

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:

Svetina, K., 2015. Izdelava računalniškega programa za izračun difuzije vodne pare po standardu SIST EN ISO 13788. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M.): 72 str.

Datum arhiviranja: 30-11-2015

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:

Svetina, K., 2015. Izdelava računalniškega programa za izračun difuzije vodne pare po standardu SIST EN ISO 13788. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M.): 72 pp.

Archiving Date: 30-11-2015

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
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

KRISTJAN SVETINA

**IZDELAVA RAČUNALNIŠKEGA PROGRAMA ZA
IZRAČUN DIFUZIJE VODNE PARE PO STANDARDU
SIST EN ISO 13788**

Diplomska naloga št.: 3452/KS

**PROGRAMME DEVELOPMENT FOR THE
CALCULATION OF WATER VAPOUR DIFFUSION
ACCORDING TO SIST EN ISO 13788 STANDARD**

Graduation thesis No.: 3452/KS

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Ljubljana, 24. 11. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Kristjan Svetina izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom: »Izdelava računalniškega programa za izračun difuzije vodne pare po standardu SIST EN ISO 13788«.

Izjavljam, da je elektronska različica povsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 28. 10. 2015

Kristjan Svetina

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.42:699.8(043.2)
Avtor:	Kristjan Svetina
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Naslov:	Izdelava računalniškega programa za izračun difuzije vodne pare po standardu SIST EN ISO 13788
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	72 str., 44 sl., 42 pregl., 49 en., 2 pril.
Ključne besede:	kondenzacija, difuzija, plesni, vlažnost, gradbeni objekti, izračuni, načrtovanje

IZVLEČEK

S problemom nastajanja plesni in prekomerne vlage se soočamo tako v bivalnih kot tudi delovnih in drugih prostorih. Naš namen je bil preučiti zakonodajo z vidika kondenzacije, posebej pa smo se osredotočili na standarda SIST EN ISO 13788:2002 in SIST EN ISO 13788:2013. Standard SIST EN ISO 13788:2002 opisuje metode za izračun notranjih temperatur na površini konstrukcijskih sklopov ali sestavnega dela konstrukcijskega sklopa, pod katero nastaja plesen, in ocene tveganja kondenzacije zaradi difuzije vodne pare. Preučili pa smo tudi prenovljeni standard, SIST EN ISO 13788:2013, ki ima dodan še primer določitve notranje temperature zraka in relativne zračne vlažnosti, vsebuje pa tudi primere izračunov konstrukcijskih sklopov, ki vsebujejo vmesne zračne plasti, in primer izračuna izsuševanja vlage, ki je bila vnesena med izvedbo konstrukcijskega sklopa.

Na osnovi omenjene dokumentacije smo izdelali program in ga poimenovali PIDVP. Program omogoča izračun difuzije vodne pare in ocene tveganja nastanka plesni ter nastajanja kondenzacije na površini in znotraj konstrukcijskega sklopa. Prav tako smo vključili tudi izračune za določitev notranje temperature in vlažnosti zraka. Pomagalo ne vsebuje možnosti izračuna za primer konstrukcije, ki vsebuje zračne plasti in izračuna za določitev časa izsuševanja vlage, ki je bila vgrajena med izgradnjo konstrukcije.

Vsi primeri izračunov iz standarda SIST EN ISO 13788:2002 so bili ponovno izračunani s pomočjo tega programa. Dva dodatna primera (za streho in za steno) sta bila izračunana s pomočjo izdelanega programa ter programa KI Energija 2014. Primerjava izračunov je prikazana v preglednicah, kjer je posebej izpostavljeno ujemanje rezultatov. Ugotovljeno je bilo, da pri primerjavi rezultatov prihaja do zanemarljivih odstopanj. Le v dodatnem primeru za steno prihaja pri izračunu stopnje kondenzacije v mesecu aprilu do večjih odstopanj med rezultati novo izdelanega programa (program predvideva, da v eni od ravnin še vedno prihaja do kondenzacije) in rezultati programa KI Energija 2014 (program predvideva, da v isti ravnini poteka izsuševanje kondenzirane vodne pare). Na podlagi analize primerjav izračunov lahko sklepamo, da novo izdelani program deluje pravilno. Po analizi, ki je opisana, predvidevamo, da je do odstopanja v mesecu aprilu prišlo le zaradi drugačnega načina izračuna stopnje kondenzacije.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	004.42:699.8(043.2)
Author:	Kristjan Svetina
Supervisor:	prof. Mitja Košir, Ph. D.
Title:	Programme development for the calculation of water vapour diffusion according to SIST EN ISO 13788 standard
Document type:	Graduation thesis – University studies
Notes:	72 p., 44 fig., 42 tab., 49 eq., 2 ann.
Keywords:	condensation, diffusion, mould, humidity, construction objects, calculations, planning

ABSTRACT

Mould growth and excess moisture pose problems in residential as well as working and other spaces. Our purpose was to study legislation regarding condensation, in particular the SIST EN ISO 13788:2002 and SIST EN ISO 13788:2013 standards. SIST EN ISO 13788:2002 standard describes calculation methods for the internal surface temperatures of a building component or building elements below which mould growth is likely as well as risk assessment of condensation due to water vapour diffusion. We have also studied the revised SIST EN ISO 13788:2013 standard which includes an example of determining internal air temperature and relative air humidity as well as examples for calculating building components which contain intermediary air layers and an example of calculating the drying of moisture which was generated during the execution of the building component.

On the basis of the aforementioned documentation, we have devised a programme and named it PIDVP. The programme enables the calculation of water vapour diffusion as well as an assessment for the risk of mould growth and condensation formation on the surface and inside the building component. We have also included calculations for determining internal temperature and air humidity. The tool does not include the possibility to make calculations for a construction which contains air layers and calculations to determine the drying time of moisture which was generated during the construction.

All examples of calculations from the SIST EN ISO 13788:2002 standard have been recalculated with the help of this programme. Two additional examples (for the roof and wall) were calculated with the help of the devised programme and KI Energija 2014 programme. The comparison of calculations is shown in the tables which particularly display the compliance of the results. It has been determined that there were only negligible deviations when comparing the results. There were bigger deviations only in the additional example for the wall when calculating the level of condensation in April if we compare the results of the newly devised programme (which foresees the condensation formation in one of the planes) and the results from KI Energija 2014 programme (which foresees the drying of the condensed water vapour in the same plane). On the basis of the calculation comparisons analysis, it can be concluded that the newly developed programme works correctly. According to the described analysis we can conclude that the deviations in the month of April were only due to a different method of condensation level calculation.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Za strokovno pomoč in nasvete se zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitji Koširju. Hvala tudi dr. Živi Kristl.

Hvala staršem za vso podporo in pomoč v času študija.

Posebna zahvala gre tudi ženi Sandri za pomoč in spodbudo pri pisanju diplomske naloge.

Hvala vsem sošolcem in prijateljem, brez katerih bi bil študij veliko težji.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 TEORETIČNE OSNOVE.....	3
2.1 Vlaga v gradbenih materialih.....	3
2.1 Vlažnost zraka	3
2.3 Difuzija vodne pare	8
2.4 Kondenzacija na površini in v konstrukcijskem sklopu	10
3 ZAKONODAJNA IZHODIŠČA	12
3.1 Zakonodaja.....	12
3.1.1 Zakon o graditvi objektov.....	12
3.1.2 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah – PURES 2010.....	12
3.1.3 Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije	13
3.2 Opis standarda SIST EN ISO 13788:2002	14
3.2.1 Vhodni podatki za izračun.....	15
3.2.1.1 Lastnosti materiala	15
3.2.1.2 Klimatski pogoji	15
3.2.1.2.1 Lokacija.....	15
3.2.1.2.2 Časovno obdobje	15
3.2.1.2.3 Temperature	15
3.2.1.2.4 Vlažnost	15
3.2.2 Izračun temperature na površini za preprečitev kritične vlažnosti	17
3.2.2.1 Določanje parametrov	17
3.2.2.2 Načrtovanje za preprečitev nastanka plesni.....	17
3.2.3 Kondenzacija zaradi difuzije vodne pare.....	23
3.2.3.1 Predpostavke.....	23
3.2.3.2 Omejitve in napake	24
3.2.3.3 Izračun	24
3.2.3.3.1 Lastnosti materialov	24
3.2.3.3.2 Mejni pogoji.....	25
3.2.3.3.3 Začetni mesec.....	25
3.2.3.3.4 Porazdelitev parnega tlaka.....	25
3.2.3.3.5 Stopnja kondenzacije	26
3.2.3.3.6 Izparevanje	27
3.2.3.3.7 Merila za ocenjevanje konstrukcijskega sklopa	28
3.2.3.3.8 Primeri izračuna difuzije vodne pare	29

3.3 Opis določitve notranje klime po standardu SIST EN ISO 13788:2013	33
4 OPIS PROGRAMSKEGA ORODJA PIDVP	34
4.1 Vnašanje podatkov	34
4.2 Izračuni	39
4.2.1 Toplotna prehodnost.....	40
4.2.2 Kritični mesec	40
4.2.3 Izračun temperature med vsako plastjo	41
4.2.4 Izračun parnega tlaka (p) in nasičenega pranskega tlaka (p_{sat}).....	42
4.2.5 Določanje začetnega meseca.....	42
4.2.6 Izračun stopnje kondenzacije.....	43
4.2.7 Količina kondenzata	43
4.2.8 Preverjanje, ali je količina kondenzata v mejah dopustnega	43
4.3 Prikaz rezultatov	43
5 PRIMERJAVA IZRAČUNOV MED PROGRAMOMA PIDVP IN KI ENERGIJA 2014.....	45
5.1 Opis programa KI Energija 2014	45
5.2 Primerjava rezultatov	47
6 ZAKLJUČEK	70
VIRI.....	71

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razvrstitev prostorov v razrede vlažnosti zraka [16].....	16
Preglednica 2: Prikaz zunanjega nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) in absolutne vlažnosti (v_{sat}) v odvisnosti od temperature zraka (T) [16].....	19
Preglednica 3: Rezultati izračuna 1. primera z uporabo razredov notranje vlažnosti zraka [16]	20
Preglednica 4: Rezultati izračuna 2. primera ob predpostavljeni konstantni notranji relativni vlažnosti [16]	21
Preglednica 5: Rezultati izračuna 3. primera z znano dobavo vlage in s konstantno stopnjo prezračevanja [16]	22
Preglednica 6: Rezultati izračuna 4. primera z znano dobavo vlage in s spremenljivo stopnjo prezračevanja [16]	23
Preglednica 7: Prikaz notranjih in zunanjih klimatskih pogojev [16].....	29
Preglednica 8: Prikaz lastnosti materialov za streho [16]	30
Preglednica 9: Prikaz rezultatov za količino kondenzacije oziroma količino izsušene vlage (q_1) in skupno količino kondenzirane vodne pare ob koncu meseca (M_{a1}) [16].....	30
Preglednica 10: Prikaz rezultatov za količino kondenzacije oziroma količino izsušene vlage (q_1) in skupno količino kondenzirane vodne pare ob koncu meseca (M_{a1}) v primeru konstrukcijskega sklopa brez parne zapore [16].....	31
Preglednica 11: Prikaz lastnosti materialov za steno [16].....	32
Preglednica 12: Prikaz rezultatov za količino kondenzacije oziroma količino izsušene vlage (q_1 in q_2) in skupno količino kondenzirane vodne pare ob koncu meseca (M_{a1} in M_{a2}) za dve vmesni ravnini [16]	32
Preglednica 13: Prikaz maksimalne dovoljene toplotne prehodnosti za konstrukcijske sklope stavb, ki omejujejo ogrevane prostore [15]	36
Preglednica 14: Prikaz toplotnih uporov mejnih zračnih plasti v odvisnosti od smeri toplotnega toka [18].....	36
Preglednica 15: Prikaz standardov, v katerih so obravnavane posamezne lastnosti materialov [16].....	37

Preglednica 16: Vhodni podatki za 1. primerjavo.....	48
Preglednica 17: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002	48
Preglednica 18: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002	49
Preglednica 19: Vhodni podatki za 2. primerjavo.....	50
Preglednica 20: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002	50
Preglednica 21: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002	51
Preglednica 22: Vhodni podatki za 3. primerjavo.....	52
Preglednica 23: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002	52
Preglednica 24: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002	53
Preglednica 25: Vhodni podatki za 4. primerjavo.....	53
Preglednica 26: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002	54
Preglednica 27: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002	54
Preglednica 28: Vhodni podatki za 5. primerjavo.....	55
Preglednica 29: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002	55
Preglednica 30: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom ISO 13788:2012.....	57
Preglednica 31: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002	58
Preglednica 32: Vhodni podatki za 7. primerjavo.....	59
Preglednica 33: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002	59

Preglednica 34: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002	60
Preglednica 35: Prikaz sestave stene ter debeline slojev (d), toplotne prevodnosti (λ) in difuzijske upornost vodni pari (μ)	63
Preglednica 36: Vhodni podatki za 8. primerjavo	63
Preglednica 37: Primerjava rezultatov med programoma PIDVP in KI Energija 2014.....	64
Preglednica 38: Primerjava rezultatov med programoma PIDVP in KI Energija 2014.....	64
Preglednica 39: Prikaz sestave stene ter debeline slojev (d), toplotne prevodnosti (λ) in difuzijske upornost vodni pari (μ)	66
Preglednica 40: Primerjava rezultatov med programoma PIDVP in KI Energija 2014.....	67
Preglednica 41: Primerjava rezultatov med programoma PIDVP in KI Energija 2014.....	67
Preglednica 42: Primerjava rezultatov med programoma PIDVP in KI Energija 2014 za mesec april	69

KAZALO SLIK

Slika 1: Vpliv temperature in vlažnosti zraka na bivalno ugodje [2].....	1
Slika 2: Tlak nasičenja vodne pare v odvisnosti od temperature [10].....	4
Slika 3: Mollierov diagram [10]	6
Slika 4: Prehod vodne pare [8]	8
Slika 5: Difuzijska upornost materiala vodni pari (μ) [12].....	9
Slika 6: Grafična ponazoritev zaporedne vezave uporov plasti v konstrukcijskem sklopu [12].....	10
Slika 7: Skupni difuzijski upor (Σr) konstrukcijskega sklopa [12].....	10
Slika 8: Osnovni primeri prehoda vodne pare [12].....	11
Slika 9: Prikaz Δp in Δv v odvisnosti od zunanje temperature zraka (T_z) in razreda vlažnosti prostora [16]	17
Slika 10: Potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) in potek temperature (T) v odvisnosti od toplotnega upora plasti (R) [16].....	25
Slika 11: Prikaz poteka dejanskega parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) – mesec brez kondenzacije [16]	26
Slika 12: Prikaz poteka dejanskega parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) – mesec s kondenzacijo v eni vmesni ravnini [16].....	26
Slika 13: Prikaz poteka dejanskega parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) – mesec s kondenzacijo v dveh vmesnih ravninah [16]	27
Slika 14: Prikaz poteka dejanskega parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) – mesec, ko poteka izparevanje [16]	27
Slika 15: Prikaz poteka dejanskega parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) – mesec, ko v eni vmesni ravnini prihaja do kondenzacije v drugi vmesni ravnini pa do izparevanja [16].....	28
Slika 16: Prerez ravne strehe [16].....	29
Slika 17: Prerez stene [16]	31
Slika 18: Povprečna notranja temperatura (T_n) in relativna vlažnost notranjega zraka (φ_n) v odvisnosti od povprečne zunanje temperature (T_z) in zasedenosti prostora [18].....	33

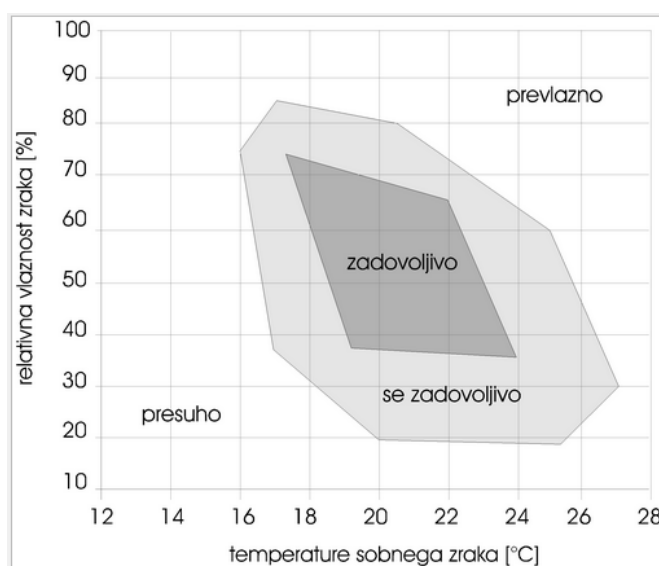
Slika 19: Vnos podatkov v programu PIDVP za izračun difuzije vodne pare	35
Slika 20: Prikaz rezultatov v programu PIDVP	39
Slika 21: Prikaz vmesnih rezultatov in rezultata izračuna toplotne prehodnosti s programom PIDVP	40
Slika 22: Prikaz rezultatov izračuna parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) ter določitev kritičnega meseca s programom PIDVP	41
Slika 23: Prikaz poteka temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d), izrisan v programu PIDVP	41
Slika 24: Prikaz poteka temperature (T) v odvisnosti od toplotnega upora plasti (R), izrisan v programu PIDVP	42
Slika 25: Prikaz izrisa poteka parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) iz programa PIDVP	42
Slika 26: Prikaz pomembnejših rezultatov iz programa PIDVP	44
Slika 27: Prikaz pomembnejših rezultatov in izris grafov s programom PIDVP	44
Slika 28: Primer prikaza zunanje temperature in vlažnosti zraka za izbrano lokacijo iz programa KI Energija 2014 [20]	45
Slika 29: Prikaz vnosa vhodnih podatkov v programu KI Energija 2014 [20]	46
Slika 30: Prikaz vnosa vhodnih podatkov v programu KI Energija 2014 [20]	46
Slika 31: Prikaz rezultatov v programu KI Energija 2014 [20]	47
Slika 32: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec oktober (ISO 13788:2012)	56
Slika 33: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec oktober, izrisan s pomočjo programa PIDVP	57
Slika 34: Potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) za mesec oktober, izrisan v programu PIDVP	58
Slika 35: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec januar, izrisan s pomočjo programa PIDVP	61
Slika 36: Potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) za mesec januar, izrisan v programu PIDVP	61
Slika 37: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec maj, izrisan s pomočjo programa PIDVP	62

Slika 38: Potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) za mesec maj, izrisan v programu PIDVP	62
Slika 39: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec januar, izrisan s pomočjo programa PIDVP	64
Slika 40: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec januar, izrisan s pomočjo programa KI Energija 2014 [20].....	65
Slika 41: Potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) za mesec januar, izrisan v programu PIDVP	65
Slika 42: Potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) za mesec januar, izrisan v programu KI Energija 2014 [20]	66
Slika 43: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec april, izrisan v programu PIDVP	68
Slika 44: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec april, izrisan v programu KI Energija 2014.....	68

1 UVOD

Ljudje velik del svojega življenja preživimo v različnih zaprtih prostorih. Glede na okoliščine bi bilo smiselno, da bi več pozornosti namenili prav temu, da zagotovimo kar najbolj optimalne pogoje za življenje v takšnem okolju. Človek naj bi se v stavbi, kjer se nahaja, počutil dobro, tamkajšnje okolje pa naj bi bilo zanj zdravo in varno.

Na naše počutje vpliva marsikaj: temperatura, osvetlitev, gibanje zraka, prezračevanje, hrup, stik z naravo ... Eden od ključnih dejavnikov pa je tudi vlažnost. Vlažnost bivalnih in delovnih prostorov v veliki meri vpliva na dobro počutje in zdravo bivalno okolje. Relativna zračna vlažnost notranjega okolja ne sme biti manjša od 30 % in večja od 70 % pri temperaturi med 20 in 26 °C. Pri klimatiziranih prostorih mora biti zračna vlaga nižja od 60 % (Slika 1). [1] Za dobro počutje mora biti pri višjih temperaturah zraka relativna zračna vlažnost nižja.



Slika 1: Vpliv temperature in vlažnosti zraka na bivalno ugodje [2]

Poleg aktivne uporabe prostorov, kamor sodi dihanje, umivanje, znojenje, kuhanje, sušenje, izhlapevanje iz sobnih rastlin, izhlapevanje vode iz akvarijev, čiščenje ... med vzroke za nastanek vlage v prostorih uvrščamo tudi gradbeno-fizikalne nepravilnosti, in sicer poškodbe konstrukcijskih sklopov (poškodbe inštalacij in streh oz. zamakanje strehe, poškodovana fasada, poškodovana hidroizolacija ...), pa tudi toplotne mostove. [3]

Poznamo tudi vgrajeno vlago pri npr. novogradnji ali rekonstrukciji, ki se ni izsušila do ustrezne meje. Tudi ta nam lahko povzroča nevšečnosti. [4]

Prenizka zračna vlažnost (manj kot 40 %) povzroča alergije, prehlade, občutek oteženega dihanja, nastajanje prahu in pršic, ki lahko dražijo dihalne organe. Previsoka zračna vlažnost (nad 60 %) pa lahko povzroča poškodbo opreme, rosenje ter rast gliv in plesni, ki so zdravju zelo škodljive. Pri ljudeh se kot posledica izpostavljenosti plesni pojavljajo različne vrste alergij, ki se kažejo kot kihanje, kašljanje, srbenje oči, zamašen nos, pomanjkanje sape in tiščanje v pljučih ter infekcije. Najbolj nevarna je črna plesen, ki lahko povzroči zastropitev organizma, saj sprošča toksine. Izpostavljenost tej plesni se kaže kot glavobol, vnetje grla, težave s sinusi, vrtoglavica, slabost. Ob dolgotrajni izpostavljenosti smo lahko tudi življenjsko ogroženi. [5], [6]

Preden se lotimo odstranjevanja plesni v prostoru, je zelo pomembno, da poiščemo vzrok nastajanja in ga skušamo odpraviti. Veliko manj težav, kot z odpravljanjem negativnih vplivov vlage, imamo s preventivnim ukrepanjem, kar pomeni, skrb za pravilno načrtovano in zgrajeno zgradbo, ki jo redno vzdržujemo in pravilno uporabljamo.

