2,26524
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,44984	0,119111	-0,03911	148,8886	-48,8886	-0,95869
Kočevje	5,1094	0,44984	0,145005	-0,065	181,2559	-81,2559	-0,58185
Bilje	5,4153	0,44984	0,153686	-0,07369	192,108	-92,108	-0,51479
Postojna	5,4628	0,44984	0,155033	-0,07503	193,7914	-93,7914	-0,50578
Rateče	5,8404	0,44984	0,16575	-0,08575	207,1876	-107,188	-0,44415
Lesce	6,0639	0,44984	0,172093	-0,09209	215,1156	-115,116	-0,41443

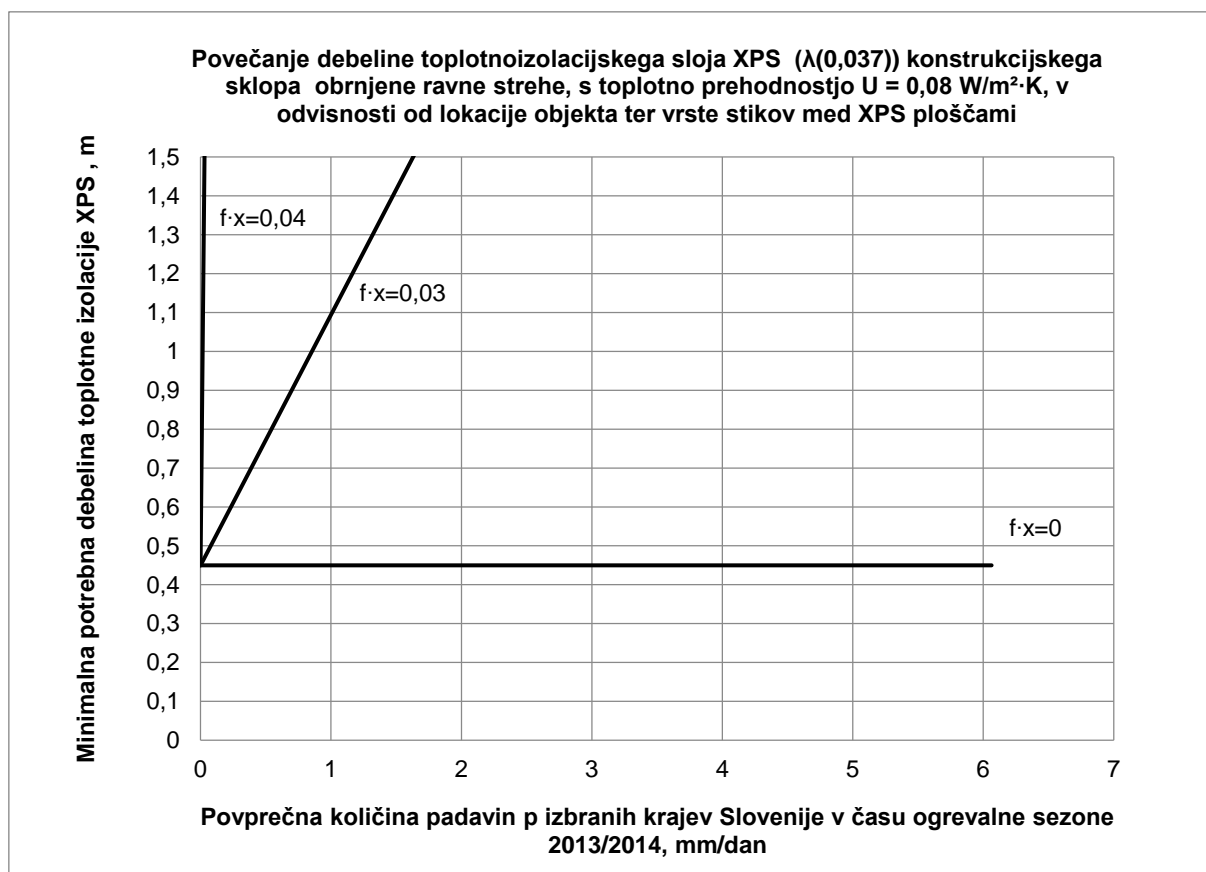
Uks [W/m ² ·K]	0,08	d [m]	ΔU [W/m ² ·K]	Uc [W/m ² ·K]	$\Delta U/U_{ks}$ [%]	Uc/Uks [%]	d novi [m]
$f\cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0,04						
Kraj	Količina padavin p [mm/dan]						
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,44984	0,079496	0,000504	99,37024	0,629764	73,42749
Maribor - Tabor	2,7923	0,44984	0,10566	-0,02566	132,0752	-32,0752	-1,45459
Portorož - letališče	3,2598	0,44984	0,12335	-0,04335	154,1871	-54,1871	-0,86619
Novo mesto	3,3977	0,44984	0,128567	-0,04857	160,7093	-60,7093	-0,77449

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice

Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,44984	0,158814	-0,07881	198,5181	-98,5181	-0,48212
Kočevje	5,1094	0,44984	0,19334	-0,11334	241,6745	-141,674	-0,33911
Bilje	5,4153	0,44984	0,204915	-0,12492	256,144	-156,144	-0,30886
Postojna	5,4628	0,44984	0,206711	-0,12671	258,3886	-158,389	-0,30466
Rateče	5,8404	0,44984	0,221	-0,141	276,2501	-176,25	-0,27507
Lesce	6,0639	0,44984	0,229457	-0,14946	286,8209	-186,821	-0,26022

Kraj	$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
	Količina padavin p [mm/dan]	d novi [m]		
	0	0,4498	0,4498	0,4498
Murska Sobota - Rakičan	2,1009	0,4498	1,8030	73,4275
Maribor - Tabor	2,7923	0,4498	49,0018	-1,4546
Portorož - letališče	3,2598	0,4498	-2,9698	-0,8662
Novo mesto	3,3977	0,4498	-2,2652	-0,7745
Ljubljana - Bežigrad	4,1970	0,4498	-0,9587	-0,4821
Kočevje	5,1094	0,4498	-0,5819	-0,3391
Bilje	5,4153	0,4498	-0,5148	-0,3089
Postojna	5,4628	0,4498	-0,5058	-0,3047
Rateče	5,8404	0,4498	-0,4441	-0,2751
Lesce	6,0639	0,4498	-0,4144	-0,2602