Eden od preventivnih ukrepov, kot smo že napisali, je pravilno načrtovanje in izgradnja objekta. V diplomski nalogi je predstavljen računalniški program, ki omogoča potrebne izračune za analizo prehoda vodne pare skozi konstrukcijske sklope in pojavljanje kondenzacije v njih. Tako je s pomočjo takšnega orodja možno načrtovati konstrukcijske sklope, v katerih ne bo prihajalo do pojava kondenzacije ter posledičnih negativnih vplivov. Program je izdelan na osnovi standarda SIST EN ISO 13788:2002, vključuje pa tudi postopek za izračun za določitev temperature in vlažnosti zraka v prostoru, ki je dodan v novi izdaji standarda SIST EN ISO 13788:2013. Standarda opisujeta oceno tveganja za nastanek plesni in kondenzacije na površini konstrukcijskega sklopa in kondenzacije v konstrukcijskem sklopu zaradi difuzije vodne pare.

V prenovljenem standardu (SIST EN ISO 13788:2013) ni večjih sprememb. Vsi postopki izračunov so enaki kot v prejšnji različici standarda. Razlika je le v tem, da prenovljeni standard vsebuje še primere izračuna difuzije vodne pare za konstrukcijske sklope, ki vsebujejo zračne plasti, in primer izračuna časa izsuševanja vgrajene vlage v konstrukcijskem sklopu. Zaradi omejitve pri obsegu diplomske naloge slednjega v program nismo vključili.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Vlaga v gradbenih materialih

Prekomerna ali nedovoljena vlažnost gradbenega materiala oziroma gradbene konstrukcije, s katero se lahko srečamo v življenjski dobi zgradbe, lahko pripelje do najrazličnejših težav in poškodb. Do prekomernega navlaževanja lahko pride zaradi kapilarnega dviga vlage, meteorne vode in poplav, poškodb na inštalacijah, zamakanja strehe, difuzije vodne pare ... Težave s prekomerno vlago pa se včasih pojavijo tudi po sanaciji objekta. Do tega lahko pride ob uporabi neustreznih gradbenih materialov, če jih dodamo na neustreznih mestih ali vgradimo v neustreznih debelinah, ali pa zaradi povečanja zrakotesnosti. [7]

Mejo med suhim in vlažnim oziroma mokrim materialom je težko določiti. Kot moker oziroma vlažen material smatramo tisti material, pri katerem zaradi vsebnosti vlage pride do poškodb tega materiala in/ali do poškodb njegovih oblog. [7]

Posledice delovanja vlage se kažejo v fizičnem propadanju materiala zaradi pomikov, zmrzovanja, kristalizacije soli, kemijskega delovanja agresivnega okolja, biološkega propadanja zaradi rastlin, mahov, lišajev, alg, bakterij, insektov, členonožcev. [7]

Tudi če vlaga sama po sebi ne vpliva negativno, ima njeno nihanje lahko negativne učinke. Ti se kažejo kot npr. spreminjanje toplotnih lastnosti materialov, spremembe dimenzij ... [7]

Negativni učinki prevelike vsebnosti vlage pa se ne kažejo samo na gradbenih konstrukcijah in njihovih elementih, ampak imajo tudi negativen vpliv na zdravje ljudi. Ob prisotnosti dovolj velike količine vlage in ustreznih temperatur se na konstrukcijah oziroma znotraj konstrukcij lahko razvije plesen, ta pa je zdravju škodljiva.

2.1 Vlažnost zraka

Zrak je mešanica različnih plinov, ki lahko vsebuje tudi vodno paro. Zrak vsebuje od 0 do 7 % vodne pare. Če je vsebnost vodne pare v zraku enaka nič, govorimo o suhem zraku, v nasprotnem primeru pa o vlažnem zraku. Ko je delni tlak vodne pare manjši od nasičenega parnega tlaka, se zrak obnaša kot idealni plin. Prostornina (V), tlak (p) in temperatura (T) idealnega plina so povezani preko enačbe idealnega plina:

$$pV = nRT, \text{ kjer je } n \text{ število molov idealnega plina (n):} \quad (2.1)$$

$$n = \frac{m}{M}, \text{ kjer je } m \text{ masa plina, } M \text{ pa masa kilomola danega plina.} \quad (2.2)$$

R predstavlja splošno plinsko konstanto, ki znaša 8314 J/(kmol K) .

V primeru, ko je plin mešanica več plinov, ki se med seboj kemijsko ne vežejo, je celotni tlak mešanice plinov (p) podan z izrazom:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_k \quad (2.3)$$

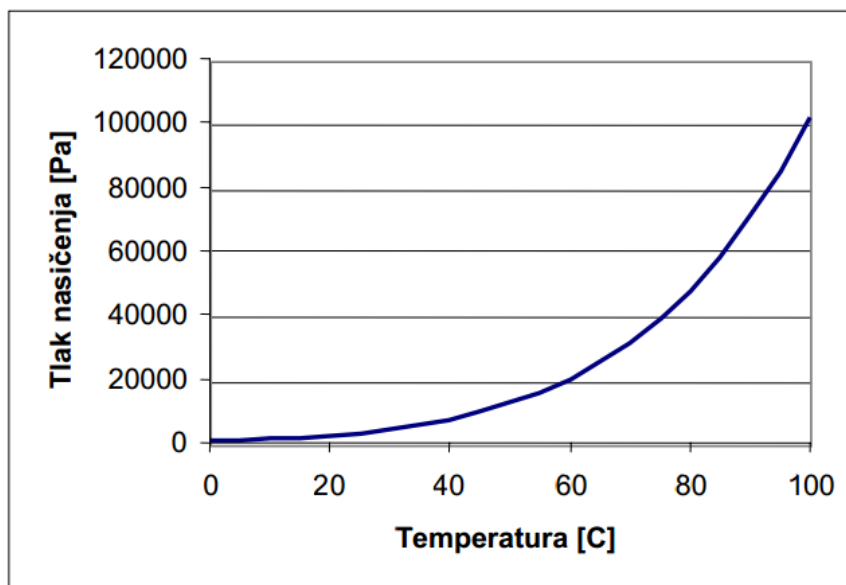
Od tod sledi:

$$p = \frac{RT}{V} \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \frac{m_3}{M_3} + \dots + \frac{m_k}{M_k} \right) \quad (2.4)$$

$$n = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \frac{m_3}{M_3} + \dots + \frac{m_k}{M_k} \right) \quad (2.5)$$

Opazimo, da se vlažen zrak v pogojih, ko ne prihaja do kondenzacije, obnaša kot idealen plin. Tlak pa s temperaturo oziroma z manjšanjem prostornine narašča. [8], [9]

Raziskave kažejo, da se v primeru, ko povečujemo tlak npr. z manjšanjem volumna, zrak začne pri nekem določenem tlaku zgoščevati v kapljevino. Temu plinu pravimo nasičena para, tlaku pa nasičen parni tlak. Če od tu nadaljujemo s stiskanjem zraka z manjšanjem volumna, tlak ne narašča, temveč plin prehaja v kapljevino. Torej velja tudi, da je pri dani temperaturi in danem tlaku vlažnost zraka navzgor omejena. Maksimalna vrednost je podana z zasičenostjo zraka. To pomeni, da je zrak zasičen z vodno paro, in da se presežek vlage v zraku nemudoma kondenzira v obliki megle ali vodnih kapljic. Do podobnega pojava pride, če povečujemo temperaturo pri konstantni prostornini. Slika 2 predstavlja odvisnost tlaka nasičenja (p) od temperature (T). Krivulja se konča pri kritični temperaturi, nad katero plina ni več mogoče utekočiniti. Plinasto stanje pri določeni temperaturi je možno in obstojno, če je tlak plina manjši od nasičenega parnega tlaka. Vredno je poudariti, da delni parni tlak ne more preseči nasičenega parnega tlaka. Utekočinjanje plina se začne v trenutku, ko delni parni tlak doseže nasičeni parni tlak. [8], [9], [10]



Slika 2: Tlak nasičenja vodne pare v odvisnosti od temperature [10]

Vlažnost zraka lahko podamo kot:

- absolutno vlažnost zraka (x). To je razmerje med maso vode v zraku (m_v) in maso suhega zraka (m_{sz}):

$$x = \frac{m_v}{m_{sz}} \quad (2.6)$$

- relativno vlažnost zraka (φ), ki je podana kot razmerje med danim parnim tlakom (p) in nasičenim parnim tlakom (p_{sat}):

$$\varphi = \frac{p}{p_{sat}} \quad (2.7)$$

- delni tlak vodne pare (p_{vp}), kjer gre za razliko med danim parnim tlakom (p) in parnim tlakom suhega zraka (p_{sz}):

$$p_{vp} = p - p_{sz} \quad (2.8)$$

Enačbo za vlažnost zraka (x) lahko zapišemo tudi takole:

$$x = \frac{m_v}{m_{sz}} = \frac{V p_{vp} M_v}{\frac{RT}{V p_{sz} M_{sz}}} = \frac{p_{vp} M_v}{p_{sz} M_{sz}} = \frac{M_v}{M_{sz}} \frac{p_{vp}}{p - p_{vp}} \quad (2.9)$$

Masa kilomola vodne pare (M_v) znaša 18,016 kg/kmol, masa kilomola suhega zraka (M_{sz}) pa 28,966 kg/kmol.

Sledi, da je absolutna vlažnost zraka (x) povezana z relativno vlažnostjo (φ) z izrazom:

$$x = K \frac{p_{sat} \varphi}{p - p_{sat} \varphi} \quad (2.10)$$

Koeficient sorazmernosti (K) znaša 0,622.

Toplota (Q), ki je potrebna, da se neka masa snovi (m) z začetno temperaturo (T_0) in specifično toploto (C_p) segreje na temperaturo (T), je podana z izrazom:

$$Q = m C_p (T - T_0) \quad (2.11)$$

Na tej točki je smiselno opredeliti entalpijo, ki je merilo skupne energije stanja termodinamskega sistema. Entalpijo (H) definiramo kot termodinamično količino, sestavljeno iz notranje energije (U) in produkta tlaka (p) s prostornino telesa (V). Specifična entalpija (h) pa je entalpija na enoto mase. Z entalpijo lahko najprimerneje opišemo spremembe energije sistema, kot poenostavlja zapis prenosa energije.

$$h = C_p T \quad (2.12)$$

Od tu sledi:

$$h = \frac{Q}{m} + c_p T_0 \quad (2.13)$$

Entalpija vlažnega zraka (h_{vz}) je enaka vsoti entalpij vodne pare (h_{sz}) in suhega zraka (h_{vp}):

$$h_{vz} = h_{sz} + h_{vp} = C_{psz} T + C_{pvp} T + r_0 \quad (2.14)$$

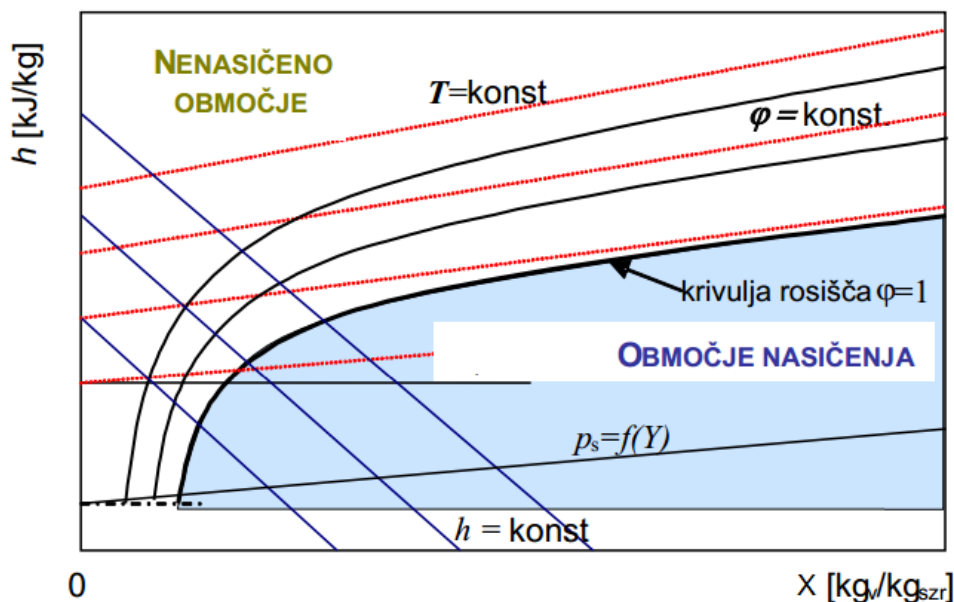
r_0 je specifična entalpija uparjene vode pri temperaturi $T_0 = 0 \text{ °C}$, C_{pvp} pa je specifična toplota vodne pare pri stalnem tlaku (p).

Entalpijo vlažnega zraka lahko zapišemo tudi kot:

$$h_{vz} = C_{pvz} T + r_0 \quad (2.15)$$

$$C_{pvz} = C_{psz} + C_{pvp} x \quad (2.16)$$

Imamo tri spremenljivke: temperaturo (T), absolutno vlažnost (x) in relativno vlažnost (φ). Če poznamo dve od treh spremenljivk, tretjo določimo z uporabo t. i. Mollierovega (h , x) diagrama. Diagram predstavlja odvisnost med temperaturo zraka (T), absolutno vlažnostjo (x), relativno vlažnostjo (φ) in specifično entalpijo vlažnega zraka (h) pri konstantnem tlaku 1 bar. Na ordinatni osi so vnesene vrednosti specifične entalpije (h), na abscisni osi pa absolutna vlažnost zraka (x). Ko je zrak nasičen, velja $\varphi = 1$. Ta krivulja predstavlja mejo med nasičenim in nenasičenim vlažnim zrakom (Slika 3). [8], [9], [10]



Slika 3: Mollierov diagram [10]

V primeru, ko zrak segrevamo:

- se masa zraka (m_z) ne spremeni:

$$m_{z1} + x_1 = m_{z2} + x_2 \quad (2.17)$$

- absolutna vlažnost (x) ostane ista:

$$x_1 = x_2$$

- je sprememba entalpije (h) enaka dovedeni toploti (Q):

$$h_{vz2} = h_{vz1} + Q \quad (2.18)$$

- temperatura (T) narašča:

$$T_1 < T_2$$

- relativna vlažnost zraka (φ) pada:

$$\varphi_1 > \varphi_2$$

Ob hlajenju zraka:

- se masa zraka ne spremeni:

$$m_{z1} + x_1 = m_{z2} + x_2 \quad (2.19)$$

- absolutna vlažnost ostane ista:

$$x_1 = x_2$$

- je sprememba entalpije enaka odvedeni toploti:

$$h_{vz2} = h_{vz1} - Q \quad (2.20)$$

- temperatura (T) pada:

$$T_1 > T_2$$

- relativna vlažnost zraka narašča:

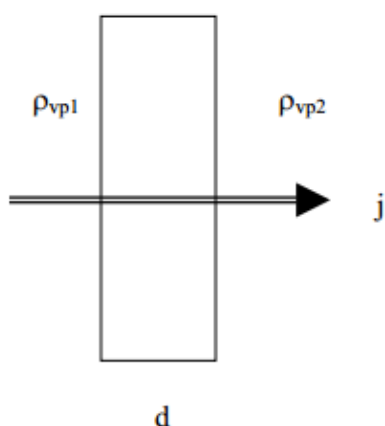
$$\varphi_1 < \varphi_2 \text{ [8], [9], [10]}$$

2.3 Difuzija vodne pare

Difuzija vodne pare je prehajanje vodne pare iz mesta z višjo vrednostjo parnega tlaka (p) na mesto z nižjo vrednostjo parnega tlaka. Kot smo že ugotovili, se parni tlak z višanjem temperature povečuje. Od tu sledi, da difuzijski tok spremlja toplotni tok od toplega proti hladnemu prostoru. [8], [11]

Slika 4 predstavlja prehod vlage skozi mirujočo zračno plast debeline d z mesta z večjim zračnim tlakom (p_{vp1}) na mesto z manjšim zračnim tlakom (p_{vp2}).

$$p_{vp1} > p_{vp2}$$



Slika 4: Prehod vodne pare [8]

Parni tlak (p_i) lahko opišemo kot produkt nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) in relativne vlažnosti (φ).

$$p = p_{sat}(T) \varphi \quad (2.21)$$

Absolutno vlažnost (x) opišemo kot razmerje med maso vode (m_v) in maso suhega zraka (m_{sz}) ali pa kot količino vode v kilogramih (m_v) na kubični meter zraka (V).

$$x = \frac{m_v}{m_{sz}} \quad (2.22)$$

$$v = \frac{m_v}{V} \quad (2.23)$$

Prehajanje vodne pare opiše empirični zakon po Ficku [8]:

$$g = D \frac{v_i - v_e}{d}, \quad (2.24)$$

kjer je g gostota difuzijskega toka vodne pare, d pa debelina zračne plasti.

Fickov zakon opisuje maso vodne pare, ki preteče skozi površino A na časovno enoto. Površina A je pravokotno orientirana na gibanje delcev vodne pare, D pa je koeficient difuzije vodne pare v materialu in znaša:

$$D = 25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

pri temperaturi:

$$T = 20 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Gostoto difuzijskega toka (g) tako podamo z izrazom, ki se glasi:

$$g = \delta_v \frac{v_i - v_e}{d}, \quad (2.25)$$

kjer je δ_v oznaka za prepustnost vodne pare skozi material z debelino d v povezavi z delnim parnim tlakom (v).

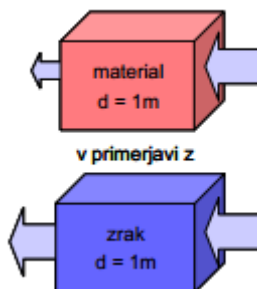
Izraz za gostoto lahko zapišemo tudi takole:

$$g = \delta_0 \frac{p_i - p_e}{\mu d} \quad (2.26)$$

δ_0 opisuje prepustnost vodne pare v zraku v povezavi z delnim parnim tlakom (p). μ je difuzijska upornost materiala vodni pari, izražena kot količnik med parapropustnostjo materiala debeline 1 m in parapropustnostjo zraka debeline 1 m.

$$\mu = \frac{\text{parapropustnost materiala (d = 1 m)}}{\text{parapropustnost zraka (d = 1 m)}} \quad (2.27)$$

Primerjava količine vodne pare, ki preteče skozi zrak debeline 1 m in količine vodne pare, ki preteče skozi nek material debeline 1 m, pokaže, da je količina vodne pare, ki preteče skozi material pri enakih pogojih, manjša od količine vodne pare, ki preteče skozi zrak. Ta razlika je odvisna od upornosti materiala vodni pari. Slika 5 prikazuje razliko pretoka vodne pare skozi material in pretoka vodne pare skozi zrak debeline 1 m. [8], [9], [12]



Slika 5: Difuzijska upornost materiala vodni pari (μ) [12]

Izraz za gostoto parnega toka (g) lahko zapišemo še nekoliko drugače:

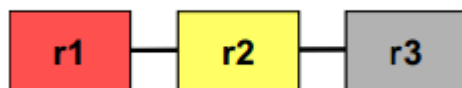
$$g = \frac{p_i - p_e}{r} \quad (2.28)$$

r opisuje difuzijsko upornost plasti, ki je definirana kot:

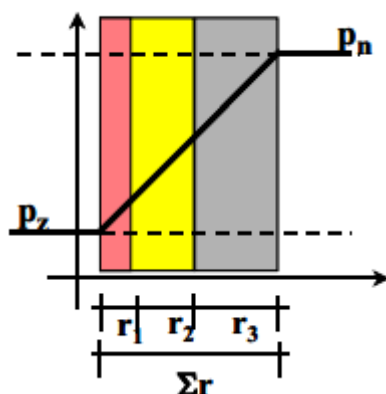
$$r = d \mu (1/\delta_z) \quad (2.29)$$

Relativna difuzijska upornost več plasti je vsota difuzijskih upornosti (Σr) posameznih plasti (r_i) (Slika 6 in 7):

$$\Sigma r = r_1 + r_2 + r_3 + \dots \quad (2.30)$$



Slika 6: Grafična ponazoritev zaporedne vezave uporov plasti v konstrukcijskem sklopu [12]



Slika 7: Skupni difuzijski upor (Σr) konstrukcijskega sklopa [12]

2.4 Kondenzacija na površini in v konstrukcijskem sklopu

Kot je že bilo navedeno, če zrak z neko določeno stopnjo vlažnosti ohlajamo, pridemo do temperature, pri kateri začne kondenzirati.

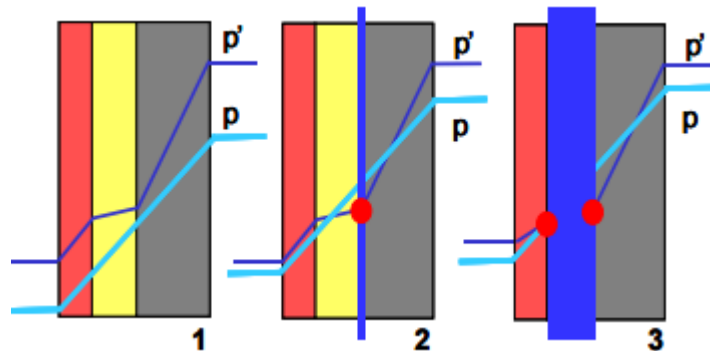
V hladnih obdobjih, ko je razlika med notranjo in zunanjo temperaturo zraka precejšnja, je temperatura na notranji površini stene nižja od temperature zraka. Ko pride notranji zrak ob stik s površino stene, se ohladi. Če je stena dovolj hladna, se lahko zrak ob stiku z njo toliko ohladi, da začne kondenzirati. Do tega pojava ne pride, če je stena dovolj dobro toplotno izolirana in vlažnost zraka v notranjosti prostora ni previsoka.