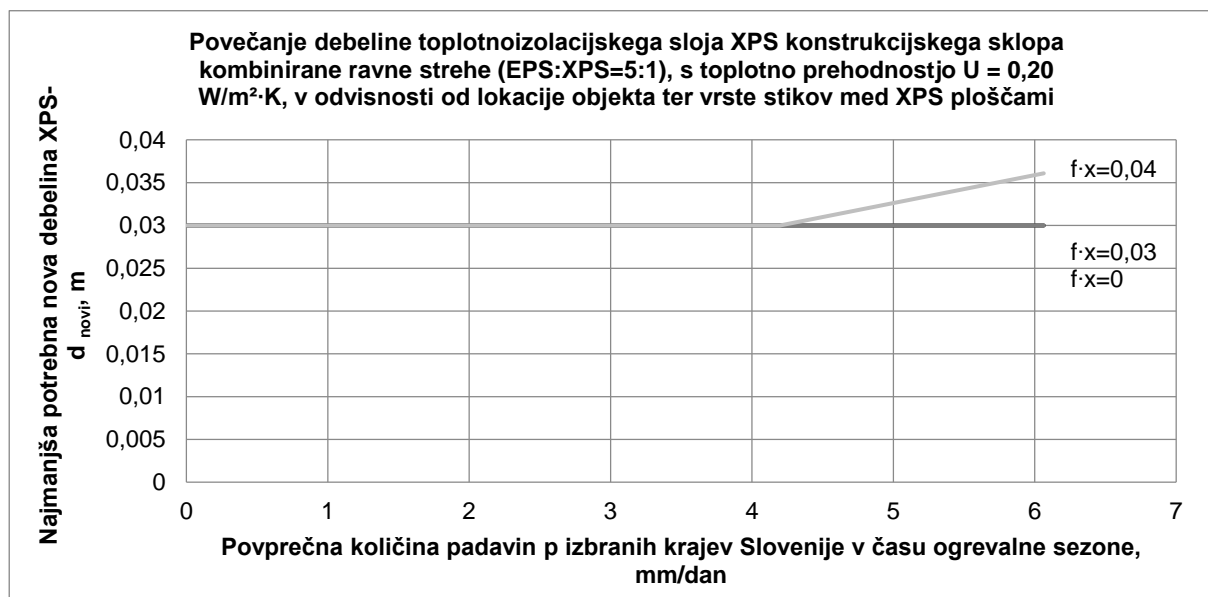
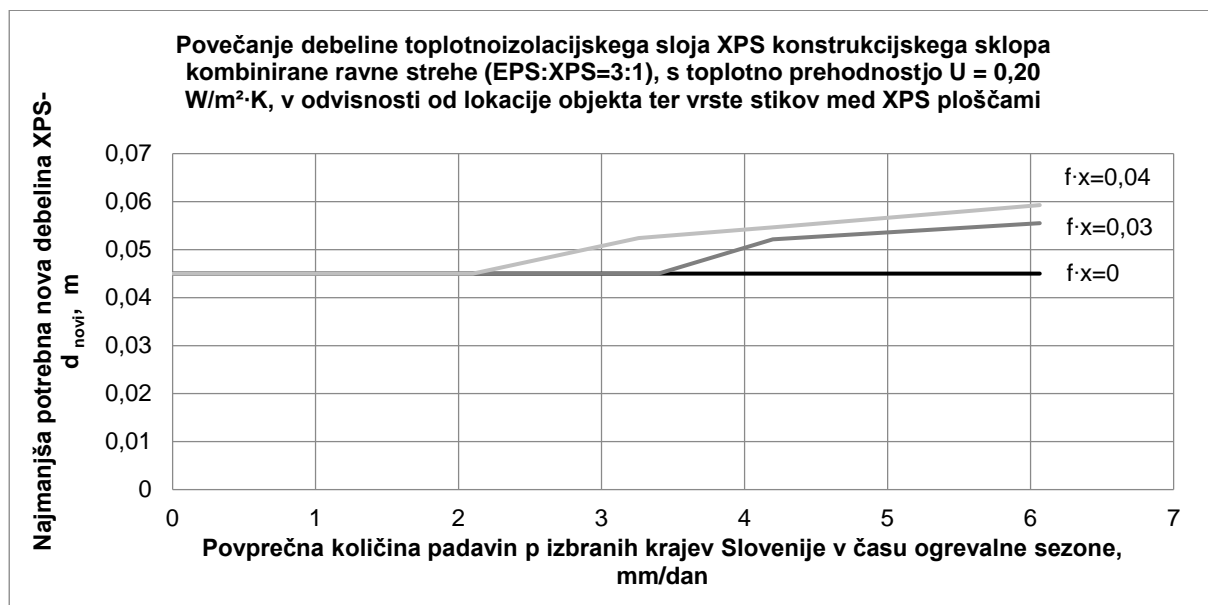
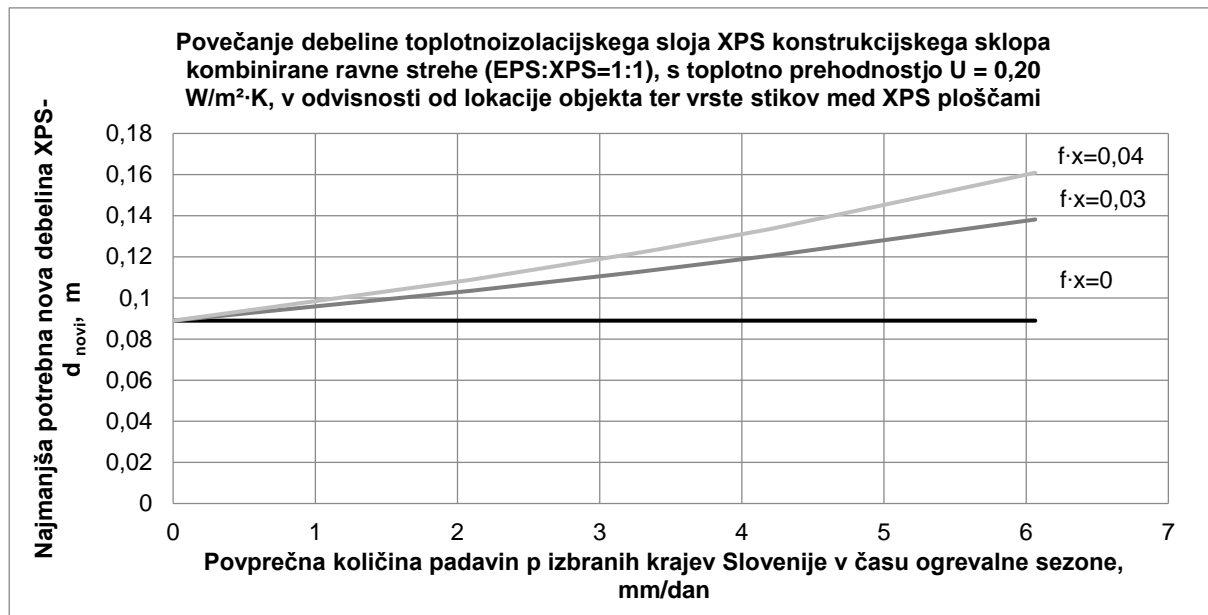
PRILOGA I: KOMBINIRANA RAVNA STREHA - POPRAVEK K TOPLOTNI PREHODNOSTI (ΔU) IN TOPLOTNI PREVODNOSTI (λ_{corr})