Vodna para prehaja iz mesta z višjim parnim tlakom na mesto z nižjim parnim tlakom. Tako v zimskem času prehaja zrak in z njim vodna para iz notranjega prostora ven skozi gradbene konstrukcijske sklope. Poleti, ko je temperatura zunanjega zraka višja od temperature notranjega zraka, pa je prehajanje vodne pare ravno obratno.

Zrak, ki prehaja skozi konstrukcijski sklop, se ohlaja in tako se mu povečuje relativna vlažnost. V kolikor parni tlak (p) doseže nasičeni parni tlak (p_{sat}), začne kondenzirati. Da do kondenzacije ne pride, moramo parni tlak (p) vzdrževati pod nivojem nasičenega parnega tlaka (p_{sat}). V primeru, da kondenzacije v konstrukcijskem sklopu ne moremo preprečiti, mora biti ta v dopustnih mejah, ki so odvisne od lastnosti gradbenega materiala. Zagotoviti moramo, da se vsa kondenzirana vlaga znotraj konstrukcije čez leto izsuši.

Slika 8 prikazuje tri primere difuzije vodne pare:

1. Parni tlak (p) nikjer v konstrukciji ne doseže nasičenega parnega tlaka (p_{sat}), zato ne pride do pojava kondenzacije.
2. Parni tlak (p) doseže vrednost nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) v eni ravnini in v tej ravnini pride do pojava kondenzacije.
3. Vrednost parnega tlaka (p) je enaka vrednosti nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) v plasti z neko debelino. V tej plasti se pojavlja kondenzacija vodne pare.



Slika 8: Osnovni primeri prehoda vodne pare [12]

Opomba: $p_{\text{sat}} = p'$

Gradbena konstrukcija mora biti izvedena tako, da pri namenski uporabi ne prihaja do kondenzacije na površini in znotraj konstrukcije oziroma mora biti ta v dopustnih mejah.

3 ZAKONODAJNA IZHODIŠČA

3.1 Zakonodaja

Z vidika zakonodajnih izhodišč moramo predstaviti vsaj nekaj veljavnih dokumentov, ki jih je potrebno upoštevati pri projektiranju in izgradnji različnih objektov in na katerih temelji program, predstavljen v empiričnem delu diplomske naloge.

3.1.1 Zakon o graditvi objektov

Kot osnovno vodilo pri načrtovanju novogradnje ali rekonstrukcije stavb moramo upoštevati Zakon o graditvi objektov, ki v 1. odstavku 1. člena navaja, da *»Ta zakon ureja pogoje za graditev vseh objektov, določa bistvene zahteve in njihovo izpolnjevanje glede lastnosti objektov ...«*, v 3. odstavku 1. člena pa pojasni, da *»Graditev objekta po tem zakonu obsega projektiranje, gradnjo in vzdrževanje objekta.«* [13]

Za nas je pomemben še 9. člen Zakona o graditvi objektov, ki navaja bistvene zahteve (eno, več ali vse), ki jih morajo izpolnjevati posamezne vrste objektov, in sicer:

- **»mehanske odpornosti in stabilnosti,**
- varnosti pred požarom,
- **higienske in zdravstvene zaščite in zaščite okolice,**
- **varnosti pri uporabi,**
- zaščite pred hrupom in
- **varčevanja z energijo in ohranjanja toplote.«** [13]

Na vse zahteve, ki so zapisane krepko, pa ima pomemben vpliv tudi količina vlage v gradbenih materialih oziroma proizvodih, ki so vgrajeni v objekt.

2. odstavek 9. člena nas opomni na to, da v objekte lahko vgrajujemo le tiste gradbene proizvode, ki so bili dani v promet skladno s predpisi. V 3. odstavku pa dobimo še usmeritve do drugih veljavnih dokumentov, kot so standardi in tehnične smernice, ki jim mora ustrezati določen element, da veljajo za skladne z zahtevami gradbenega predpisa. [13]

3.1.2 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah – PURES 2010

Glede na obravnavano tematiko moramo upoštevati tudi Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010). *»Ta pravilnik določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ali njihove kombinacije ... ter metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavb.«* (1. člen) [14]

5. člen tega pravilnika nas usmerja na Tehnično smernico za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije, ki določa gradbene ukrepe ter že omenjeno metodologijo, in katere raba je obvezna.

Za zaščito površine toplotnega ovoja stavbe in ločilnih elementov delov stavbe 9. člen v PURES 2010 navaja, da »je treba:

- zmanjšati prehod energije skozi površino toplotnega ovoja stavbe,
- zmanjšati podhlajevanje ali pregrevanje stavbe,
- zagotoviti tako sestavo gradbenih konstrukcij, da ne prihaja do poškodb ali drugih škodljivih vplivov zaradi difuzijskega prehoda vodne pare in
- nadzorovati (uravnavati) zrakotesnost stavbe.« [14]

Po 15. členu tega pravilnika uporabljamo podnebne podatke s spletne aplikacije pregledovalnika podnebnih podlag, ki je dostopna na spletni strani: http://www.geodetska-uprava.si/DHTML_HMZ/wm_ppp.htm ali s konkretno ugotovljene podnebne podlage, ki jih pridobimo od organa, pristojnega za zbiranje in obdelovanje podatkov o podnebjju. [14]

V 2. odstavku tega člena za izračune, kjer potrebujemo snovne podatke o uporabljenih materialih, uporabimo podatke o gradbenih proizvodih iz listine o skladnosti za posamezen proizvod v skladu s predpisi (Zakon o gradbenih proizvodih, 2002). V primeru, da teh podatkov nimamo, za običajne gradbene proizvode uporabimo podatke iz 10. točke Tehnične smernice z naslovom Snovni podatki. Ti podatki so navedeni v poglavju 4 z naslovom Opis programa (Preglednica 15). [14]

V 17. členu pa je podrobno opisan elaborat gradbene fizike, kjer mora biti dokazano doseganje učinkovite rabe energije v stavbah oziroma izpolnjevanje zahtev tega pravilnika. Elaborat mora med drugim vsebovati tudi vmesne rezultate za elemente učinkovite rabe energije iz 9. člena tega pravilnika. [14]

3.1.3 Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije

Tehnična smernica (TSG4) je nastala na podlagi Zakona o graditvi objektov. Pravni okvir delovanja te smernice pa je PURES 2010. Tehnična smernica se sklicuje na številne slovenske standarde. Ker je upoštevanje te smernice obvezno, je obvezno tudi upoštevanje standardov ali njihovih delov, ki so v smernici navedeni.

Pri snovanju stavbe moramo z vidika preprečevanja površinske kondenzacije in škode zaradi kondenzacije znotraj elementov ovoja med drugim upoštevati tudi vpliv gradbenih materialov in elementov stavbe. [15]

Izpostavljena je tudi toplotna prehodnost gradbenih elementov stavbe, ki ločujejo ogrevane prostore od zunanjega okolja in od notranjih prostorov, katerih temperatura zraka je nižja od 12 °C. TSG4 se pri tem sklicuje na dva standarda, in sicer: SIST EN ISO 6946 in SIST EN ISO 10211 (Preglednica 1). [15]

V Tehnični smernici je navedeno, da pri projektnih pogojih ne sme prihajati do kondenzacije vodne pare na površini gradbene konstrukcije. Vodna para, ki zaradi difuzije prodira v gradbeno konstrukcijo, ne sme kondenzirati oziroma se mora vsa količina kondenzirane vodne pare izsušiti do konca računskega obdobja. [15]

Pri tem količina nabrane vlage ne sme biti tolikšna, da bi imela negativen vpliv na gradbene materiale. [15]

Izračune za difuzijo vodne pare se izvaja za zunanje gradbene konstrukcije in za konstrukcije, ki mejijo na neogrevane prostore. Za te izračune se uporablja standard SIST EN ISO 13788. [15]

Pri izračunih se upošteva, da je notranja temperatura zraka 20 °C in notranja zračna vlažnost 65 %. Lahko pa se uporabljajo projektne vrednosti, če sta notranja temperatura in relativna vlažnost zraka višji od vrednosti, navedenih v TSG4. [15]

Mesečne vrednosti zunanjih klimatskih pogojev so navedene v klimatskih podatkih. [15]

V tabeli F1 standarda SIST EN ISO 13788:2002 so navedene maksimalne količine kondenzirane vodne pare v gradbenih materialih. Te vrednosti so lahko določene tudi s strani proizvajalcev gradbenih materialov. [15]

Količina kondenzirane vodne pare ne sme preseči:

- 1 kg/m² v strešnih konstrukcijah;
- 0,5 kg/m² v materialu, ki ne omogoča kapilarnega dviga vode;
- povečanja vlage za 5 % v lesu;
- povečanja vlage za 3 % v lesenih izdelkih. [15]

Na obravnavano tematiko se nanaša standard SIST EN ISO 13788:2002, ki je temelj izdelanega programa in je natančneje opisan v posebnem poglavju v nadaljevanju.

3.2 Opis standarda SIST EN ISO 13788:2002

Standard opisuje metode za izračun notranje temperature na površini gradbenega elementa ali sestavnega dela gradbenega elementa, pod katero nastaja plesen, in ocene tveganja kondenzacije zaradi difuzije vodne pare. Ne obravnava pa ostalih problemov z vlago, ki so posledica drugih pojavov, kot na primer: podtalnica, padavine, vlaga zaradi konvekcije ... V tem standardu ni upoštevano naslednje: nihanje lastnosti materialov v odvisnosti od količine vlage, kapilarni prenos vlage, pretok zraka skozi pore in razpoke, higroskopična kapaciteta vlage v materialih. [16]

Izračuni bodo običajno na varni strani. Standard pa ne izključuje uporabo drugih naprednih metod za izračun difuzije vodne pare. [16]

V standardu je tudi nekaj računskih primerov, ki smo jih izračunali s pomočjo programa PIDVP in naredili primerjavo rezultatov s tistimi, predstavljenimi v standardu.

3.2.1 Vhodni podatki za izračun

3.2.1.1 Lastnosti materiala

Za izračun se uporabljajo materialne in proizvodne lastnosti gradbenih elementov. Lahko se uporabljajo projektne vrednosti v proizvodnih in materialnih specifikacijah ali pa vrednosti, navedene v standardih. [16]

3.2.1.2 Klimatski pogoji

3.2.1.2.1 Lokacija

Uporabljajo se zunanji klimatski pogoji, ki so določeni za lokacijo stavbe, razen če to ni drugače določeno. [16]

3.2.1.2.2 Časovno obdobje

Za izračun tveganja za nastanek površinske plesni in ocene tveganja kondenzacije zaradi difuzije vodne pare se uporabljajo srednje vrednosti, pridobljene z uporabo metod, opisanih v ISO 15927-1. [16] Standard predpisuje postopke za določitev podnebnih podatkov za oceno toplotne in vlažnostne učinkovitosti stavbe. Podnebne podatke pridobimo od meteorološke službe v posamezni državi. [21]

Za izračun površinske kondenzacije pri nizki toplotni upornosti elementov, kot so na primer okna in njihovi okvirji, se uporabljajo povprečne letne temperature na dnevni osnovi pri ustreznih relativnih vlažnostih. [16]

3.2.1.2.3 Temperature

- Temperatura zunanjega zraka je določena v standardu ISO 15927-1.
- Za temperaturo tal v bližini stavbnih elementov se uporablja srednja vrednost temperature zunanjega zraka.
- Temperaturo notranjega zraka se določi glede na pričakovano uporabo stavbe oziroma prostora v stavbi. Temperature, ki se uporabljajo v tem standardu, so določene na nacionalni ravni. [16]

3.2.1.2.4 Vlažnost

Za opredelitev vlažnosti zunanjega zraka se uporablja relativna vlažnost zraka (φ_z), parni tlak (p_z) ali absolutna vlažnost zraka (v_z), ki je definirana kot masa vodne pare (m_v) na volumen zraka (v_z). Mesečno povprečje vlažnosti zraka izračunamo po enačbi (2.23) ali (3.1).

$$v_z = v_{\text{sat}}(T_z) \varphi_z, \quad (3.1)$$

kjer v_{sat} pomeni nasičeno vlažnost zraka, podano v kg/m^3 .

V vročih podnebjih so te enačbe nenatančne, saj gre za nelinearen odnos med temperaturo in vlažnostjo zraka.

Za talno vlažnost se upošteva, da je $\varphi = 1$.

Notranja vlažnost zraka (v_n) je vsota zunanje vlažnosti zraka (v_z) in presežka notranje vlažnosti zraka (Δv).

$$v_n = v_z + \Delta v \quad (3.2)$$

Notranji parni tlak (p_i) je vsota zunanjega parnega tlaka (p_z) in presežka notranjega parnega tlaka (Δp).

$$p_n = p_z + \Delta p \quad (3.3)$$

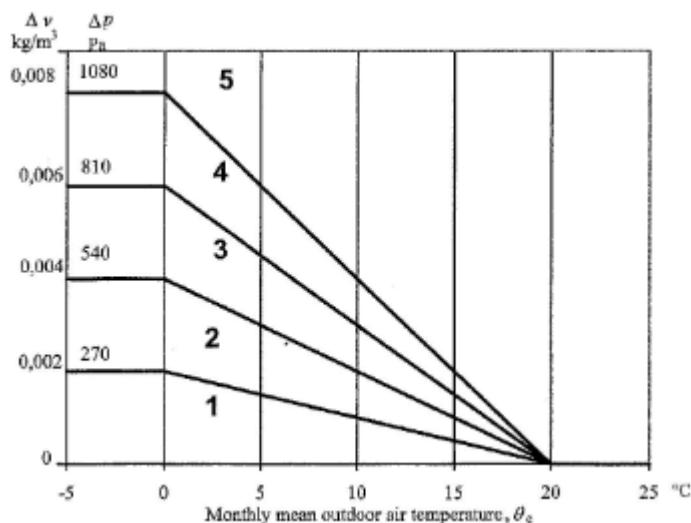
Vrednost Δp in Δv določimo glede na pričakovano uporabo stavbe ter ju pomnožimo z 1,10, da zagotovimo stopnjo varnosti. [16]

Dodatno varnost se upošteva zato, ker je metoda nenatančna, vendar še vedno dovolj zanesljiva. [16]

Notranje vlažnosti zraka so razvrščene v 5 vlažnostnih razredov (Preglednica 1). Na podlagi izbranega razreda vlažnosti in temperature zraka (T) s pomočjo grafa določimo vrednost preseženega parnega tlaka (Δp) oziroma vrednost presežka notranje vlažnosti zraka (Slika 9). [16]

Preglednica 1: Razvrstitev prostorov v razrede vlažnosti zraka [16]

Razredi vlažnosti zraka	Zgradba
1	skladiščni prostori
2	pisarne, trgovine
3	stanovanja z nizko zasedenostjo
4	stanovanja z visoka zasedenostjo, športne hale, kuhinje, menze, zgradbe, ogrevane s plinskimi grelniki
5	posebne zgradbe, kot npr.: pralnice, pivovarne, bazeni



Slika 9: Prikaz Δp in Δv v odvisnosti od zunanje temperature zraka (T_z) in razreda vlažnosti prostora [16]

Opomba: $\theta = T_z$

3.2.2 Izračun temperature na površini za preprečitev kritične vlažnosti

Standard predpisuje metodo zasnove stavbnega ovoja, z namenom preprečiti neželene vplive površinske vlažnosti, kot je na primer pojav plesni. Tveganje za nastanek plesni se pojavi pri relativni vlažnosti (φ) nad 80 %, ki traja nekaj dni. [16]

3.2.2.1 Določanje parametrov

Poleg zunanje temperature (T_z) in vlažnosti zraka so za nastanek plesni pomembni še trije parametri:

- temperaturni faktor notranje površine (f_{Rsi});
- stopnja proizvedene notranje vlage (G);
- notranja temperatura zraka (T_n) in sistem ogrevanja.

Nižja notranja temperatura je običajno bolj kritična. To je še posebej značilno za prostore z zmanjšanim oziroma prekinjenim ogrevanjem ali celo brez njega. [16]

3.2.2.2 Načrtovanje za preprečitev nastanka plesni

Za vsak mesec v letu sledimo naslednjim korakom:

- Definiramo oziroma opredelimo zunanjo temperaturo zraka (T_z).
- Opredelimo zunanjo relativno vlažnost (φ_z).
- Določimo notranjo temperaturo (T_n) v skladu z nacionalno prakso.
- Izračunamo notranji presežek vlažnosti zraka Δv oziroma notranji presežek parnega tlaka Δp ali pa določimo konstantno relativno vlažnost (φ) za klimatsko okolje. Upoštevati moramo tudi varnostni faktor.

- e) Z maksimalno sprejemljivo relativno vlažnostjo površine $\varphi_{si} = 0,8$ izračunamo minimalno sprejemljivo nasičenost vlage (v_{sat}) ali nasičeni parni tlak (p_{sat}). Kriterij $\varphi_{si} \leq 0,8$ je izbran glede na tveganje nastanka plesni. S pomočjo minimalne sprejemljive nasičene vlage določimo minimalno sprejemljivo temperaturo površine ($T_{si,min}$).
- f) Iz minimalne sprejemljive temperature na površini ($T_{si,min}$), s predpostavljeno temperaturo zraka (T_n) in zunanjo temperaturo (T_z), izračunamo minimalni temperaturni faktor ($f_{Rsi,min}$) po enačbi:

$$f_{Rsi,min} = \frac{T_{si,min} - T_e}{T_i - T_e} \quad (3.4)$$

Mesec z največjo zahtevano vrednostjo faktorja $f_{Rsi,min}$ je kritičen mesec. Temperaturni faktor za ta mesec je $f_{Rsi,max}$. Elementi zgradbe morajo biti oblikovani tako, da je faktor $f_{Rsi,max}$ vedno presežen:

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,max}$$

$$f_{Rsi} = (U^{-1} - R_{si})/U^{-1} \quad (3.5)$$

U predstavlja toplotno prehodnost, R_{si} pa temperaturni upor mejne zračne plasti.

Za lažje razumevanje izračuna temperaturnega faktorja je v nadaljevanju predstavljenih nekaj računskih primerov. [16]

1. primer: Uporaba razredov notranje vlažnosti zraka

Povprečna mesečna zunanja temperatura (T_z) in relativna vlažnost (φ_z) sta za lokacijo stavbe opredeljeni v 1. in 2. stolpcu v Preglednici 3. Gre za primer stanovanja z nizko zasedenostjo, kar pomeni tretji razred vlažnosti. Zunanjo mesečno nasičenost parnega tlaka ($p_{sat,z}$) izračunamo iz temperature po enačbi:

$$p_{sat} = 610,5 e^{\frac{17,269 T}{237,3 + T}} \quad \text{za } T \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{ali} \quad (3.6)$$

$$p_{sat} = 610,5 e^{\frac{21,875 T}{265,5 + T}} \quad \text{za } T < 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.7)$$

Lahko pa si pomagamo s Preglednico 2, iz katere odčitamo nasičeni parni tlak (p_{sat}) ali nasičeno absolutno vlažnost zraka (v_{sat}), ki sta odvisna od temperature zraka (T).

Preglednica 2: Prikaz zunanjega nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) in absolutne vlažnosti (v_{sat}) v odvisnosti od temperature zraka (T) [16]

θ °C	p_{sat} Pa	v_{sat} kg/m ³	θ °C	p_{sat} Pa	v_{sat} kg/m ³
-20	103	0,00088	11	1312	0,00999
-19	113	0,00096	12	1402	0,01064
-18	124	0,00105	13	1497	0,01132
-17	137	0,00115	14	1598	0,01204
-16	150	0,00126	15	1704	0,01280
-15	165	0,00138	16	1817	0,01360
-14	181	0,00151	17	1937	0,01444
-13	198	0,00165	18	2063	0,01533
-12	217	0,00180	19	2196	0,01626
-11	237	0,00196	20	2337	0,01725
-10	259	0,00213	21	2486	0,01828
-9	283	0,00232	22	2642	0,01937
-8	309	0,00252	23	2808	0,02051
-7	338	0,00274	24	2982	0,02171
-6	368	0,00298	25	3166	0,02297
-5	401	0,00324	26	3359	0,02430
-4	437	0,00351	27	3563	0,02568
-3	475	0,00381	28	3778	0,02714
-2	517	0,00413	29	4003	0,02866
-1	562	0,00447	30	4241	0,03026
0	611	0,00484	31	4490	0,03194
1	656	0,00518	32	4752	0,03369
2	705	0,00555	33	5027	0,03552
3	757	0,00593	34	5316	0,03744
4	813	0,00634	35	5619	0,03945
5	872	0,00678	36	5937	0,04155
6	935	0,00724	37	6271	0,04374
7	1001	0,00773	38	6621	0,04603
8	1072	0,00825	39	6987	0,04843
9	1147	0,00880	40	7371	0,05092
10	1227	0,00938			

Opomba: v Preglednici 2 predstavlja θ oznako za temperaturo (T).

Po določitvi nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) izračunamo zunanji parni tlak (p_z) po enačbi (2.22).

Vrednosti zunanjega parnega tlaka (p_z) so izpisane v 3. stolpcu Preglednice 3. Presežek notranjega parnega tlaka (Δp) za izbrani razred notranje vlažnosti zraka zgradbe (tretji razred) izhaja iz funkcije temperature. Vrednosti (Δp) so podane v 4. stolpcu in so določene s pomočjo Slike 10. Na varnejši strani smo, če za Δp vzamemo večjo vrednost. Zato določimo presežek notranjega parnega tlaka (Δp) na meji med tretjim in četrtem razredom. Te vrednosti pomnožimo z varnostnim faktorjem 1,10, dobljeno prištejemo zunanjemu parnemu tlaku (p_z) in dobimo notranji parni tlak (p_n):

$$p_n = p_z + \Delta p \cdot 1,10 \quad (3.8)$$

Minimalna sprejemljiva nasičenost parnega tlaka ($p_{\text{sat}}(T_{\text{si}})$) je izračunana po enačbi:

$$p_{\text{sat}}(T_{\text{si}}) = \frac{p_n}{0,8} \quad (3.9)$$

Sledi izračun minimalne sprejemljive temperature vmesne ravnine ($T_{si, \min}$). Vrednosti so prikazane v 7. stolpcu Preglednice 3:

$$T_{si, \min} = \frac{237,3 \log_e \left(\frac{p_{sat}}{610,5} \right)}{17,269 - \log_e \left(\frac{p_{sat}}{610,5} \right)}, \text{ če velja } p_{sat} \geq 610,5 \quad (3.10)$$

$$T_{si, \min} = \frac{265,5 \log_e \left(\frac{p_{sat}}{610,5} \right)}{21,875 - \log_e \left(\frac{p_{sat}}{610,5} \right)}, \text{ če velja } p_{sat} < 610,5 \quad (3.11)$$

V 8. stolpcu je prikazana notranja temperatura za vsak mesec. Faktor ($f_{Rsi, \min}$) izračunamo po enačbi (3.4).

S pogoji, ki so predvideni v Preglednici 3, je januar kritični mesec in $f_{Rsi, \min} = 0,766$. [16]

Preglednica 3: Rezultati izračuna 1. primera z uporabo razredov notranje vlažnosti zraka [16]

Mesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	T_z	φ_z	p_z	Δp	p_n	$p_{sat}(T_z)$	$T_{si, \min}$	T_n	$f_{Rsi, \min}$
	[°C]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[°C]	[°C]	[°C]	[-]
Jan.	2,8	0,92	683	698	1451	1813	16,0	20	0,766
Feb.	2,8	0,88	657	697	1423	1779	15,7	20	0,748
Mar.	4,5	0,85	709	630	1402	1752	15,4	20	0,706
Apr.	6,7	0,8	788	538	1380	1725	15,2	20	0,638
Maj	9,8	0,78	941	415	1398	1747	15,4	20	0,550
Jun.	12,6	0,8	1162	299	1491	1864	16,4	20	0,513
Jul.	14	0,82	1302	244	1571	1963	17,2	20	0,538
Avg.	13,7	0,84	1317	256	1598	1998	17,5	20	0,602
Sep.	11,5	0,87	1183	343	1560	1950	17,1	20	0,659
Okt.	9	0,89	1017	446	1507	1884	16,6	20	0,688
Nov.	5	0,91	788	610	1458	1823	16,1	20	0,739
Dec.	3,5	0,92	719	670	1456	1820	16,0	20	0,760

2. primer: Ob predpostavljene konstantni notranji relativni vlažnosti

Gre za klimatizirano stavbo, kjer sta nadzorovani notranja temperatura (T_n) in relativna vlažnost (φ_n). Notranja temperatura je 20 °C, relativna vlažnost pa 0,50. Povprečna mesečna zunanja temperatura (T_z), notranja temperatura (T_n) ter notranja relativna vlažnost (φ_n) so opredeljene v 1., 2. in 3. stolpcu v Preglednici 4. Da smo še nekoliko bolj na varni strani, povečamo notranjo relativno vlažnost za 0,05. Notranji mesečni nasičeni parni tlak ($p_{sat, i}$) izhaja iz temperature. Določimo ga s pomočjo Preglednice 2 ali pa po enačbi (3.6) oziroma (3.7). [16]

Minimalni sprejemljiv nasičen parni tlak ($p_{sat}(T_{si})$) in minimalno sprejemljivo temperaturo ($T_{si, \min}$) izračunamo enako kot v 1. primeru. Opredeljena sta v 5. in 6. stolpcu Preglednice 4. Enak postopek kot v prejšnjem primeru uporabimo tudi za izračun faktorja ($f_{Rsi, \min}$). Vrednosti

so prikazane v 7. stolpcu Preglednice 4. Opazimo, da sta januar in februar kritična meseca. [16]

Preglednica 4: Rezultati izračuna 2. primera ob predpostavljeni konstantni notranji relativni vlažnosti [16]

Mesec	1	2	3	4	5	6	7
	T_z	T_n	φ_n	p_n	$p_{sat}(T_{si})$	$T_{si, min}$	$f_{Rsi, min}$
	[°C]	[°C]	[-]	[Pa]	[°C]	[°C]	[-]
Jan.	2,8	20	0,55	1285	1607	14,1	0,656
Feb.	2,8	20	0,55	1285	1607	14,1	0,656
Mar.	4,5	20	0,55	1285	1607	14,1	0,618
Apr.	6,7	20	0,55	1285	1607	14,1	0,555
Maj	9,8	20	0,55	1285	1607	14,1	0,420
Jun.	12,6	20	0,55	1285	1607	14,1	0,201
Jul.	14	20	0,55	1285	1607	14,1	0,014
Avg.	13,7	20	0,55	1285	1607	14,1	0,061
Sep.	11,5	20	0,55	1285	1607	14,1	0,304
Okt.	9	20	0,55	1285	1607	14,1	0,462
Nov.	5	20	0,55	1285	1607	14,1	0,606
Dec.	3,5	20	0,55	1285	1607	14,1	0,642

3. primer: Z znanim dotokom vlage (G) in s konstantno stopnjo prezračevanja (n)

Notranji presežek vlage (Δv) je izračunan iz predpostavljene stopnje izmenjave zraka (n), s stopnjo dotoka vlage (G) in volumna prostora (V) po enačbi:

$$g = \delta_v \frac{\Delta v}{d}, \quad (3.12)$$

kjer g predstavlja pretok vodne pare.

Notranji presežek vlage (Δv) preoblikujemo v presežek parnega tlaka (Δp) z uporabo enačbe:

$$\Delta p = \Delta v R_v (T_n + T_z)/2 = \frac{G}{nV} R_v (T_n + T_z)/2 \quad (3.13)$$

Dobljeno vrednost prištejemo zunanjemu parnemu tlaku (p_z) in dobimo notranji parni tlak (p_n). Vrednosti so podane v 5. in 6. stolpcu Preglednice 5. Vsi ostali postopki za izračun drugih količin so enaki kot v prejšnjih primerih. [16]

Za 3. primer izračuna znaša volumen prostora $V = 250 \text{ m}^3$, dotok vlage pa $G = 0,4 \text{ kg/h}$.

Preglednica 5: Rezultati izračuna 3. primera z znano dobavo vlage in s konstantno stopnjo prezračevanja [16]

Mesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	T_z	φ_z	p_z	n	Δp	p_n	$p_{\text{sat}}(T_{\text{min}})$	$T_{\text{sn, min}}$	T_n	$f_{\text{Rsi, min}}$
	[°C]	[-]	[Pa]	1/h	[Pa]	[Pa]	[°C]	[°C]	[°C]	[-]
Jan.	2,8	0,92	683	0,50	433	1116	1395	11,9	20	0,531
Feb.	2,8	0,88	657	0,50	433	1090	1363	11,6	20	0,510
Mar.	4,5	0,85	709	0,50	433	1142	1428	12,3	20	0,502
Apr.	6,7	0,8	788	0,50	433	1221	1527	13,3	20	0,496
Maj	9,8	0,78	941	0,50	433	1374	1718	15,1	20	0,522
Jun.	12,6	0,8	1162	0,50	433	1595	1994	17,5	20	0,657
Jul.	14	0,82	1302	0,50	433	1735	2169	18,8	20	0,800
Avg.	13,7	0,84	1317	0,50	433	1750	2188	18,9	20	0,832
Sep.	11,5	0,87	1183	0,50	433	1616	2020	17,7	20	0,726
Okt.	9	0,89	1017	0,50	433	1450	1813	16,0	20	0,633
Nov.	5	0,91	788	0,50	433	1221	1527	13,3	20	0,553
Dec.	3,5	0,92	719	0,50	433	1152	1440	12,4	20	0,540

4. primer: Z znanim dotokom vlage in s spremenljivo stopnjo prezračevanja

Običajno so zgradbe manj prezračevane v hladnejšem času leta. Če je odnos med stopnjo izmenjave zraka (n) in temperaturo (T) znan ali predviden, je vrednost ($f_{\text{Rsi, min}}$) izračunana kot v 3. primeru, a z uporabo spremenljive stopnje izmenjave zraka. Stopnjo izmenjave zraka izračunamo za vsak mesec posebej po enačbi:

$$n = 0,2 + 0,04 T_z \quad (3.14)$$

S temi pogoji je januar najbolj kritičen mesec in $f_{\text{Rsi, min}} = 0,718$ (Preglednica 6). [16]

Preglednica 6: Rezultati izračuna 4. primera z znano dobavo vlage in s spremenljivo stopnjo prezračevanja [16]

Mesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	T_z	φ_z	p_z	n	Δp	p_n	$p_{sat}(T_{min})$	$T_{sn, min}$	T_n	$f_{Rsi, min}$
	[°C]	[-]	[Pa]	1/h	[Pa]	[Pa]	[°C]	[°C]	[°C]	[-]
Jan.	2,8	0,92	683	0,31	694	1377	1722	15,2	20	0,718
Feb.	2,8	0,88	657	0,31	694	1351	1689	14,9	20	0,701
Mar.	4,5	0,85	709	0,38	570	1279	1599	14,0	20	0,614
Apr.	6,7	0,8	788	0,47	463	1251	1564	13,7	20	0,524
Maj	9,8	0,78	941	0,59	366	1307	1634	14,3	20	0,445
Jun.	12,6	0,8	1162	0,70	308	1470	1837	16,2	20	0,483
Jul.	14	0,82	1302	0,76	285	1587	1984	17,4	20	0,563
Avg.	13,7	0,84	1317	0,75	290	1607	2008	17,6	20	0,615
Sep.	11,5	0,87	1183	0,66	328	1511	1889	16,6	20	0,601
Okt.	9	0,89	1017	0,56	387	1404	1755	15,5	20	0,587
Nov.	5	0,91	788	0,40	542	1330	1662	14,6	20	0,641
Dec.	3,5	0,92	719	0,34	637	1356	1695	14,9	20	0,692

3.2.3 Kondenzacija zaradi difuzije vodne pare

Standard nam poda metodo za vzpostavitev letnega ravnovesja vlage in za izračun maksimalne količine nabrane vlage zaradi difuzije vodne pare. Predpostavljeno je, da se je vsa vgrajena vlaga izsušila.

Metodo je treba obravnavati kot oceno in ne kot orodje za natančno napoved. Primerna je za primerjavo različnih konstrukcijskih sklopov in za ocenjevanje učinkov sprememb. Ne zagotavlja natančne napovedi pogojev za vlago znotraj konstrukcijskega sklopa pod pogoji obratovanja in ni primerna za izračun izsuševanja vgrajene vlage. [16]

3.2.3.1 Predpostavke

Če začnemo s prvim mesecem, v katerem je kondenzacija predvidena, za izračun količine kondenzacije ali izhlapevanja v vsakem od 12 mesecev v letu uporabimo mesečne povprečne zunanje klimatske pogoje. Predvideni so enodimenzionalni, stacionarni pogoji. Gibanje zraka skozi ali znotraj konstrukcijskega sklopa ni upoštevano. Prenos vlage je predviden kot difuzija čistih vodnih hlapov.

Prepustnost za vodno paro je odvisna od temperature in zračnega tlaka, vendar so ti vplivi v tem standardu zanemarjeni.

Toplotna prevodnost in toplotna upornost sta predpostavljene kot konstanti, specifična toplota materiala pa kot nebistvena. [16]

3.2.3.2 Omejitve in napake

Obstajajo številni viri napak, povzročenih zaradi poenostavitvev:

- a) Toplotna prevodnost je odvisna od vsebnosti vlage, toplota pa se sprosti oziroma absorbira s kondenzacijo ali izhlapevanjem. To spremeni razporeditev temperature in vrednost nasičenosti ter učinkuje na količino kondenzacije/sušenja.
- b) Uporaba konstantnih lastnosti materialov je približek.
- c) Kapilarno gibanje in prenos tekoče vlage se pojavita v veliko materialih, kar lahko spremeni porazdelitev vlage.
- d) Premikanje zraka skozi razpoke ali znotraj zračnih prostorčkov lahko s konvekcijo vlage spremeni razporeditev vlage. Dež ali topeči se sneg imata prav tako lahko učinek na pogoje vlage.
- e) Pravi mejni pogoji niso konstantni skozi ves mesec.
- f) Večina materialov je vsaj do neke mere higroskopičnih, kar pomeni, da lahko absorbirajo vodno paro.
- g) Predviden je enodimenzionalni prenos vlage.
- h) Vpliv sončnega in dolgovalovnega sevanja je zanemarjen.

Zaradi velikega števila možnih virov napak je ta metoda izračuna manj primerna za določene stavbne komponente in podnebja. Na primer v konstrukcijskih sklopih, kjer gre tok zraka skozi ali poteka znotraj konstrukcijskega sklopa, so izračuni lahko zelo nezanesljivi, zato je potrebna previdnost pri interpretaciji rezultatov. Za primer lahko vzamemo tudi vroča podnebja, kjer so zaradi nelinearnega odnosa med temperaturo in vlažnostjo zraka enačbe nenatančne. [16]

3.2.3.3 Izračun

3.2.3.3.1 Lastnosti materialov

Lastnosti materialov so opredeljene, kot je opisano v poglavju 3.2.1 Vhodni podatki za izračun.

Vsako plast gradbene konstrukcije obravnavamo samostojno ob polnem upoštevanju njenih ustreznih toplotnih in vlažnostnih lastnosti. Izračunamo toplotno upornost (R) in difuzijsko upornost vodni pari, ki je enakovredna debelini zračnega sloja (S_d) za vsako posamezno plast konstrukcijskega sklopa.

Elemente z visoko toplotno upornostjo razdelimo na posamezne plasti, tako da vsaka posamezna plast ne presega $0.25 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

Nekateri materiali, kot je pločevina, učinkovito preprečujejo prehod kakršnekoli vodne pare, zato imajo neskončno vrednost μ . Za izračun, kjer nastopajo taki materiali, je zahtevana vrednost $\mu = 100000$. To lahko vodi do predvidevanja zanemarljivo majhnih količin kondenzacije. [16]

3.2.3.3.2 Mejni pogoji

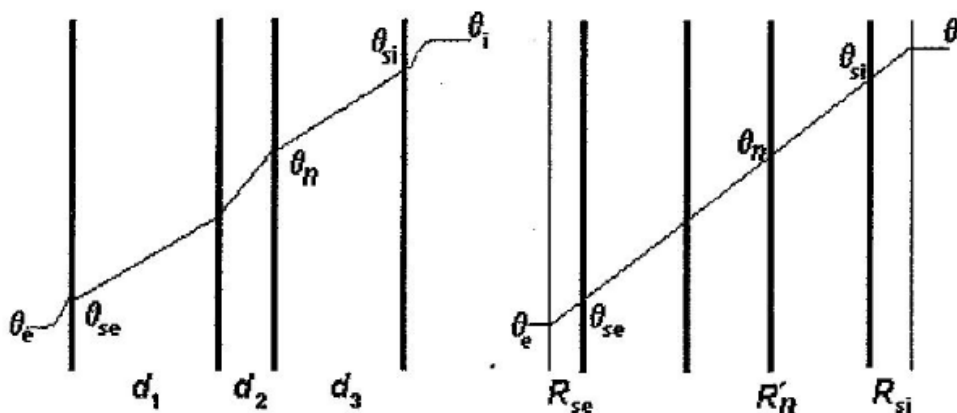
Opredelimo notranjo in zunanjo temperaturo ter vlažnost, kot je opisano v poglavju 3.2.1 Vhodni podatki za izračun. [16]

3.2.3.3.3 Začetni mesec

Začetni mesec je prvi mesec s pojavom kondenzacije, ki sledi mesecu brez pojava kondenzacije. V primeru, ko ni za noben mesec predvidena kondenzacija, je začetni mesec lahko katerikoli. Ravno tako je začetni mesec lahko katerikoli v primeru, ko je predvidena kondenzacija za vsak mesec v letu. [16]

V podnebjju, ki ni tropsko, z dobro definiranimi letnimi časi bo izbor začetnega meseca dva ali tri mesece pred najbolj hladnim obdobjem v letu. [16]

Ko je najden začetni mesec, opravimo izračun temperature (T) in porazdelitev nasičenega parnega tlaka za vsako vmesno ravnino. Porazdelitev temperature je prikazana na Sliki 10. Levi graf prikazuje potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d), desni graf pa potek temperature (T) v odvisnosti od toplotnega upora plasti (R). Nasičeni parni tlak (p_{sat}) za vsako vmesno ravnino izračunamo iz temperature (T) po enačbi (3.6) oziroma (3.7). [16]



Slika 10: Potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) in potek temperature (T) v odvisnosti od toplotnega upora plasti (R) [16]

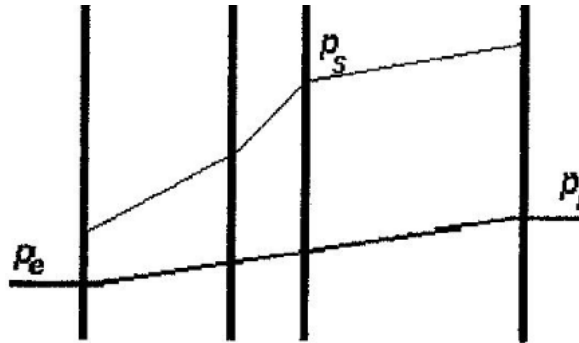
Opomba: $T = \theta$

3.2.3.3.4 Porazdelitev parnega tlaka

Narišemo prerez vsake plasti konstrukcijskega sklopa z debelino, ki naj bo enakovredna svoji difuzijski upornosti, ki je enakovredna debelini zračnega sloja (S_d). [16]

Narišemo ravno črto, ki povezuje nasičeni parni tlak (p) v vsaki vmesni ravnini med materiali. Če ni nabranega kondenzata iz prejšnjih mesecev, narišemo profil parnega tlaka (p) kot ravno črto med notranjim in zunanjim parnim tlakom (p_n in p_z). Če ta črta ne presega

nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) pri katerikoli vmesni ravnini, to pomeni, da je tlak vodne pare (p) v vsaki ravnini nižji od nasičenega parnega tlaka (p_{sat}), in da se kondenzacija ne pojavi (Slika 11). Izračunamo stopnjo pretoka vodne pare (g) skozi konstrukcijski sklop po enačbi (2.27). Če parni tlak (p) preseže nasičeni parni tlak (p_{sat}) pri katerikoli vmesni ravnini, narišemo parni tlak (p) kot serijo črt, ki se dotikajo, ampak ne presegajo nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) oziroma ga presegajo v čim manj točkah, kot je to mogoče. V ravninah, kjer parni tlak (p) doseže vrednost nasičenega parnega tlaka (p_{sat}), pride do pojava kondenzacije (Slika 12). [16]



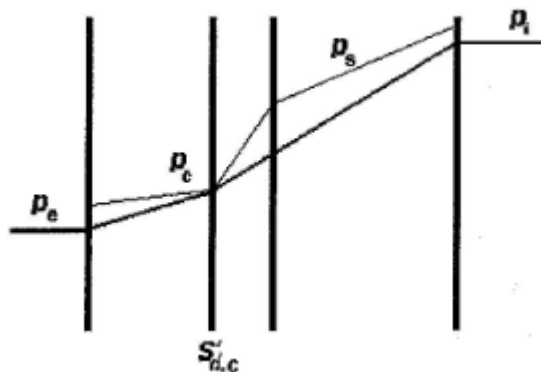
Slika 11: Prikaz poteka dejanskega parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) – mesec brez kondenzacije [16]

3.2.3.3.5 Stopnja kondenzacije

Za konstrukcijski sklop s kondenzacijo v eni vmesni ravnini (C) (Slika 12) izračunamo stopnjo kondenzacije (g_c) kot razliko med privedeno in odvedeno količino vlage iz vmesne ravnine (C). Izračunamo jo po enačbi:

$$g_c = \delta_0 \left(\frac{p_n - p_c}{S_{d,T} - S_{d,c}} - \frac{p_c - p_z}{S_{d,c}} \right) \quad (3.15)$$

Oznaka δ_0 predstavlja prepustnost vodne pare v zraku, v povezavi z delnim parnim tlakom, in znaša $\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10}$.