Povečane debeline toplotnoizolacijskega sloja XPS konstrukcijskega sklopa kombinirane ravne strehe različnih razmerij EPS:XPS zaradi upoštevanja popravka k U in popravka k λ , z zahtevo po toplotni prehodnosti $U = 0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, v odvisnosti od lokacije objekta ter vrste stikov med XPS ploščami

Kombinirana ravna streha EPS:XPS=1:1			
$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
p [mm/dan]	d novi (XPS) [m]		
0	0,0890	0,0890	0,0890
2,1009	0,0890	0,1035	0,1089
3,2598	0,0890	0,1126	0,1218
3,3977	0,0890	0,1137	0,1235
4,1970	0,0890	0,1205	0,1335
6,0639	0,0890	0,1382	0,1609

Kombinirana ravna streha EPS:XPS=3:1			
$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
p [mm/dan]	d novi (XPS) [m]		
0	0,0450	0,0450	0,0450
2,1009	0,0450	0,0450	0,0450
3,2598	0,0450	0,0450	0,0524
3,3977	0,0450	0,0450	0,0527
4,1970	0,0450	0,0522	0,0547
6,0639	0,0450	0,0555	0,0593

Kombinirana ravna streha EPS:XPS=5:1			
$f \cdot x$ [(W·dan)/(m ² ·K·mm)]	0	0,03	0,04
p [mm/dan]	d novi (XPS) [m]		
0	0,0300	0,0300	0,0300
2,1009	0,0300	0,0300	0,0300
3,2598	0,0300	0,0300	0,0300
3,3977	0,0300	0,0300	0,0300
4,1970	0,0300	0,0300	0,0300
6,0639	0,0300	0,0300	0,0361