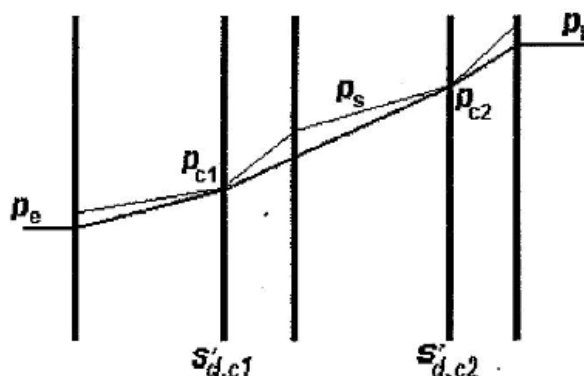
Slika 12: Prikaz poteka dejanskega parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) – mesec s kondenzacijo v eni vmesni ravnini [16]

Opomba: $p_i = p_n$, $p_e = p_z$

V konstrukcijskem sklopu, kjer se pojavlja kondenzacija v dveh vmesnih ravninah (C1 in C2) (Slika 13), stopnjo kondenzacije (g_{c1}) v ravnini C1 s parnim tlakom (p_{c1}) in stopnjo kondenzacije (g_{c2}) v ravnini C2 s parnim tlakom (p_{c2}) računamo po enačbah (3.16) in (3.17). [16]

$$g_{c1} = \delta_0 \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{S'_{d,c2} - S'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_z}{S'_{d,c1}} \right) \quad (3.16)$$

$$g_{c2} = \delta_0 \left(\frac{p_n - p_{c2}}{S'_{d,T} - S'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{S'_{d,c2} - S'_{d,c1}} \right) \quad (3.17)$$

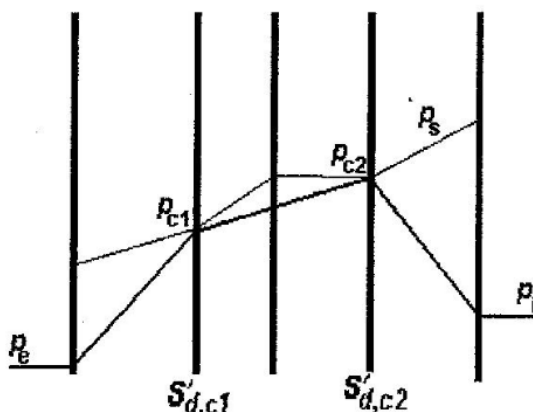


Slika 13: Prikaz poteka dejanskega parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) – mesec s kondenzacijo v dveh vmesnih ravninah [16]

3.2.3.3.6 Izparevanje

Če imamo kondenzat, nakopičen iz prejšnjih mesecev, v eni ali več vmesnih ravninah, je v teh ravninah parni tlak (p) enak nasičenemu tlaku (p_{sat}). Potek parnega tlaka (p) narišemo kot ravne črte med:

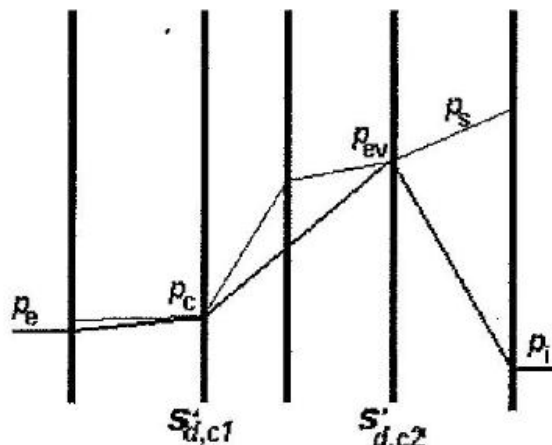
- vrednostmi, ki predstavljajo notranji parni tlak (p_n).
- vrednostmi v vmesni ravnini ali dveh vmesnih ravninah (p_{c1} , p_{c2}).
- vrednostmi, ki predstavljajo zunanji parni tlak (p_z) (Slika 14). [16]



Slika 14: Prikaz poteka dejanskega parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) – mesec, ko poteka izparevanje [16]

Izraza za stopnjo izparevanja in stopnjo kondenzacije sta enaka. Kondenzacija nastopi, če je vrednost izraza pozitivna, izparevanje pa, če je vrednost izraza negativna (enačbe (3.15), (3.16), (3.17)). [16]

V konstrukcijskem sklopu z dvema vmesnima kondenzacijskima ravninama lahko pride v določenih mesecih do primera, ko se v eni vmesni ravnini (C1) pojavi kondenzacija, v drugi vmesni ravnini (C2) pa izparevanje (Slika 15). V tem primeru je vrednost g_{c1} pozitivna, vrednost g_{c2} pa negativna. [16]



Slika 15: Prikaz poteka dejanskega parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) – mesec, ko v eni vmesni ravnini prihaja do kondenzacije v drugi vmesni ravnini pa do izparevanja [16]

3.2.3.3.7 Merila za ocenjevanje konstrukcijskega sklopa

Poročilo rezultatov izračuna naj bo v skladu z a), b) ali c) glede na to, čemu ustreza:

- Kondenzacija ni predvidena v nobeni vmesni ravnini v nobenem mesecu. V tem primeru poročamo o konstrukcijskem sklopu, kjer se kondenzacija zaradi difuzije vodne pare ne pojavi. [16]
- Kondenzacija se pojavi v eni ali več vmesnih ravninah, a je za vsako obravnavano vmesno ravnino predvideno, da bo ves kondenzat izhlapel v času poletnih mesecev. V tem primeru poročamo o maksimalni količini kondenza, ki se pojavi v vsaki vmesni ravnini, in o mesecu, v katerem se maksimum pojavi. Poročamo pa tudi o tveganju za razgradnjo gradbenih materialov in o poslabšanju toplotne učinkovitosti kot posledici nakopičenja vlage. To tveganje mora biti upoštevano v skladu z zakonskimi zahtevami in drugimi usmeritvami in standardi. [16]
- Vlaga, ki se je nakopičila zaradi kondenzacije v eni ali več vmesnih ravninah, v času poletnih mesecev ne izpari popolnoma. Poročamo, da konstrukcijski sklop ni prestal preizkusa ocenjevanja in določanja maksimalne količine vlage, ki se pojavi znotraj konstrukcijskega sklopa. [16]

3.2.3.3.8 Primeri izračuna difuzije vodne pare

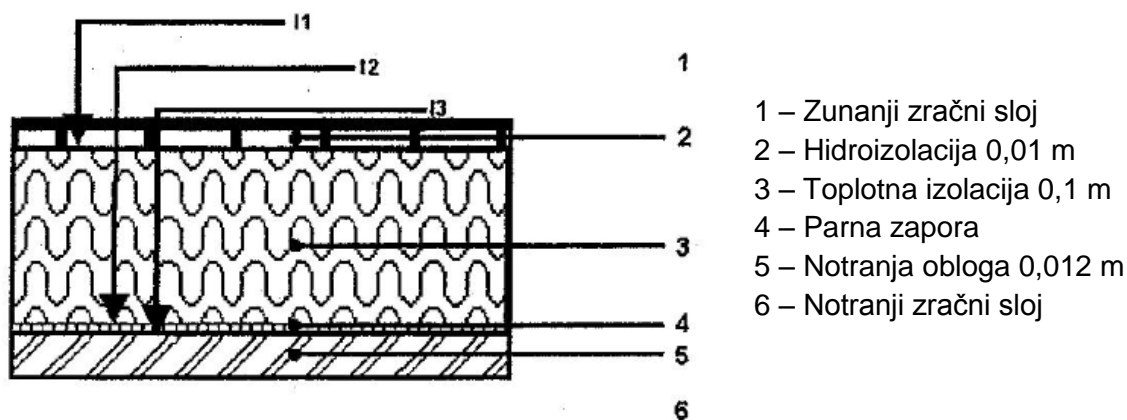
V Preglednici 7 so podani zunanji in notranji klimatski pogoji za primera izračuna difuzije vodne pare, ki ju navajamo v nadaljevanju.

Preglednica 7: Prikaz notranjih in zunanjih klimatskih pogojev [16]

Mesec	T_z	φ_z	T_n	φ_n
	[°C]	[-]	[°C]	[-]
Okt.	10	0,83	20,00	0,57
Nov.	5	0,88	20,00	0,57
Dec.	1	0,88	20,00	0,59
Jan.	-1	0,85	20,00	0,57
Feb.	0	0,84	20,00	0,58
Mar.	4	0,78	20,00	0,54
Apr.	9	0,72	20,00	0,51
Maj	14	0,68	20,00	0,51
Jun.	18	0,69	20,00	0,5
Jul.	19	0,73	20,00	0,56
Avg.	19	0,75	20,00	0,52
Sep.	15	0,79	20,00	0,56

1. primer: Konstrukcijski sklop s kondenzacijo v eni vmesni ravnini

Gre za primer ravne strehe z nepropustno membrano, prikazano na Sliki 16. V Preglednici 8 pa so prikazane naslednje lastnosti materiala: debelina (d), upor vodni pari (μ), toplotni upor (R) in debelina zračnega sloja, ki je po difuzijski upornosti enakovredna upornosti plasti gradbenega materiala (s_d). [16]



Slika 16: Prerez ravne strehe [16]

Preglednica 8: Prikaz lastnosti materialov za streho [16]

Material	d	μ	R	S_d
	[m]	[-]	[m ² K/W]	[m]
Zunanji zračni sloj			0,04	
Hidroizolacija	0,010	500000	0,05	5000
Toplotna izolacija	0,100	150	3	15
Parna zapora				1000
Notranja obloga	0,012	10	0,075	0,12
Notranji zračni sloj			0,13	

Analizirane so tri vmesne ravnine med sloji iz različnih materialov. V začetku izračunov je predvideno, da je vrednost nakopičene vlage (M_a) v vseh vmesnih ravninah enaka 0. V teh okoljskih pogojih v mesecu septembru ne prihaja do kondenzacije, v mesecu oktobru pa pri vmesni ravnini med toplotno izolacijo in hidroizolacijo parni tlak (p) presega nasičeni parni tlak (p_{sat}). Stopnja kondenzacije (g_c) je izračunana po enačbi (3.15).

Nakopičena količina vlage (q_1) ob koncu oktobra je prikazana v levem stolpcu Preglednice 9. Izračunana je kot produkt med stopnjo kondenzacije (g_c) in trajanjem (št. sekund v mesecu). Ta postopek je ponovljen za vsak naslednji mesec. Najvišja stopnja kondenzacije (g_c) se pojavi v mesecu januarju, kar pomeni, da se v tem mesecu nakopiči največja količina kondenza (q_1). Od aprila naprej postane stopnja kondenzacije negativna. To pomeni, da poteka izhlapevanje vlage, nakopičene v prejšnjih mesecih. Do konca julija vsa nakopičena vlaga izhlapi (Preglednica 9). [16]

Preglednica 9: Prikaz rezultatov za količino kondenzacije oziroma količino izsušene vlage (q_1) in skupno količino kondenzirane vodne pare ob koncu meseca (M_{a1}) [16]

Mesec	q_1	M_{a1}
	[Kg/m ²]	[Kg/m ²]
Okt.	0,00002	0,00002
Nov.	0,00021	0,00023
Dec.	0,00036	0,00058
Jan.	0,00038	0,00096
Feb.	0,00033	0,00129
Mar.	0,0002	0,0015
Apr.	-0,00003	0,00147
Maj	-0,00028	0,00119
Jun.	-0,00053	0,00066
Jul.	-0,00053	0,00013
Avg.	-0,00058	0
Sep.	0	0

Preglednica 10 prikazuje količino kondenzacije oziroma količino izhlapevanja (q_1) ter skupno količino nakopičene vlage ob koncu meseca (M_{a1}) v primeru, da je parna zapora odstranjena.

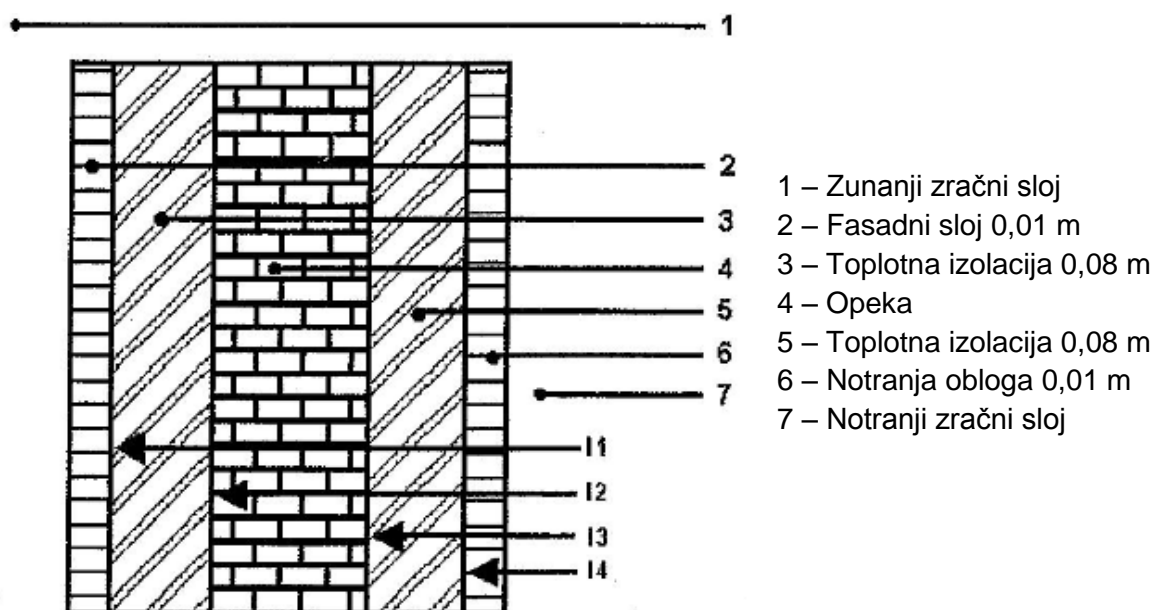
Začetek kondenzacije se pojavi v mesecu oktobru in vztraja do avgusta, a je količina kondenzacije (q_1) in skupna količina nakopičene vlage (M_{a1}) veliko večja kot v primeru, ko je parna zapora vgrajena. [16]

Preglednica 10: Prikaz rezultatov za količino kondenzacije oziroma količino izsušene vlage (q_1) in skupno količino kondenzirane vodne pare ob koncu meseca (M_{a1}) v primeru konstrukcijskega sklopa brez parne zapore [16]

Mesec	q_1	M_{a1}
	[Kg/m ²]	[Kg/m ²]
Okt.	0,00288	0,00288
Nov.	0,0149	0,01778
Dec.	0,0247	0,04248
Jan.	0,02621	0,06869
Feb.	0,02304	0,09173
Mar.	0,01499	0,10672
Apr.	0,00068	0,1074
Maj	- 0,01504	0,09236
Jun.	-0,03097	0,06139
Jul.	-0,03164	0,02975
Avg.	-0,03494	0
Sep.	0	0

2. primer: Konstrukcijski sklop s kondenzacijo v dveh vmesnih ravninah

V tem primeru je analizirana stena (Sliki 17), v Preglednici 11 pa so navedene naslednje lastnosti materiala: debelina (d), upor vodni pari (μ), toplotni upor (R) in debelina zračnega sloja, ki je po difuzijski upornosti enakovredna upornosti plasti gradbenega materiala (S_d).



Slika 17: Prerez stene [16]

Preglednica 11: Prikaz lastnosti materialov za steno [16]

Material	d	μ	R	S_d
	[m]	[-]	[m ² K/W]	[m]
Zunanji zračni sloj			0,04	
Fasadni sloj	0,010	100	0,01	1,00
Toplotna izolacija	0,080	2	2,5	0,16
opeka	0,130	22	0,6	2,86
Toplotna izolacija	0,080	2	2,5	0,16
Notranja obloga	0,010	10	0,05	0,10
Notranji zračni sloj			0,13	

Ob uporabi okoljskih podatkov iz Preglednice 7 je november določen kot začetni mesec. Parni tlak presega nasičeni parni tlak v ravnini med toplotno izolacijo in fasadno oblogo. Stopnja kondenzacije je izračunana po enačbi (3.15). [16]

Januarja se kondenzacija pojavi še pri vmesni ravnini med opeko in notranjo toplotno izolacijo. Stopnja kondenzacije je pri obeh ravninah določena z enačbama (3.16) in (3.17). [16]

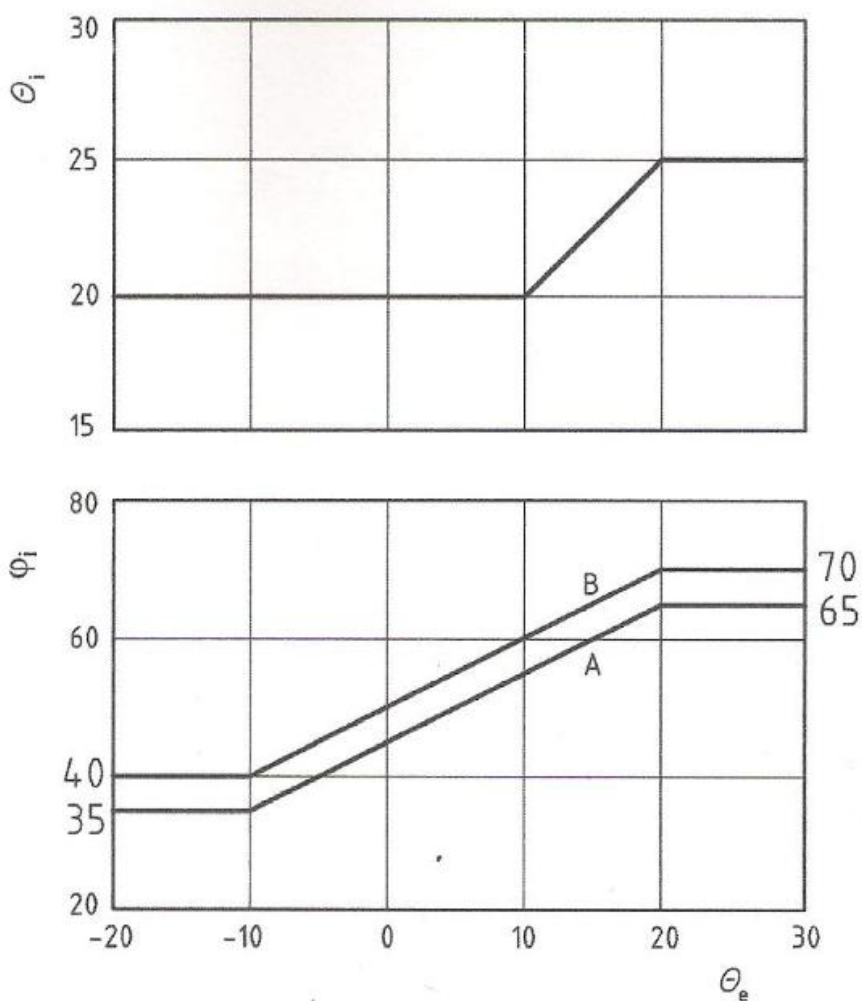
Kondenzacija v obeh ravninah poteka do konca februarja. V mesecu marcu poteka v ravnini med opeko in toplotno izolacijo izsuševanje, v drugi ravnini pa še vedno prihaja do kondenzacije. V aprilu in maju se vsa nakopičena vlaga (M_{a1}) izsuši (Preglednica 12). [16]

Preglednica 12: Prikaz rezultatov za količino kondenzacije oziroma količino izsušene vlage (q_1 in q_2) in skupno količino kondenzirane vodne pare ob koncu meseca (M_{a1} in M_{a2}) za dve vmesni ravnini [16]

Mesec	q_1	q_2	M_{a1}	M_{a2}
	[Kg/m ²]	[Kg/m ²]	[Kg/m ²]	[Kg/m ²]
Nov.	0,013	0	0,013	0
Dec.	0,07	0	0,083	0
Jan.	0,071	0,036	0,155	0,034
Feb.	0,058	0,004	0,213	0,037
Mar.	0,014	-0,527	0,226	0
Apr.	-0,164	0	0,062	0
Maj	-0,344	0	0	0
Jun.	0	0	0	0
Jul.	0	0	0	0
Avg.	0	0	0	0
Sep.	0	0	0	0
Okt.	0	0	0	0

3.3 Opis določitve notranje klime po standardu SIST EN ISO 13788:2013

Standard SIST EN ISO 13788:2013 opisuje še dodaten postopek določitve notranje temperature (T_n) in notranje relativne vlažnosti zraka (φ_n). V primeru, ko nimamo zanesljivih podatkov o notranji klimi, le-to določimo s pomočjo grafov na podlagi predvidene zasedenosti prostora in povprečne zunanje temperature (Slika 18). Ta postopek določitve notranjih klimatskih pogojev uporabljamo le za stanovanja in pisarne.[18]



- θ_i – notranja temperatura zraka, podana v °C
- θ_e – zunanja temperatura zraka, podana v °C
- φ_i – zunanja relativna zračna vlažnost, podana v %
- A – normalna zasedenost
- B – visoka zasedenost

Slika 18: Povprečna notranja temperatura (T_n) in relativna vlažnost notranjega zraka (φ_n) v odvisnosti od povprečne zunanje temperature (T_z) in zasedenosti prostora [18]

Opomba: $\theta_i = T_n$, $\theta_e = T_z$, $\varphi_i = \varphi_n$

4 OPIS PROGRAMSKEGA ORODJA PIDVP

Program smo poimenovali PIDVP, kar pomeni *Program za izračun difuzije vodne pare*. Izdelan je v programu Microsoft Office Excel 2007. Njegova izdelava je potekala po korakih, kot so opisani v standardu SIST EN ISO 13788:2002. Upoštevali smo vse določitve, ki jih ta standard navaja. Tako lahko s pomočjo programa PIDVP izračunamo oziroma določimo vse parametre, ki so opisani v omenjenem standardu. Notranje klimatske pogoje pa lahko določimo po poleg opisanih postopkih v standardu SIST EN ISO 13788:2002 še po dodatnem postopku, ki je naveden v novejšem standardu SIST EN ISO 13788:2013 (poglavje 3.3 Opis določitve notranje klime po standardu SIST EN ISO 13788:2013). Program ne omogoča izračunov nekaterih dodatnih primerov izračunov, ki so opisani v prenovljenem standardu SIST EN ISO 13788:2013. Gre za primere konstrukcijskih sklopov, ki vsebujejo vmesne zračne plasti in primer izsuševanja vlage, ki je bila vgrajena med izvedbo konstrukcijskega sklopa.

Poleg obeh omenjenih standardov smo pri izdelavi programa upoštevali še:

- Zakon o graditvi objektov – ZGO-1 (Uradni list RS, št. 110/02 z dne 18. 12. 2002)
- Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah – PURES 2010 (Uradni list RS, št. 52/2010 z dne 30. 06. 2010)
- Tehnična smernica za graditev objekta – TSG4 (TSG-1-004:2010: Učinkovita raba energije)

S pomočjo programa ugotavljamo vrednost notranje temperature (T_n) na površini gradbenega elementa, pod katero lahko nastaja plesen in/ali pride do nastajanja kondenzacije zaradi difuzije vodne pare znotraj konstrukcijskega sklopa pri določenih klimatskih pogojih. Če do kondenzacije pride, nam program posreduje naslednje podatke:

- kje znotraj konstrukcijskega sklopa nastaja kondenzacija;
- koliko mesecev v letu traja takšno stanje;
- količino kondenzacije v vsakem mesecu in skupno količino nabranega kondenza ob koncu vsakega meseca;
- ali se nakopičena vodna para do konca računskega obdobja izsuši;
- ali količina nakopičene vlage presega vrednosti, ki bi negativno vplivale na lastnosti materiala, v katerem se pojavlja kondenzacija.