PRILOGA J: OBRNJENA IN KOMBINIRANA RAVNA STREHA – SPREMEMBE DEBELIN TOPLOTNOIZOLACIJSKEGA SLOJA ZARADI POPRAVKA K TOPLOTNI PREHODNOSTI (ΔU) IN TOPLOTNI PREVODNOSTI (λ_{corr}) TOPLOTNOIZOLACIJSKEGA MATERIALA

Preglednica 1: Minimalne zahteve po debelini toplotne izolacije glede na zahtevano toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa U ter upoštevanje dodatnih toplotnih izgub po ISO 6946 za primer (1) obrnjene/inverzne in (2) kombinirane ravne strehe (Murska Sobota-Rakičan)

Preglednica 2: Minimalne zahteve po debelini toplotne izolacije glede na zahtevano toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa U ter upoštevanje dodatnih toplotnih izgub po ISO 6946 za primer (1) obrnjene/inverzne in (2) kombinirane ravne strehe (Ljubljana-Bežigrad)

Preglednica 3: Minimalne zahteve po debelini toplotne izolacije glede na zahtevano toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa U ter upoštevanje dodatnih toplotnih izgub po ISO 6946 za primer (1) obrnjene/inverzne in (2) kombinirane ravne strehe (Lesce)

Preglednica 4: Sprememba prvotne debeline toplotne izolacije (XPS, ravni stiki) konstrukcijskega sklopa obrnjene in kombinirane ravne strehe zaradi upoštevanja popravka k U ter popravka k λ_{corr} , ob različnih zahtevah po toplotni prehodnosti konstrukcijskega sklopa U za tri kraje Slovenije.

OP.: Izračuni so narejeni za toplotno izolacijo XPS z ravnimi robovi ($f \cdot x = 0,04$).

*Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah UL RS 52/2010 (U_{max})

** Povečana debelina toplotne izolacije (EPS in XPS)= minimalna prvotno zahtevana debelina + dodatna debelina (po izračunih zahtev iz ISO 6946, Priloga D.4: popravek k U in popravek k λ)

***RD= Razmerje debelin med prvotno zahtevano debelino toplotne izolacije KS in toplotno izolacijo, ki zajema zahteve po popravkih iz ISO 6946, D.4, $((\Delta d/d_{novi}) \cdot 100)$, v %

Murska Sobota - Rakičan		p=2,1009 mm/dan		Debelina toplotne izolacije														
VRSTA KONSTRUKCIJSKEGA SKLOPA RAVNE STREHE		(1) OBRNJENA STREHA		(2) KOMBINIRANA RAVNA STREHA														
VRSTA ZAHTEVANE TOPLOTNE IZOLACIJE V SISTEMU/ U [W/m ² ·K]		XPS [cm]		EPS:XPS [cm]														
				1:1			2:1			3:1			4:1			5:1		
I	Zahteve PURES*	16,8		8,5	8,5	11,4	5,7	12,9	4,3	14	3,5	14,5	2,9					
	λ_{CORR}^{**}	27,9		8,9	10,9	12	6,9	13,5	4,5	14,4	3,6	15	3					
	RD***	66,1	%	4,7	28,2	5,3	21,1	4,7	4,7	2,9	2,9	3,4	3,4					
II	Izboljšana toplotna izolacija	18,8	$\leq 0,18$	9,5	9,5	12,8	6,4	14,4	4,8	15,6	3,9	16	3,2					
	λ_{CORR}	33,6		9,9	12,4	13,4	7,8	15	5	16,4	4,1	17	3,4					
	RD	78,7	%	4,2	30,5	4,7	21,9	4,2	4,2	5,1	5,1	6,3	6,2					
III	Izboljšana toplotna izolacija	22,8	$\leq 0,15$	11,5	11,5	15,4	7,7	17,4	5,8	18,8	4,7	19,5	3,9					
	λ_{CORR}	48,5		12	15,8	16,2	9,7	18,3	7	19,6	4,9	20,5	4,1					
	RD	112,7	%	4,3	37,4	5,2	26,0	5,2	20,7	4,3	4,3	5,1	5,1					
IV	Izboljšana toplotna izolacija	28,8	$\leq 0,12$	14,6	14,6	19,6	9,8	22,2	7,4	23,6	5,9	24,5	4,9					
	λ_{CORR}	85,3		15,2	21,5	20,4	12,8	23,1	9,1	24,8	6,2	26	5,2					
	RD	196,2	%	4,1	47,3	4,1	30,6	4,1	23,0	5,1	5,1	6,1	6,1					
V	Izboljšana toplotna izolacija	34,8	$\leq 0,10$	17,6	17,6	23,6	11,8	26,7	8,9	28,4	7,1	30	6					
	λ_{CORR}	169,9		18,3	27,9	24,8	16,3	27,9	11,4	30	8,8	31,5	6,3					
	RD	388,2	%	4,0	58,5	5,1	38,1	4,5	28,1	5,6	23,9	5,0	5,0					
VI	Izboljšana toplotna izolacija	43,8	$\leq 0,08$	22,2	22,2	29,8	14,9	33,6	11,2	36	9	37,5	7,5					
	λ_{CORR}	7342,8		23,1	39,5	31	21,7	35,1	15	37,6	11,5	39,5	9,4					
	RD	16664,4	%	4,1	77,9	4,0	45,6	4,5	33,9	4,4	27,8	5,3	25,3					

Ljubljana - Bežigrad		p=4,1970 mm/dan		Debelina toplotne izolacije														
VRSTA KONSTRUKCIJSKEGA SKLOPA RAVNE STREHE		(1) OBRNJENA STREHA		(2) KOMBINIRANA RAVNA STREHA														
VRSTA ZAHTEVANE TOPLOTNE IZOLACIJE V SISTEMU/ U [W/m ² ·K]		XPS [cm]		EPS:XPS [cm]														
				1:1			2:1			3:1			4:1			5:1		
I	Zahteve PURES*	16,8		8,5	8,5	11,4	5,7	12,9	4,3	14	3,5	14,5	2,9	14,5	2,9			
	λ_{corr}^{**}	66,9		8,9	13,4	12	7,8	13,5	5,5	14,4	4,2	15	3	15	3			
	RD***	298,2		4,7	57,6	5,3	36,8	4,7	27,9	2,9	20,0	3,4	3,4	3,4	3,4			
II	Izboljšana toplotna izolacija	18,8		9,5	9,5	12,8	6,4	14,4	4,8	15,6	3,9	16	3,2	16	3,2			
	λ_{corr}	113,8		9,9	15,6	13,4	9	15	6,2	16,4	4,9	17	3,4	17	3,4			
	RD	505,3		4,2	64,2	4,7	40,6	4,2	29,2	5,1	25,6	6,3	6,2	6,2	6,2			
III	Izboljšana toplotna izolacija	22,8		11,5	11,5	15,4	7,7	17,4	5,8	18,8	4,7	19,5	3,9	19,5	3,9			
	λ_{corr}	-3403,5		12	20,9	16,2	11,5	18,3	7,9	19,6	6	20,5	4,9	20,5	4,9			
	RD	-15027,6		4,3	81,7	5,2	49,4	5,2	36,2	4,3	27,7	5,1	25,6	5,1	25,6			
IV	Izboljšana toplotna izolacija	28,8		14,6	14,6	19,6	9,8	22,2	7,4	23,6	5,9	24,5	4,9	24,5	4,9			
	λ_{corr}	-108,9		15,2	31,1	20,4	15,8	23,1	10,7	24,8	8,1	26	6,5	26	6,5			
	RD	-478,1		4,1	113,0	4,1	61,2	4,1	44,6	5,1	37,3	6,1	32,7	6,1	32,7			
V	Izboljšana toplotna izolacija	34,8		17,6	17,6	23,6	11,8	26,7	8,9	28,4	7,1	30	6	30	6			
	λ_{corr}	-66,7		18,3	44,1	24,8	21	27,9	13,7	30	10,2	31,5	8,2	31,5	8,2			
	RD	-291,7		4,0	150,6	5,1	78,0	4,5	53,9	5,6	43,7	5,0	36,7	5,0	36,7			
VI	Izboljšana toplotna izolacija	43,8		22,2	22,2	29,8	14,9	33,6	11,2	36	9	37,5	7,5	37,5	7,5			
	λ_{corr}	-48,2		23,1	73,8	31	29,8	35,1	18,9	37,6	13,8	39,5	10,9	39,5	10,9			
	RD	-210,0		4,1	232,4	4,0	100,0	4,5	68,8	4,4	53,3	5,3	45,3	5,3	45,3			