Preverimo lahko, ali konstrukcijski sklopi, ki omejujejo ogrevane prostore, ustrezajo zahtevam TSG4 z vidika toplotne prehodnosti.

4.1 Vnašanje podatkov

Poleg materialnih in geometrijskih podatkov o sestavi konstrukcijskega sklopa moramo za preverjanje konstrukcijskega sklopa vnesti še kar nekaj podatkov, in sicer:

- vrsto konstrukcijskega sklopa stavbe, ki omejuje ogrevane prostore;
- smer toplotnega toka;
- zunanje klimatske pogoje;
- notranje klimatske pogoje, ki so odvisni od namembnosti stavbe oziroma prostorov.

Za lažje in preglednejše vnašanje podatkov smo na delovnem listu *PROGRAM* v programu Excel izdelali uporabniški vmesnik programa PIDVP, ki je prikazan na Sliki 19, z označenimi vnosnimi polji, spustnimi seznama in gumbi. Te oznake so opisane v nadaljevanju.

PROGRAM ZA IZRAČUN DIFUZIJE VODNE PARE PO STANDARDU SIST EN ISO 13788

GRADBENI ELEMENTI STAVBE, KI OMEJUJEJO NA OGREVANE PROSTORE

KONSTRUKCIJSKI SKLOP

svetlobniki, svetlobne kupole (do skupna 5% površine strehe)

strop proti podstrešju

NAVODILA

LEGENDA

PODAJTE GRADBENI MATERIAL, KOT SI SLEDI OD ZUNANJE (NEOGREVANE) STRANI PROTI NOTRAJNI (OGREVAN) STRANI

PODAJTE DEBELINO GRADBENEGA MATERIALA

1.	1.3. POLNA OPEKA (P=1200)	d=	0,3	m	ρ=	1200	Kg/m³	λ=	0,47	W/mK	μ=	5,0	R=	0,040	m²K/W	Sd=	1,50	m
2.	123.1. POLIURETANSKA PENA (P=15)	d=	0,1	m	ρ=	15	Kg/m³	λ=	0,03	W/mK	μ=	30,0	R=	4,000	m²K/W	Sd=	3,00	m
3.		d=		m	ρ=		Kg/m³	λ=		W/mK	μ=		R=	m²K/W	Sd=			m
4.		d=		m	ρ=		Kg/m³	λ=		W/mK	μ=		R=	m²K/W	Sd=			m
5.		d=		m	ρ=		Kg/m³	λ=		W/mK	μ=		R=	m²K/W	Sd=			m
6.		d=		m	ρ=		Kg/m³	λ=		W/mK	μ=		R=	m²K/W	Sd=			m
7.		d=		m	ρ=		Kg/m³	λ=		W/mK	μ=		R=	m²K/W	Sd=			m
8.		d=		m	ρ=		Kg/m³	λ=		W/mK	μ=		R=	m²K/W	Sd=			m
9.		d=		m	ρ=		Kg/m³	λ=		W/mK	μ=		R=	m²K/W	Sd=			m
10.		d=		m	ρ=		Kg/m³	λ=		W/mK	μ=		R=	m²K/W	Sd=			m
11.		d=		m	ρ=		Kg/m³	λ=		W/mK	μ=		R=	m²K/W	Sd=			m
12.		d=		m	ρ=		Kg/m³	λ=		W/mK	μ=		R=	m²K/W	Sd=			m
13.		d=		m	ρ=		Kg/m³	λ=		W/mK	μ=		R=	m²K/W	Sd=			m
14.		d=		m	ρ=		Kg/m³	λ=		W/mK	μ=		R=	m²K/W	Sd=			m

jan. feb. mar. apr. maj jun. jul. avg. sep. okt. nov. dec.

zunanja temperatura Tz [°C] 0 2 5 8 13 16 19 15 10 5 1

zunanja vlažnost φe [%] 70 67 70 74 76 79 74 74 83 79 74 72

notranja temperatura Tn [°C] 20

volumen prostora V [m³]

stopnja prezračevanja n [1/h]

stopnja proizvedene notranje vlage G [kg/h]

IZRAČUN

IZBRIŠI PODATKE

PRIKAZ REZULTATOV

ΣR= 0,13 m²K/W

ΣR= 4,808 m

ISd= 4,50 m

Slika 19: Vnos podatkov v programu PIDVP za izračun difuzije vodne pare

A – konstrukcijski sklopi stavbe

Vrsto konstrukcijskega sklopa, ki omejuje ogrevane prostore, izberemo s spustnega seznama A. V odvisnosti od konstrukcijskega sklopa je v TSG4 določeno, da toplotna prehodnost ne sme presegati vrednosti, navedenih v Preglednici 13. Program izračuna toplotno prehodnost podanega konstrukcijskega sklopa in preveri, ali ta ustreza tem pogojem.

Preglednica 13: Prikaz maksimalne dovoljene toplotne prehodnosti za konstrukcijske sklope stavb, ki omejujejo ogrevane prostore [15]

Konstrukcijski sklopi stavb, ki omejujejo ogrevane prostore	U_{max} [W/(m ² K)]
Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom	0,28
Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom – manjše površine, ki skupaj ne presegajo 10 % površine neprozornega dela zunanje stene	0,6
Stene, ki mejijo na ogrevane sosednje stavbe	0,5
Stene med stanovanji in stene proti stopniščem, hodnikom in drugim manj ogrevanim prostorom; notranje stene in stene med ogrevanimi prostori različnih enot, različnih uporabnikov ali lastnikov v nestanovanjskih stavbah	0,9
Zunanja stena ogrevanih prostorov proti terenu	0,35
Tla na terenu (ne velja za industrijske stavbe)	0,35
Tla nad neogrevano kletjo, neogrevanim prostorom ali garažo	0,35
Tla nad zunanjim zrakom	0,3
Tla na terenu in tla nad neogrevano kletjo, neogrevanim prostorom ali garažo pri panelnem oz. talnem ogrevanju (ploskovnem gretju)	0,3
Strop proti neogrevanemu prostoru, stropi v sestavi ravnih in poševnih streh (ravne in poševne strehe)	0,2
Terase manjše velikosti, ki skupaj ne presegajo 5 % površine strehe	0,6
Strop proti terenu	0,35
Vertikalna okna ali balkonska vrata in ogrevani zimski vrtovi z okvirji iz lesa ali umetnih mas in z okvirji iz kovin	1,3 in 1,6
Strešna okna, steklene strehe	1,4
Svetlobniki, svetlobne kupole (do skupnih 5 % površine strehe)	2,4
Vhodna vrata	1,6
Garažna vrata	2

B – smer toplotnega toka

Od smeri toplotnega toka so odvisne vrednosti uporov mejnih zračnih plasti. Smer toplotnega toka izberemo s spustnega seznama. Te vrednosti so podane v Preglednici 14 in se uporabljajo za izračun toplotne upornosti konstrukcijskega sklopa po enačbi:

$$R_T = R_n + \sum_{j=1}^N R_j + R_z \quad (4.1)$$

R_n je upor notranje mejne zračne plasti, R_z je upor zunanje mejne zračne plasti, R_j pa je upor gradbenih elementov.

Preglednica 14: Prikaz toplotnih uporov mejnih zračnih plasti v odvisnosti od smeri toplotnega toka [18]

Smer toplotnega toka	R_n	R_z
navzgor	0,10	0,04
vodoravno	0,13	0,04
navzdol	0,17	0,04

C – gradbeni materiali

Gre za spustne sezname, v katerih so navedeni gradbeni materiali. Ti so razvrščeni v sedem skupin. Materiale podajamo po vrsti, od zunanje (neogrevane) strani proti notranji (ogrevani) strani. Ko podamo gradbeni material, se nam izpišejo vrednosti za gostoto (ρ), toplotno prevodnost (λ) in difuzijsko upornost materiala vodni pari (μ). Ob teh količinah se nam v odvisnosti od podane debeline posameznega sloja prikažejo vrednosti za toplotni upor in upornost difuziji vodne pare. Vrednosti so povzete po TSG4, te pa se sklicujejo na različne standarde. Standard SIST EN ISO 13788:2002 vsebuje preglednico z navedbo standardov, v katerih so obravnavane posamezne lastnosti gradbenih materialov (Preglednica 15). Tabela mehanskih in fizikalnih lastnosti gradbenih materialov pa najdemo v Prilogi 1.

Preglednica 15: Prikaz standardov, v katerih so obravnavane posamezne lastnosti materialov [16]

Lastnost	Standard
Toplotna prevodnost (λ) in toplotna upornost (R)	Pridobljeno iz EN 12524 ali določeno v skladu z ISO 10456
Difuzijska upornost vodni pari (μ) Difuzija vodne pare = debelini zračnega sloja (Sd)	Pridobljeno iz EN 12524 ali določeno v skladu z ISO 12572

D – debelina posameznega sloja

Ob vsakem spustnem seznamu, kjer podamo material, je okence, kamor vnesemo debelino sloja. Podajamo jo v metrih.

E – hiperpovezava

Hiperpovezava na internetno stran (<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/pravilnik-ucinkoviti-rabi-energije/>), kjer dobimo podatke za zunanjo temperaturo in vlažnost zraka, ko vnesemo koordinate položaja analiziranega objekta.

F – Notranja temperatura

V okence vnesemo notranjo temperaturo zraka.

G – Volumen oziroma relativna vlažnost notranjega zraka

Če računamo konstrukcijski sklop, ki omejuje prostor, v katerem imamo nadzorovano vlažnost, potem podamo v okence vrednost za notranjo vlažnost. V primeru, ko imamo v prostoru nadzorovano oziroma nenadzorovano izmenjavo zraka, vpišemo v okence volumen prostora. Če izberemo v spustnem seznamu pod črko J, da se izračun izvaja na osnovi razredov notranje vlažnosti, pustimo okence G prazno. V tem primeru ob okencu G ni zapisa. Če v spustnem seznamu J izberemo eno od preostalih treh možnosti, se ob okvirčku G izpiše, kateri podatek moramo vnesti.

H – Zunanja temperatura

V okence vnesemo zunanjo temperaturo za vsak mesec v letu. Podamo jo, kot je opisano v standardu.

I – Zunanja zračna vlažnost

Podamo relativno vlažnost zunanjega zraka.

J – Namen prostora

Prostori v stavbi služijo različnim dejavnostim. Na podlagi predvidene dejavnosti prostora in ali je ta naravno ali mehansko prezračevan oziroma, ali gre za prostor s konstantno nadzorovano vlažnostjo, se nato izračuna notranja relativna vlažnost zraka, notranji parni tlak in notranji nasičeni parni tlak, kot je predvideno v standardu SIST EN ISO 13788:2002. V primeru, ko nimamo zanesljivih podatkov o notranji klimi, standard SIST EN ISO 13788:2013 opisuje postopek določitve notranje temperature in vlažnosti zraka na osnovi zasedenosti prostora in zunanje temperature zraka.

K – Razred notranje vlažnosti oziroma stopnja zasedenosti prostora

V kolikor analiziramo konstrukcijski sklop na podlagi razredov notranje vlažnosti, s spustnega seznama izberemo razred notranje vlažnosti. Če je prostor namenjen na primer skladišču, je notranja zračna vlažnost nižja, kot če se v prostoru zadržuje veliko število ljudi. Program določi notranjo vlažnost zraka, kot je opisano v opisu standarda SIST EN ISO 13788:2002. Če pa smo v spustnem seznamu izbrali, da se notranja klima določi na osnovi zasedenosti prostora, določimo v tem spustnem seznamu stopnjo zasedenosti.

L - Stopnja prezračevanja

Če bomo izvedli izračun na osnovi nadzorovane izmenjave zraka, v okence vnesemo stopnjo prezračevanja. V nasprotnem primeru pustimo okence prazno.

M – Stopnja proizvedene vlage

Če analiziramo konstrukcijski sklop, ki omejuje prostor, ki je mehansko ali naravno prezračevan, vnesemo v okence stopnjo proizvedene notranje vlage v kg/h. V primeru analize z razredi notranje vlažnosti ali nadzorovane notranje vlažnosti pustimo okence prazno.

N – Izbris podatkov

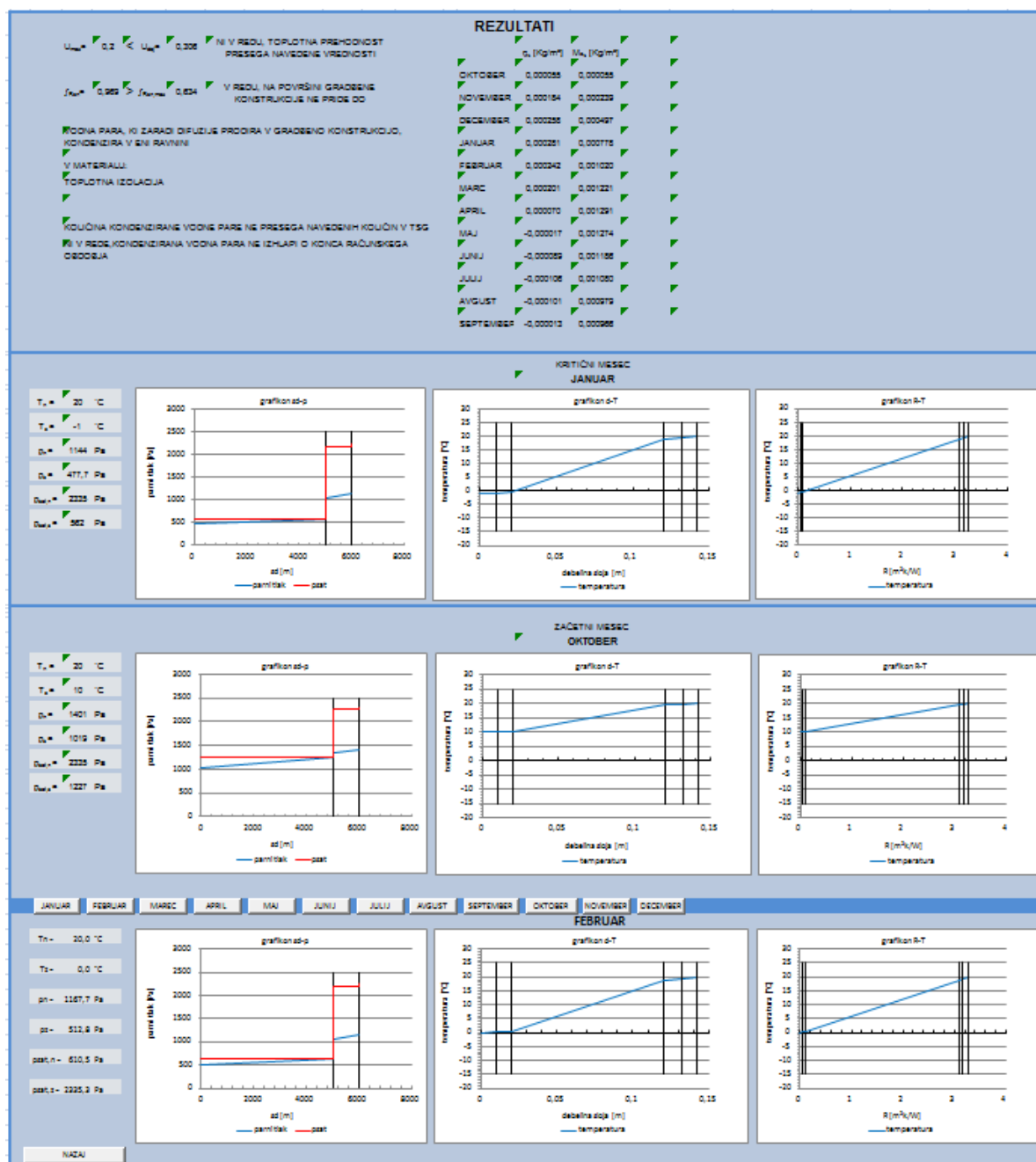
Z gumbom zbrisemo vse vnesene podatke.

O – Izračun

Ko vnesemo vse želene podatke za obravnavan konstrukcijski sklop, pritisnemo gumb *Izračun*.

P – Prikaz rezultatov

S pritiskom na gumb *Prikaz rezultatov* se nam prikažejo rezultati izračuna na delovnem listu *REZULTATI* (Slika 20). Ta list lahko tudi odpremo, in sicer s klikom nanj v spodnjem levem kotu programa Excel.



Slika 20: Prikaz rezultatov v programu PIDVP

4.2 Izračuni

Vsi izračuni se izvajajo na delovnem listu *IZRAČUNI*. Razdeljeni so na področja, ki so navedena v nadaljevanju.

4.2.1 Toplotna prehodnost

Ko vnesemo posamezne plasti konstrukcijskega sklopa in debeline le-teh, se njihove fizikalne lastnosti preslikajo na delovni list *IZRAČUNI*. Program na podlagi teh podatkov za celotni konstrukcijski sklop izračuna njegovo debelino, skupni toplotni upor in upor difuziji vodne pare. Nato izračuna še toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa, za katero se preverja, ali ustreza pogojem glede na izbrani konstrukcijski sklop, ki omejuje ogrevane prostore po določilih TSG4 (Slika 21).

IZRAČUN TOPLOTNE PREHODNOSTI KONSTRUKCIJSKEGA SKLOPA					
št.sloja	d	λ	μ	R	S_d
1.				0,04	
2.	0,120	0,790	13	0,151898734	1,56
3.	0,080	0,039	1,1	2,051282051	0,09
4.	0,290	0,610	6	0,475409836	1,74
5.	0,080	0,040	1,6	2	0,13
6.	0,012	0,210	12	0,057142857	0,14
7.	0,000	0,000	0	0	0,00
8.	0,000	0,000	0	0	0,00
9.	0,000	0,000	0	0	0,00
10.	0,000	0,000	0	0	0,00
11.	0,000	0,000	0	0	0,00
12.	0,000	0,000	0	0	0,00
13.	0,000	0,000	0	0	0,00
14.	0,000	0,000	0	0	0,00
15.	0,000	0,000	0	0	0,00
16.				0,13	
0,582		1,689		4,905733479	3,66
U _{max} =		0,280			
U =		0,204			
KS		OK			

Slika 21: Prikaz vmesnih rezultatov in rezultata izračuna toplotne prehodnosti s programom PIDVP

4.2.2 Kritični mesec

Ko vnesemo zunanjo temperaturo (T_e) in zunanjo relativno vlažnost zraka (φ_e) ter določimo namen prostora oziroma na kakšni osnovi se bo izračunala notranja relativna vlažnost (φ_i), se na podlagi teh podatkov za vsak mesec izračuna temperaturni faktor ($f_{Rsn, min}$). Program najde, v katerem mesecu nastopi maksimalna vrednost za faktor $f_{Rsn, max}$ ter izračuna faktor f_{Rsn} . Preveri tudi, če velja pogoj $f_{Rsn} > f_{Rsn, max}$ (Slika 22). Vsi izračuni se izvajajo na način, ki je prikazan v poglavju 3.2.2 Izračun temperature na površini za preprečitev kritične vlažnosti.

Če imamo primer, kjer velja, da je v katerem od mesecev zunanja in notranja temperatura enaka, program določi, da je zunanja temperatura nižja za 0,01 °C. To naredi zato, ker je faktor $f_{Rsn, min}$ izračunan po naslednji enačbi:

$$f_{Rsn, min} = \frac{T - T_z}{T_n - T_z} \quad (4.2)$$

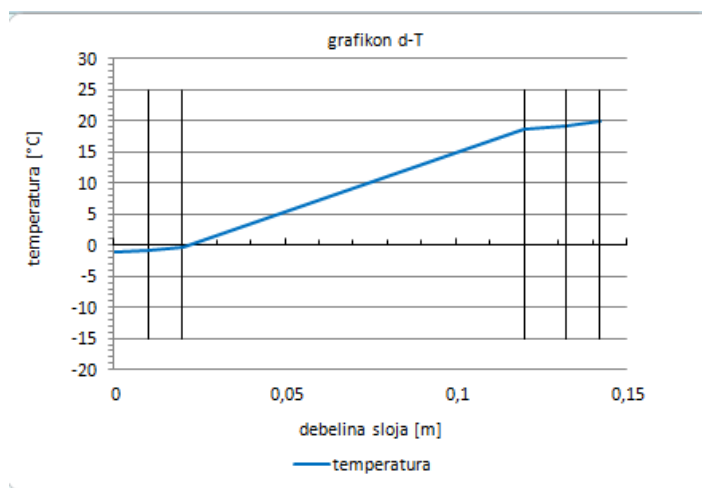
V tem primeru bi veljalo, da je delitelj enak 0.

TABELA IZRAČUNA FAKTORJA $f_{Rsn, max}$													
MESESEC	zun.temp. T _z [°C]	zun.vlažnost φ _z [-]	not.temp. T _n [°C]	not.vlažnost φ _n [-]	n 1/h	nasicen.p.t.z. p _{sat} (T _z) [Pa]	zun.p.tlak p _z [Pa]	nasicen.p.t.n. p _{sat} (T _n) [Pa]	not.p.tlak p _n [Pa]	temp.not.pov. T _{sn, min} [°C]	presežen.p.tlak p _{sat} (T _{min}) [Pa]	Δ p [Pa]	faktor f _{Rsn} [-]
Januar	-1	0,81	20,00	0,65	FALSE	567,48	459,66	2335,32	1517,96	16,68	1897,44	FALSE	0,842
Februar	1	0,76	20,00	0,65	FALSE	656,38	498,85	2335,32	1517,96	16,68	1897,44	FALSE	0,825
Marec	5	0,74	20,00	0,65	FALSE	871,86	645,18	2335,32	1517,96	16,68	1897,44	FALSE	0,779
April	9	0,71	20,00	0,65	FALSE	1147,45	814,69	2335,32	1517,96	16,68	1897,44	FALSE	0,698
Maj	14	0,73	20,00	0,65	FALSE	1597,73	1166,34	2335,32	1517,96	16,68	1897,44	FALSE	0,446
Junij	17	0,73	20,00	0,65	FALSE	1936,65	1413,75	2335,32	1517,96	16,68	1897,44	FALSE	-0,107
Julij	19	0,74	20,00	0,65	FALSE	2196,15	1625,15	2335,32	1517,96	16,68	1897,44	FALSE	-2,322
Avgust	18	0,77	20,00	0,65	FALSE	2062,83	1588,38	2335,32	1517,96	16,68	1897,44	FALSE	-0,661
September	14	0,81	20,00	0,65	FALSE	1597,73	1294,16	2335,32	1517,96	16,68	1897,44	FALSE	0,446
Oktober	9	0,82	20,00	0,65	FALSE	1147,45	940,91	2335,32	1517,96	16,68	1897,44	FALSE	0,698
November	4	0,83	20,00	0,65	FALSE	812,85	674,66	2335,32	1517,96	16,68	1897,44	FALSE	0,792
December	0	0,85	20,00	0,65	FALSE	610,50	518,93	2335,32	1517,96	16,68	1897,44	FALSE	0,834

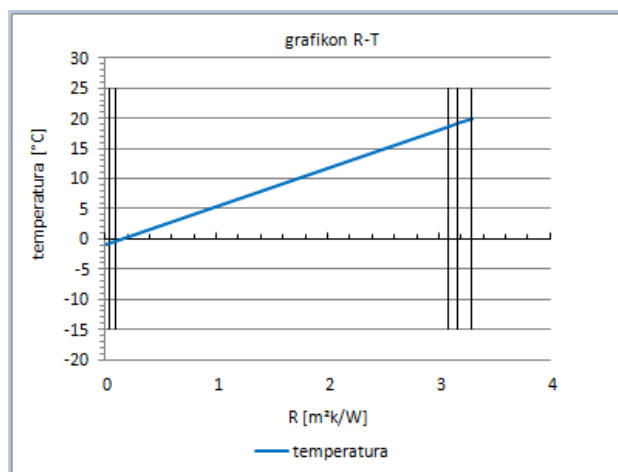
Slika 22: Prikaz rezultatov izračuna parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) ter določitve kritičnega meseca s programom PIDVP

4.2.3 Izračun temperature med vsako plastjo

Za vsak mesec program izračuna temperaturo (T) med vsako plastjo gradbenega elementa, ki sestavlja konstrukcijski sklop, ter izriše graf poteka temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) (Slika 23) in graf poteka temperature (T) v odvisnosti od toplotnega upora (R) (Slika 24).



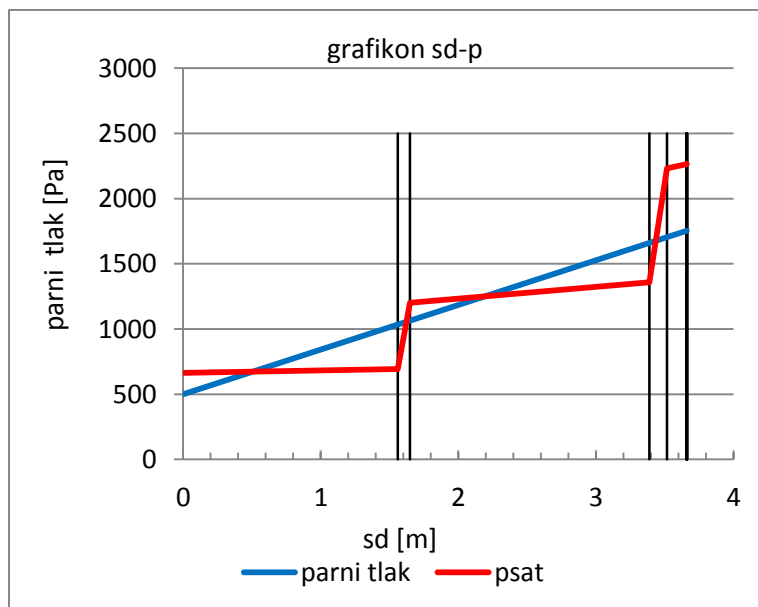
Slika 23: Prikaz poteka temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d), izrisan v programu PIDVP



Slika 24: Prikaz poteka temperature (T) v odvisnosti od toplotnega upora plasti (R), izrisan v programu PIDVP

4.2.4 Izračun parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat})

Program izračuna parni tlak (p) in nasičeni parni tlak (p_{sat}) za vsako ravnino med sloji materiala za vsak mesec ter izriše graf v odvisnosti od debeline zračnega sloja z ekvivalentno difuzijo vodne pare (S_d). Nato preveri, če parni tlak (p) v kateri od ravnin za posamezni mesec preseže nasičeni parni tlak (p_{sat}). To vidimo tudi na primeru grafa, prikazanega na Sliki 25.



Slika 25: Prikaz izrisa poteka parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) iz programa PIDVP

4.2.5 Določanje začetnega meseca

Če v nobenem mesecu parni tlak (p) ne doseže vrednosti nasičenega parnega tlaka (p_{sat}), to pomeni, da ne pride do kondenzacije, zato je začetni mesec lahko katerikoli mesec. V

nasprotnem primeru pa program poišče začetni mesec tako, da najde prvi mesec v letu, v katerem je parni tlak (p) enak nasičenemu parnemu tlaku (p_{sat}). To naredi tako, da preveri za vsako posamezno plast, ali je parni tlak (p) nižji od nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) in izpiše 0 oziroma 1, če je parni tlak (p) enak ali večji od nasičenega parnega tlaka (p_{sat}). V mesecu, v katerem so izpisane samo ničle, ni prišlo do kondenzacije. Če pa se izpiše za katerega od mesecev ena ali celo dve enki, pa to pomeni, da je prišlo v eni oziroma dveh ravninah do kondenzacije. Začetni mesec je tisti, pri katerem se je izpisala vsaj ena enka, pri predhodnem mesecu pa so bile izpisane samo ničle.

4.2.6 Izračun stopnje kondenzacije

Program porazdeli mesece po vrsti tako, da začne z začetnim mesecem. Preveri, če je v kateri od ravnin parni tlak (p) enak nasičenemu parnemu tlaku (p_{sat}) in na podlagi tega izračuna stopnjo kondenzacije oziroma izparevanja. Ta izračun je enak izračunu, opisanemu v poglavju 3.2.3.3.5 Stopnja kondenzacije.

4.2.7 Količina kondenzata

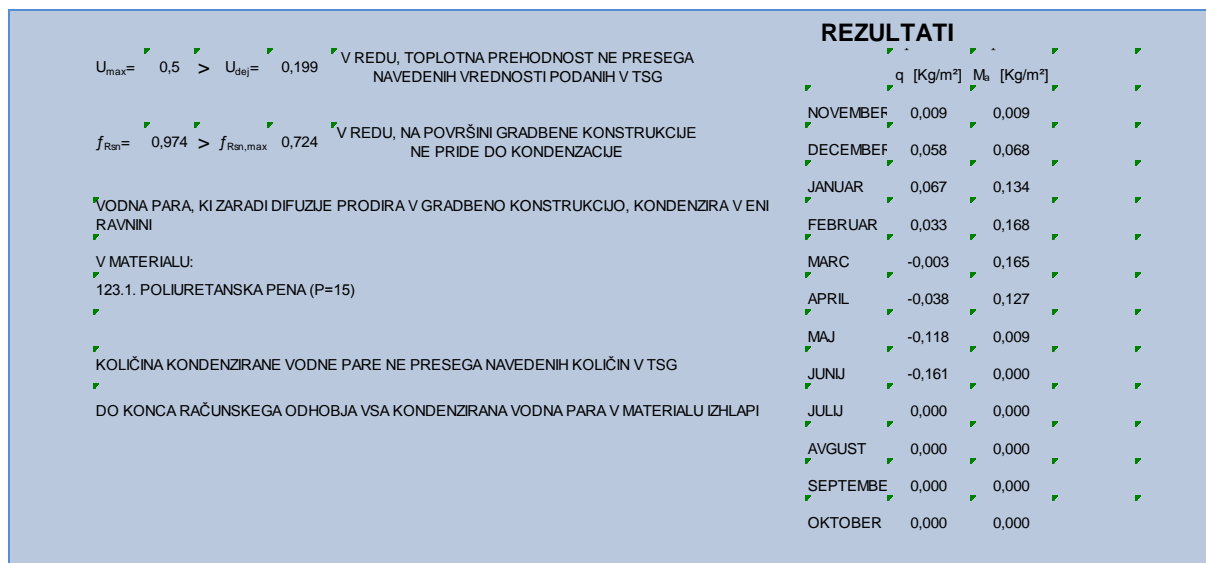
Količina nabranega kondenzata v vmesni ravnini je izračunana tako, da je stopnja kondenzacije pomnožena s časom trajanja takšnega stanja in prišteta prejšnjemu mesecu. Tako je za vsak konec meseca izračunana količina vode, nabrane v vmesni ravnini, kjer prihaja do kondenzacije.

4.2.8 Preverjanje, ali je količina kondenzata v mejah dopustnega

Za gradbene materiale je v standardu SIST EN ISO 13788:2002 in TSG4 določeno, kolikšna je lahko maksimalna vlažnost gradbenega materiala. Te vrednosti so v programu prikazane na delovnem listu *PRIOLOGE*. Program preveri, ali so izračunane vrednosti nižje od dopustnih.

4.3 Prikaz rezultatov

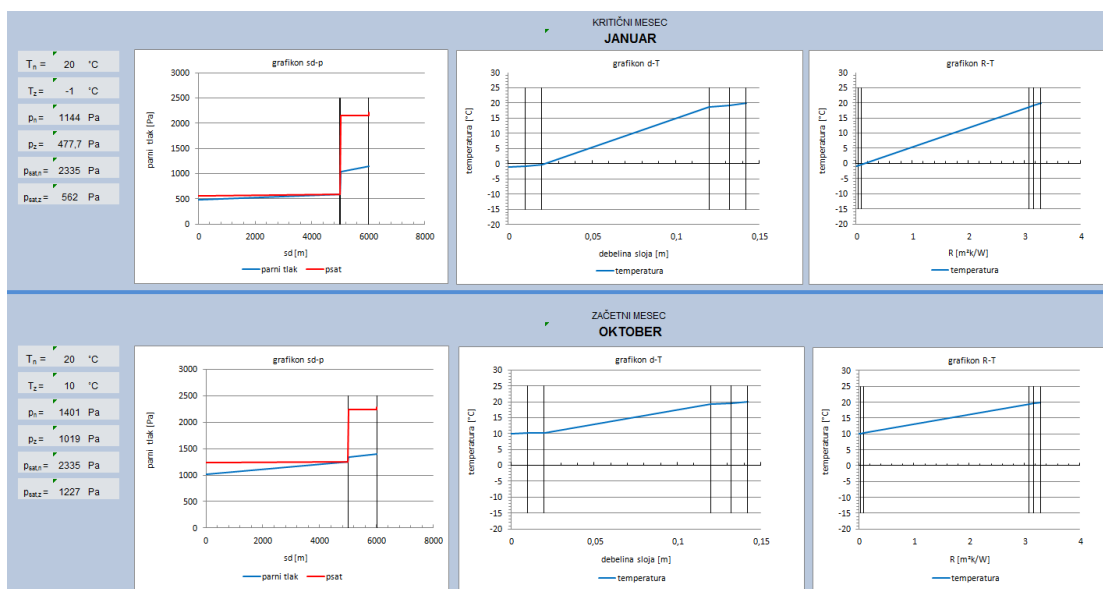
Zaradi boljše preglednosti se izbrani rezultati izpišejo še na delovnem listu *REZULTATI*. Tukaj so prikazani le bistveni končni rezultati. V zgornjem delu se nam izpiše primerjava med maksimalno dovoljeno toplotno prehodnostjo (U_{max}) in dejansko vrednostjo toplotne prehodnosti (U_{dej}). Ob tej primerjavi se izpiše še komentar, ali toplotna prehodnost presega ali ne presega vrednosti, navedene v TSG4 (Preglednica 13). Prikazana je primerjava med faktorjem f_{Rsn} in faktorjem $f_{\text{Rsn,max}}$ ter komentar, ali pride do kondenzacije na površini konstrukcijskega sklopa ali ne. Pod temi rezultati nam program izpiše, ali v konstrukcijskem sklopu pride do kondenzacije zaradi difuzije vodne pare. Če do te pride, izpiše tudi, kje v materialu se pojavi in ali količina kondenzirane vodne pare presega vrednosti, navedene v TSG4. Poleg tega nam program prikaže, ali do konca računskega obdobja kondenzirana vodna para izhlapi ali ne. Ob teh rezultatih je prikazana količina kondenzacije (q) in skupna količina nabranega kondenzata (M) za vsak posamezni mesec, kot si sledijo po vrsti od določenega začetnega meseca. Iz te razpredelnice lahko razberemo, kateri so tisti meseci, v katerih prihaja do kondenzacije, če do te sploh pride, in v katerih mesecih poteka izsuševanje (Slika 26).



Slika 26: Prikaz pomembnejših rezultatov iz programa PIDVP

Slika 27 prikazuje rezultate za kritični in za začetni mesec. Prikazano je sledeče: notranja in zunanja temperatura (T_n , T_z), notranji in zunanji parni tlak (p_n , p_z) ter notranji in zunanji nasičeni parni tlak ($p_{sat,n}$, $p_{sat,z}$). Poleg tega so izrisani grafi:

- poteka parnega (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) v odvisnosti od zračnega sloja, ekvivalentnega difuziji vodne pare (S_d);
- poteka temperature (T) v odvisnosti od debeline gradbenega materiala (d) in
- poteka temperature (T) v odvisnosti od temperaturne upornosti gradbenega materiala (R).



Slika 27: Prikaz pomembnejših rezultatov in izris grafov s programom PIDVP

Vsi ti rezultati se nam izpišejo za vsak izbrani mesec. Izberemo ga tako, da kliknemo na gumb z imenom meseca.

5 Primerjava izračunov med programoma PIDVP in KI Energija 2014

5.1 Opis programa KI Energija 2014

KI Energija 2014 je komercialni program, dostopen na spletni strani podjetja Knauf Insulation Slovenija: <http://www.knaufinsulation.si/program-ki-energija-2014>. [20]

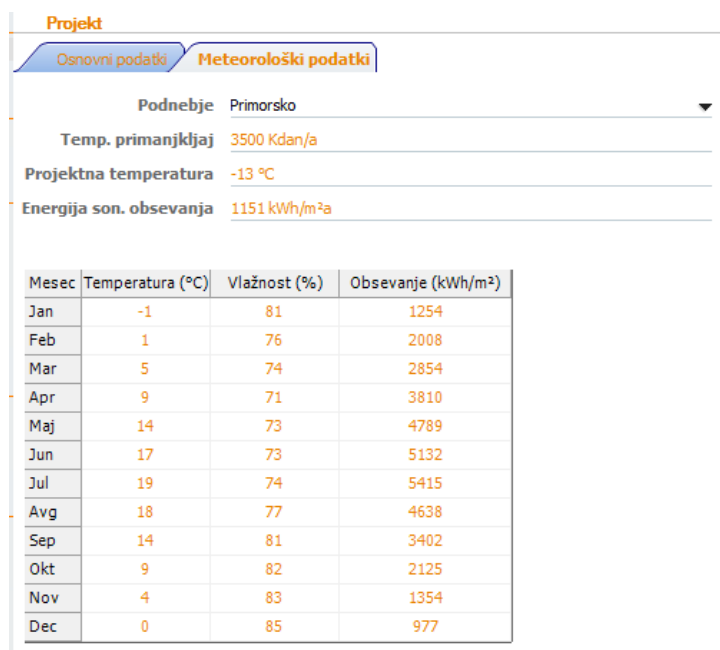
Program je zasnovan na podlagi naslednjih dokumentov:

- Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah – PURES 2010 (Uradni list RS, št. 52/2010 z dne 30. 06. 2010)
- Tehnična smernica za graditev objekta – TSG4 (TSG-1-004:2010: Učinkovita raba energije)
- Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb (Uradni list RS, št. 92/2014, z dne 19. 12. 2014)
- Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb (Uradni list RS, št. 93/2012) [19]

Namenjen je celoviti analizi objekta od arhitekturnega načrtovanja in načrtovanja sestave konstrukcijskih sklopov do analize strojnih inštalacij.

Mi smo s pomočjo tega programa analizirali konstrukcijske sklope le z vidika difuzije vodne pare in toplotne prehodnosti. Rezultate smo primerjali z rezultati, dobljenimi s pomočjo programa PIDVP.

Ob vnosu lokacije kraja program postreže z meteorološkimi podatki (Slika 28).



Mesec	Temperatura (°C)	Vlažnost (%)	Obsevanje (kWh/m²)
Jan	-1	81	1254
Feb	1	76	2008
Mar	5	74	2854
Apr	9	71	3810
Maj	14	73	4789
Jun	17	73	5132
Jul	19	74	5415
Avg	18	77	4638
Sep	14	81	3402
Okt	9	82	2125
Nov	4	83	1354
Dec	0	85	977

Slika 28: Primer prikaza zunanje temperature in vlažnosti zraka za izbrano lokacijo iz programa KI Energija 2014 [20]

V izbirni vrstici *CONE* vnesemo podatke o namembnosti zgradbe, številu etaž, velikosti, notranji temperaturi in vlažnosti zraka, načinu gradnje ... Zbiramo lahko med različnimi načini prezračevanja (Slika 29).

PROJEKT Cona

Odpri

CONE

Odpri

KONSTRUKCIJE

Zunanje
Streha
Tla
Okna vrata
Toplotni mostovi
Notranje

ANALIZA

Konstrukcije
Cone
Stavbe

SISTEMI

Prezračevanje
Ogrevanje
Topla voda
Hlajenje
Razsvetljava
OVE

IZKAZ

Stavbe

Namembnost Bivalna enota v stavbi za posebne namene

Naziv Stanovanjska hiša **Št. etaž** 1

Bruto ogrevana prostornina 250 m³ **Višina etaže** 2,8 m

Neto ogrevana prostornina 250 m³ **Širina** 9,8 m

Neto uporabna površina 250 m² **Dolžina** 17,95 m

Št. stanovanj 1

Ogrevana s prekinitvami Da Ne

Notranja temperatura pozimi 20 °C **poleti** 20 °C

Notranji viri pozimi 4 W/m² **poleti** 5,2 W/m²

Način gradnje Srednjetežka gradnja (ro zunanega zidu >= 600 kg/m³)

Vlažnost zraka 60 %

Barva fasade Svetla

Prezračevanje Mehansko

Št. izmenjav zraka pozimi 0 h⁻¹ **poleti** 0 h⁻¹

Prezračevanje pozimi 0,5 m³/h **poleti** 0,5 m³/h

Št. izmenjav zraka pri 50 Pa 0,5 h⁻¹

Lega Podeželje

Zavetrovanost fasad Vetru izpostavljena ena fasada

Predgrevanje/predhlajenje Da Ne

Slika 29: Prikaz vnosa vhodnih podatkov v programu KI Energija 2014 [20]

Nato izberemo tip konstrukcijskega sklopa ter podamo sestavo (Slika 30). Program vsebuje velik nabor različnih materialov. Ponuja pa tudi možnost, da sami podamo materiale in njihove lastnosti. Nato lahko izvedemo analizo konstrukcije s klikom na gumb *analiziraj*. Program nam postreže s podatki o temperaturi, toplotni prehodnosti, parnemu tlaku in difuzijskemu obnašanju konstrukcijskega sklopa (Slika 31).

Konstrukcija

Tip konstrukcije Zunanja stena

Naziv Zunanja stena 1. primer

Površina 178 m² **Temp. in vlažnost notranjega zraka**

Prezračevana Da Ne **Smer** S

Skupina materialov

Material v skupini

Material

Debelina sloja cm

U= 0,219 W/m²K Umax= 0,280 W/m²K

Materiali (prvi slojje znotraj)	Debelina (cm)	λ (W/mK)	μ	ρ (kg/m ³)	sd (m)
Podaljšana apnena malta (1800)	2	0,87	20	1800	0,40
Mrežasta in votla opeka (1400)	29	0,61	6	1400	1,74
Cementna malta	0,5	1,4	30	2100	0,15
steklena volna KNAUF INSULATION UN	12	0,032	1,2	30	0,14
Klinker op.-polna,izv. (1700)	12	0,79	30	1700	3,60

Slika 30: Prikaz vnosa vhodnih podatkov v programu KI Energija 2014 [20]

Analiza konstrukcije: Zunanja stena 1. primer Nazaj na konstrukcijo

Ime	sd	Jan		Feb		Mar		Apr		Maj		Jun	
		T	Ma	T	Ma	T	Ma	T	Ma	T	Ma	T	Ma
Prostor		20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0
Notranja površina		18,9	0	19	0	19,2	0	19,4	0	19,7	0	19,8	0
Podaljšana apnena malta (1800)	0,400	18,8	0	18,9	0	19,1	0	19,4	0	19,7	0	19,8	0
Mrežasta in votla opeka (1400)	0,870	17,7	0	17,9	0	18,4	0	18,8	0	19,3	0	19,7	0
Mrežasta in votla opeka (1400)	0,870	16,7	0	17	0	17,6	0	18,2	0	19	0	19,5	0
Cementna malta	0,150	16,6	0	17	0	17,6	0	18,2	0	19	0	19,5	0
steklena volna KNAUF INSULATION UNIF	0,010	15,5	0	15,9	0	16,8	0	17,7	0	18,7	0	19,4	0

temperatura [°C]
 skupna količina kondenzata Ma [kg/m²]
 mesečna količina kondenzata gc [kg/m²]
 pdej [Pa]
 pnas [Pa]

Povzetek analize

U	0,219 W/m ² K	✓
U _{max}	0,280 W/m ² K	
Največja mesečna količina kondenzata	0,758 kg/m ²	✗
Kondenzacija na površini	Na površinah ne pride do kondenzacije	✓
Kondenzacija v konstrukciji	Kondenzacija ni veljavna	✗
Faktor površinske temperature	0,95	✓

Tiskaj

Analiza
Temperature v konst.
Difuzija vodne pare

Slika 31: Prikaz rezultatov v programu KI Energija 2014 [20]

5.2 Primerjava rezultatov

Da bi se prepričali o pravilnem delovanju programa PIDVP, smo naredili primerjavo rezultatov, pridobljenih s tem programom, in rezultatov, ki so prikazani v standardu SIST EN ISO 13788:2002 za nekaj različnih primerov. V standardu ISO 13788:2012 je opisan enak primer izračuna, kot je opisan v prilogi C standarda SIST EN ISO 13788:2002, vendar standard ISO 13788:2012 vsebuje tudi graf poteka dejanskega parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}). Ta graf smo primerjali z grafom, ki nam ga izriše program PIDVP. Nekaj primerjav pa smo izvedli tudi s programom KI Energija 2014. Preverili smo vsako količino posebej in zraven izračunali ujemanje rezultatov v odstotkih. Te primerjave so prikazane v preglednicah v nadaljevanju.