Lesce		p=6,0639 mm/dan	Debelina toplotne izolacije														
VRSTA KONSTRUKCIJSKEGA SKLOPA RAVNE STREHE		(1) OBRNJENA STREHA	(2) KOMBINIRANA RAVNA STREHA														
VRSTA ZAHTEVANE TOPLOTNE IZOLACIJE V SISTEMU/ U [W/m ² ·K]		XPS [cm]	EPS:XPS [cm]														
			1:1			2:1			3:1			4:1			5:1		
I	Zahteve PURES*	16,8	8,5	8,5	11,4	5,7	12,9	4,3	14	3,5	14,5	2,9	14,4	4,5	15	3,6	
	λ_{corr}^{**}	-354	8,9	16,1	12	8,7	13,5	5,9	14,4	4,5	15	3,6	14,4	4,5	15	3,6	
	RD***	-2207,1	4,7	89,4	5,3	52,6	4,7	37,2	2,9	28,6	3,4	24,1	2,9	28,6	3,4	24,1	
II	Izboljšana toplotna izolacija	18,8	9,5	9,5	12,8	6,4	14,4	4,8	15,6	3,9	16	3,2	15,6	3,9	16	3,2	
	λ_{corr}	-111,4	9,9	19,2	13,4	10,1	15	6,8	16,4	5,3	17	4,2	16,4	5,3	17	4,2	
	RD	-692,6	4,2	102,1	4,7	57,8	4,2	41,7	5,1	35,9	6,3	31,3	5,1	35,9	6,3	31,3	
III	Izboljšana toplotna izolacija	22,8	11,5	11,5	15,4	7,7	17,4	5,8	18,8	4,7	19,5	3,9	18,8	4,7	19,5	3,9	
	λ_{corr}	-55,5	12	27,3	16,2	13,3	18,3	8,8	19,6	6,6	20,5	5,2	19,6	6,6	20,5	5,2	
	RD	-343,4	4,3	137,4	5,2	72,7	5,2	51,7	4,3	40,4	5,1	33,3	4,3	40,4	5,1	33,3	
IV	Izboljšana toplotna izolacija	28,8	14,6	14,6	19,6	9,8	22,2	7,4	23,6	5,9	24,5	4,9	23,6	5,9	24,5	4,9	
	λ_{corr}	-37,2	15,2	44,8	20,4	19	23,1	12,2	24,8	8,9	26	7,1	24,8	8,9	26	7,1	
	RD	-229,2	4,1	206,8	4,1	93,9	4,1	64,9	5,1	50,8	6,1	44,9	5,1	50,8	6,1	44,9	
V	Izboljšana toplotna izolacija	34,8	17,6	17,6	23,6	11,8	26,7	8,9	28,4	7,1	30	6	28,4	7,1	30	6	
	λ_{corr}	-30,6	18,3	72,3	24,8	26,2	27,9	16	30	11,6	31,5	9,1	30	11,6	31,5	9,1	
	RD	-187,9	4,0	310,8	5,1	122,0	4,5	79,8	5,6	63,4	5,0	51,7	5,6	63,4	5,0	51,7	
VI	Izboljšana toplotna izolacija	43,8	22,2	22,2	29,8	14,9	33,6	11,2	36	9	37,5	7,5	36	9	37,5	7,5	
	λ_{corr}	-26	23,1	165,6	31	39,4	35,1	22,8	37,6	16	39,5	12,4	37,6	16	39,5	12,4	
	RD	-159,4	4,1	643,2	4,0	164,4	4,5	103,6	4,4	77,8	5,3	65,3	4,4	77,8	5,3	65,3	

f-x=0,04		d prvotni [λ=0,036 W/m·K]	d novi		
U KS	(R _i /R _T) ²		p (mm/dan)		
			Murska Sobota- Rakičan	Ljubljana-Bežigrad	Lesce
			2,1009	4,1970	6,0639
OBR. RS					
0,20	0,867794	0,1723	0,2785	0,6686	-3,5402
0,18	0,880583	0,1929	0,3364	1,1376	-1,1141
0,15	0,899967	0,2340	0,4848	-34,0349	-0,5544
0,12	0,919551	0,2957	0,8533	-1,0890	-0,3717
0,10	0,932726	0,3573	1,6988	-0,6665	-0,3058
0,08	0,945993	0,4498	73,4275	-0,4821	-0,2602
KOMB* 1:1					
0,20	0,226671	0,089	0,1089	0,1335	0,1609
0,18	0,230014	0,099	0,1240	0,1557	0,1923
0,15	0,235371	0,12	0,1577	0,2088	0,2727
0,12	0,240875	0,152	0,2152	0,3105	0,4484
0,10	0,244472	0,183	0,2787	0,4408	0,7226
0,08	0,24822	0,231	0,3951	0,7377	1,6557
KOMB 2:1					
0,20	0,102568	0,06	0,0685	0,0779	0,0870
0,18	0,10413	0,067	0,0777	0,0896	0,1013
0,15	0,106511	0,081	0,0969	0,1148	0,1330
0,12	0,108937	0,102	0,1276	0,1577	0,1895
0,10	0,110646	0,124	0,1625	0,2098	0,2622
0,08	0,112266	0,155	0,2169	0,2976	0,3938
KOMB 3:1					
0,20	0,058171	0,045	0,0450	0,0547	0,0593
0,18	0,059023	0,05	0,0500	0,0620	0,0678
0,15	0,060444	0,061	0,0697	0,0791	0,0881
0,12	0,061834	0,077	0,0911	0,1065	0,1214
0,10	0,062772	0,093	0,1137	0,1369	0,1599
0,08	0,06372	0,117	0,1503	0,1887	0,2283
KOMB 4:1					
0,20	0,037415	0,036	0,0360	0,0421	0,0449
0,18	0,038085	0,041	0,0410	0,0489	0,0526
0,15	0,038897	0,049	0,0490	0,0604	0,0658
0,12	0,039799	0,062	0,0620	0,0805	0,0894
0,10	0,040405	0,075	0,0882	0,1024	0,1159
0,08	0,041003	0,094	0,1150	0,1379	0,1602
KOMB 5:1					
0,20	0,026069	0,03	0,0300	0,0300	0,0361
0,18	0,02652	0,034	0,0340	0,0340	0,0419
0,15	0,027115	0,041	0,0410	0,0489	0,0525
0,12	0,027748	0,052	0,0520	0,0648	0,0708
0,10	0,028172	0,063	0,0630	0,0819	0,0910
0,08	0,028587	0,079	0,0936	0,1091	0,1238