1. primer izračuna temperaturnega faktorja v izogib kritični vlažnosti z uporabo razredov notranje vlažnosti zraka:

Primerjava rezultatov prvega primera iz Priloge B standarda SIST EN ISO 13788:2002 (v poglavju 3.2.2.2 Načrtovanje za preprečitev nastanka plesni) in rezultatov, pridobljenih s programom PIDVP (Preglednice 16 do 18).

Preglednica 16: Vhodni podatki za 1. primerjavo

Mesec	T_z	φ_z	T_n
	[°C]	[-]	[°C]
Jan.	2,8	0,92	20
Feb.	2,8	0,88	20
Mar.	4,5	0,85	20
Apr.	6,7	0,8	20
Maj	9,8	0,78	20
Jun.	12,6	0,8	20
Jul.	14	0,82	20
Avg.	13,7	0,84	20
Sep.	11,5	0,87	20
Okt.	9	0,89	20
Nov.	5	0,91	20
Dec.	3,5	0,92	20

Preglednica 17: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002

Mesec	PIDVP	Standard		PIDVP	Standard	
	p_z	p_z	Ujemanje rezultatov	p_n	p_n	Ujemanje rezultatov
	[Pa]	[Pa]	[%]	[Pa]	[Pa]	[%]
Jan.	686,89	683	99,4	1453,15	1451	99,9
Feb.	657,03	657	100,0	1423,29	1423	100,0
Mar.	715,50	709	99,1	1406,02	1402	99,7
Apr.	784,52	788	99,6	1377,04	1380	99,8
Maj	944,21	941	99,7	1398,62	1398	100,0
Jun.	1166,06	1162	99,7	1495,73	1491	99,7
Jul.	1309,48	1302	99,4	1576,78	1571	99,6
Avg.	1315,54	1317	99,9	1596,21	1598	99,9
Sep.	1179,45	1183	99,7	1558,13	1560	99,9
Okt.	1020,90	1017	99,6	1510,95	1507	99,7
Nov.	793,25	788	99,3	1461,50	1458	99,8
Dec.	721,81	719	99,6	1456,89	1456	99,9

Preglednica 18: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002

Mesec	PIDVP	Standard		PIDVP	Standard		PIDVP	Standard	
	Δp	Δp	Ujemanje rezultatov	$T_{sn, min}$	$T_{sn, min}$	Ujemanje rezultatov	f_{Rsn}	f_{Rsn}	Ujemanje rezultatov
	[Pa]	[Pa]	[%]	[°C]	[°C]	[%]	[-]	[-]	[%]
Jan.	696,60	698	99,8	15,99	16	100,0	0,767	0,766	99,9
Feb.	696,60	697	99,9	15,67	15,7	99,8	0,748	0,748	100,0
Mar.	627,75	630	99,6	15,48	15,4	99,5	0,708	0,706	99,7
Apr.	538,65	538	99,9	15,15	15,2	99,7	0,636	0,638	99,6
Maj	413,10	415	99,5	15,40	15,4	100,0	0,549	0,55	99,7
Jun.	299,70	299	99,8	16,45	16,4	99,7	0,520	0,513	98,7
Jul.	243,00	244	99,6	17,28	17,2	99,6	0,546	0,538	98,5
Avg.	255,15	256	99,7	17,47	17,5	99,8	0,599	0,602	99,4
Sep.	344,25	343	99,6	17,09	17,1	99,9	0,658	0,659	99,8
Okt.	445,50	446	99,9	16,60	16,6	100,0	0,691	0,688	99,5
Nov.	607,50	610	99,6	16,08	16,1	99,9	0,739	0,738	99,9
Dec.	668,25	670	99,7	16,03	16	99,8	0,760	0,759	99,9

Opazimo, da se rezultati, pridobljeni s pomočjo programa PIDVP in rezultati, prikazani v standardu, ujemajo. Odstopanja so manjša kot 1 % in so po vsej verjetnosti posledica različnega zaokroževanja izračunanih vrednosti.

2. primer izračuna temperaturnega faktorja v izogib kritični vlažnosti ob predpostavljeni konstantni notranji relativni vlažnosti:

Primerjava rezultatov drugega primera iz Priloge B standarda SIST EN ISO 13788:2002 (v poglavju 3.2.2.2 Načrtovanje za preprečitev nastanka plesni) in rezultatov, pridobljenih s programom PIDVP (Preglednice 19 do 21).

Preglednica 19: Vhodni podatki za 2. primerjavo

Mesec	T_z	φ_z	T_n	φ_n
	[°C]	[-]	[°C]	[-]
Jan.	2,8	0,92	20	0,55
Feb.	2,8	0,88	20	0,55
Mar.	4,5	0,85	20	0,55
Apr.	6,7	0,8	20	0,55
Maj	9,8	0,78	20	0,55
Jun.	12,6	0,8	20	0,55
Jul.	14	0,82	20	0,55
Avg.	13,7	0,84	20	0,55
Sep.	11,5	0,87	20	0,55
Okt.	9	0,89	20	0,55
Nov.	5	0,91	20	0,55
Dec.	3,5	0,92	20	0,55

Preglednica 20: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002

Mesec	PIDVP	Standard		PIDVP	Standard	
	p_n	p_n	Ujemanje rezultatov	$p_{sat}(T_{min})$	$p_{sat}(T_{min})$	Ujemanje rezultatov
	[Pa]	[Pa]	[%]	[°C]	[°C]	[%]
Jan.	1284,42	1285	100,0	1605,53	1607	99,9
Feb.	1284,42	1285	100,0	1605,53	1607	99,9
Mar.	1284,42	1285	100,0	1605,53	1607	99,9
Apr.	1284,42	1285	100,0	1605,53	1607	99,9
Maj	1284,42	1285	100,0	1605,53	1607	99,9
Jun.	1284,42	1285	100,0	1605,53	1607	99,9
Jul.	1284,42	1285	100,0	1605,53	1607	99,9
Avg.	1284,42	1285	100,0	1605,53	1607	99,9
Sep.	1284,42	1285	100,0	1605,53	1607	99,9
Okt.	1284,42	1285	100,0	1605,53	1607	99,9
Nov.	1284,42	1285	100,0	1605,53	1607	99,9
Dec.	1284,42	1285	100,0	1605,53	1607	99,9

Preglednica 21: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002

Mesec	PIDVP	Standard		PIDVP	Standard	
	$T_{sn, min}$	$T_{sn, min}$	Ujemanje rezultatov	f_{Rsn}	f_{Rsn}	Ujemanje rezultatov
	[°C]	[°C]	[%]	[-]	[-]	[%]
Jan.	14,08	14,1	99,8	0,656	0,656	99,9
Feb.	14,08	14,1	99,8	0,656	0,656	99,9
Mar.	14,08	14,1	99,8	0,618	0,618	100,0
Apr.	14,08	14,1	99,8	0,555	0,555	99,9
Maj	14,08	14,1	99,8	0,419	0,42	99,8
Jun.	14,08	14,1	99,8	0,199	0,201	99,2
Jul.	14,08	14,1	99,8	0,013	0,014	89,4
Avg.	14,08	14,1	99,8	0,060	0,061	97,6
Sep.	14,08	14,1	99,8	0,303	0,304	99,7
Okt.	14,08	14,1	99,8	0,461	0,462	99,9
Nov.	14,08	14,1	99,8	0,605	0,606	99,8
Dec.	14,08	14,1	99,8	0,641	0,642	99,8

Tudi v tem primeru se rezultati skoraj popolnoma ujemajo, razen pri izračunu faktorja f_{Rsn} za mesec julij. V tem primeru je ujemanje rezultatov 89,4 %. Predvidevamo, da gre tudi v tem primeru za napako zaradi zaokroževanja, saj pri ostalih rezultatih ni odstopanj.

3. primer izračuna temperaturnega faktorja za prostor z znano dobavo vlage in s konstantno stopnjo prezračevanja:

Primerjava rezultatov tretjega primera iz Priloge B standarda SIST EN ISO 13788:2002 (v poglavju 3.2.2.2 Načrtovanje za preprečitev nastanka plesni) in rezultatov, pridobljenih s programom PIDVP (Preglednice 22 do 24).

Preglednica 22: Vhodni podatki za 3. primerjavo

Mesec	T_z	φ_z	T_n	n	G
	[°C]	[-]	[°C]	1/h	[kg/h]
Jan.	2,8	0,92	20	0,50	250
Feb.	2,8	0,88	20	0,50	250
Mar.	4,5	0,85	20	0,50	250
Apr.	6,7	0,8	20	0,50	250
Maj	9,8	0,78	20	0,50	250
Jun.	12,6	0,8	20	0,50	250
Jul.	14	0,82	20	0,50	250
Avg.	13,7	0,84	20	0,50	250
Sep.	11,5	0,87	20	0,50	250
Okt.	9	0,89	20	0,50	250
Nov.	5	0,91	20	0,50	250
Dec.	3,5	0,92	20	0,50	250

Preglednica 23: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002

Mesec	PIDVP	Standard		PIDVP	Standard		PIDVP	Standard	
	p_z	p_z	Ujemanje rezultatov	p_n	p_n	Ujemanje rezultatov	Δp	Δp	Ujemanje rezultatov
	[Pa]	[Pa]	[%]	[Pa]	[Pa]	[%]	[Pa]	[Pa]	[%]
Jan.	687,0	683,0	99,4	1107,4	1116,0	99,2	420,5	433,0	97,1
Feb.	657,1	657,0	99,9	1077,6	1090,0	98,9	420,5	433,0	97,1
Mar.	715,6	709,0	99,1	1137,3	1142,0	99,6	421,7	433,0	97,4
Apr.	784,7	788,0	99,6	1208,1	1221,0	98,9	423,3	433,0	97,8
Maj	944,5	941,0	99,6	1370,2	1374,0	99,7	425,6	433,0	98,3
Jun.	1166,6	1162,0	99,6	1594,3	1595,0	99,9	427,7	433,0	98,8
Jul.	1310,1	1302,0	99,4	1738,9	1735,0	99,8	428,7	433,0	99,0
Avg.	1316,2	1317,0	99,9	1744,7	1750,0	99,7	428,5	433,0	99,0
Sep.	1179,9	1183,0	99,7	1606,8	1616,0	99,4	426,9	433,0	98,6
Okt.	1021,2	1017,0	99,6	1446,3	1450,0	99,7	425,0	433,0	98,2
Nov.	793,4	788,0	99,3	1215,5	1221,0	99,5	422,1	433,0	97,5
Dec.	721,9	719,0	99,6	1142,9	1152,0	99,2	421,0	433,0	97,2

Preglednica 24: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002

Mesec	PIDVP	Standard		PIDVP	Standard		PIDVP	Standard	
	$p_{\text{sat}}(T_{\text{min}})$	$p_{\text{sat}}(T_{\text{min}})$	Ujemanje rezultatov	$T_{\text{sn, min}}$	$T_{\text{sn, min}}$	Ujemanje rezultatov	f_{Rsn}	f_{Rsn}	Ujemanje rezultatov
	[Pa]	[Pa]	[%]	[°C]	[°C]	[%]	[-]	[-]	[%]
Jan.	1384,3	1395,0	99,2	11,8	11,9	99,2	0,524	0,531	98,6
Feb.	1346,9	1363,0	98,8	11,4	11,6	98,2	0,500	0,510	98,0
Mar.	1421,7	1428,0	99,6	12,2	12,3	99,3	0,498	0,502	99,0
Apr.	1510,1	1527,0	98,9	13,1	13,3	98,7	0,484	0,496	97,5
Maj	1712,7	1718,0	99,7	15,1	15,1	99,8	0,517	0,522	99,1
Jun.	1992,9	1994,0	99,9	17,5	17,5	99,7	0,656	0,657	99,8
Jul.	2173,6	2169,0	100,2	18,8	18,8	100,2	0,806	0,800	99,3
Avg.	2180,9	2188,0	99,7	18,9	18,9	99,9	0,824	0,832	99,0
Sep.	2008,5	2020,0	99,4	17,6	17,7	99,3	0,715	0,726	98,5
Okt.	1807,8	1813,0	99,7	15,9	16,0	99,5	0,629	0,633	99,4
Nov.	1519,3	1527,0	99,5	13,2	13,3	99,5	0,548	0,553	99,2
Dec.	1428,6	1440,0	99,2	12,3	12,4	99,1	0,533	0,540	98,6

Vsi rezultati, izračunani s pomočjo programa PIDVP, se ujemajo z rezultati iz standarda.

4. primer izračuna temperaturnega faktorja za prostor z znano dobavo vlage in s spremenljivo stopnjo prezračevanja:

Primerjava rezultatov četrtega primera iz Priloge B standarda SIST EN ISO 13788:2002 (v poglavju 3.2.2.2 Načrtovanje za preprečitev nastanka plesni) in rezultatov, pridobljenih s programom PIDVP (Preglednice 25 do 27).

Preglednica 25: Vhodni podatki za 4. primerjavo

Mesec	T_z	φ_z	T_n	G
	[°C]	[-]	[°C]	[kg/h]
Jan.	2,8	0,92	20	250
Feb.	2,8	0,88	20	250
Mar.	4,5	0,85	20	250
Apr.	6,7	0,8	20	250
Maj	9,8	0,78	20	250
Jun.	12,6	0,8	20	250
Jul.	14	0,82	20	250
Avg.	13,7	0,84	20	250
Sep.	11,5	0,87	20	250
Okt.	9	0,89	20	250
Nov.	5	0,91	20	250
Dec.	3,5	0,92	20	250

Preglednica 26: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002

Mesec	PIDVP	Standard	Ujemanje rezultatov	PIDVP	Standard	Ujemanje rezultatov	PIDVP	Standard	Ujemanje rezultatov
	p_z	p_z		p_n	p_n		Δp	Δp	
	[Pa]	[Pa]	[%]	[Pa]	[Pa]	[%]	[Pa]	[Pa]	[%]
Jan.	687,0	683,0	99,4	1360,8	1377,0	98,8	673,8	694,0	97,1
Feb.	657,1	657,0	100,0	1330,9	1351,0	98,5	673,8	694,0	97,1
Mar.	715,6	709,0	99,1	1268,8	1279,0	99,2	553,2	570,0	97,1
Apr.	784,7	788,0	99,6	1233,9	1251,0	98,6	449,2	463,0	97,0
Maj	944,5	941,0	99,6	1299,7	1307,0	99,4	355,1	366,0	97,0
Jun.	1166,6	1162,0	99,6	1465,2	1470,0	99,7	298,6	308,0	97,0
Jul.	1310,1	1302,0	99,4	1586,8	1587,0	100,0	276,6	285,0	97,1
Avg.	1316,2	1317,0	99,9	1597,2	1607,0	99,4	281,1	290,0	96,9
Sep.	1179,9	1183,0	99,7	1498,5	1511,0	99,2	318,5	328,0	97,1
Okt.	1021,2	1017,0	99,6	1396,6	1404,0	99,5	375,4	387,0	97,0
Nov.	793,4	788,0	99,3	1319,0	1330,0	99,2	525,6	542,0	97,0
Dec.	721,9	719,0	99,6	1340,2	1356,0	98,8	618,3	637,0	97,1

Preglednica 27: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002

Mesec	PIDVP	Standard	Ujemanje rezultatov	PIDVP	Standard	Ujemanje rezultatov	PIDVP	Standard	Ujemanje rezultatov
	$p_{sat}(T_{min})$	$p_{sat}(T_{min})$		$T_{sn, min}$	$T_{sn, min}$		f_{Rsn}	f_{Rsn}	
	[Pa]	[Pa]	[%]	[°C]	[°C]	[%]	[-]	[-]	[%]
Jan.	1701,0	1722,0	98,8	15,0	15,2	98,5	0,707	0,718	98,5
Feb.	1663,6	1689,0	98,5	14,6	14,9	98,2	0,687	0,701	98,1
Mar.	1586,1	1599,0	99,2	13,9	14,0	99,2	0,606	0,614	98,6
Apr.	1542,4	1564,0	98,6	13,5	13,7	98,2	0,508	0,524	97,0
Maj	1624,6	1634,0	99,4	14,3	14,3	99,7	0,437	0,445	98,2
Jun.	1831,5	1837,0	99,7	16,1	16,2	99,5	0,476	0,483	98,5
Jul.	1983,4	1984,0	100,0	17,4	17,4	99,9	0,563	0,563	100,0
Avg.	1996,6	2008,0	99,4	17,5	17,6	99,3	0,600	0,615	97,6
Sep.	1873,1	1889,0	99,2	16,5	16,6	99,2	0,585	0,601	97,4
Okt.	1745,8	1755,0	99,5	15,4	15,5	99,2	0,579	0,587	98,7
Nov.	1648,7	1662,0	99,2	14,5	14,6	99,2	0,632	0,641	98,6
Dec.	1675,3	1695,0	98,8	14,7	14,9	98,9	0,681	0,692	98,4

Vidimo, da tudi v tem primeru ni večjih odstopanj (Preglednici 26 in 27).

5. primer izračuna kondenzacije zaradi difuzije vodne pare v primeru konstrukcijskega sklopa s kondenzacijo v eni vmesni ravnini:

Primerjava rezultatov prvega primera iz Priloge C standarda SIST EN ISO 13788:2002 (v poglavju 3.2.3.3.8 Primeri izračuna difuzije vodne pare) in rezultatov, pridobljenih s programom PIDVP (Preglednici 28 in 29).

Preglednica 28: Vhodni podatki za 5. primerjavo

Mesec	T_z	φ_z	T_n	φ_n
	[°C]	[-]	[°C]	[-]
Jan.	-1	0,85	20,00	0,57
Feb.	0	0,84	20,00	0,58
Mar.	4	0,78	20,00	0,54
Apr.	9	0,72	20,00	0,51
Maj	14	0,68	20,00	0,51
Jun.	18	0,69	20,00	0,5
Jul.	19	0,73	20,00	0,56
Avg.	19	0,75	20,00	0,52
Sep.	15	0,79	20,00	0,56
Okt.	10	0,83	20,00	0,57
Nov.	5	0,88	20,00	0,57
Dec.	1	0,88	20,00	0,59

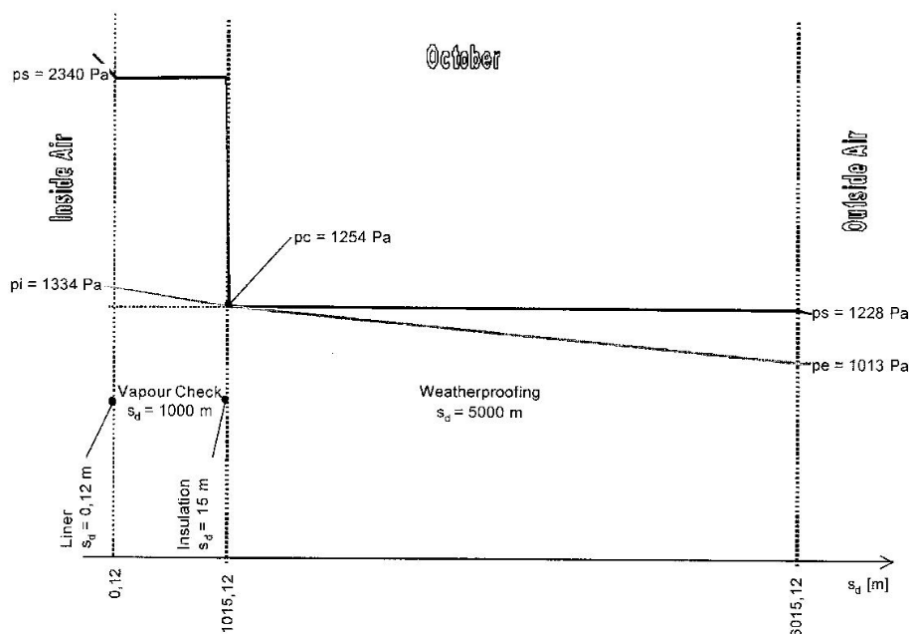
Preglednica 29: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002

Mesec	PIDVP	Standard	Ujemanje rezultatov	PIDVP	Standard	Ujemanje rezultatov
	q_1	q_1		M_{a1}	M_{a1}	
	[Kg/m ²]	[Kg/m ²]		[Kg/m ²]	[Kg/m ²]	
Okt.	0,00002	0,00002	99,0	0,00002	0,00002	99,0
Nov.	0,00021	0,00021	99,2	0,00023	0,00023	98,6
Dec.	0,00036	0,00036	99,0	0,00058	0,00058	99,5
Jan.	0,00038	0,00038	99,9	0,00096	0,00096	99,7
Feb.	0,00033	0,00033	99,7	0,00129	0,00129	99,7
Mar.	0,00020	0,0002	99,3	0,00149	0,0015	99,7
Apr.	-0,00003	-0,00003	99,9	0,00147	0,00147	100,0
Maj	-0,00028	-0,00028	99,9	0,00119	0,00119	100,0
Jun.	-0,00053	-0,00053	99,4	0,00066	0,00066	99,5
Jul.	-0,00053	-0,00053	99,3	0,00013	0,00013	99,4
Avg.	-0,00058	-0,00058	99,7	0,00000	0	100,0
Sep.	0,00000	0	100,0	0,00000	0	100,0

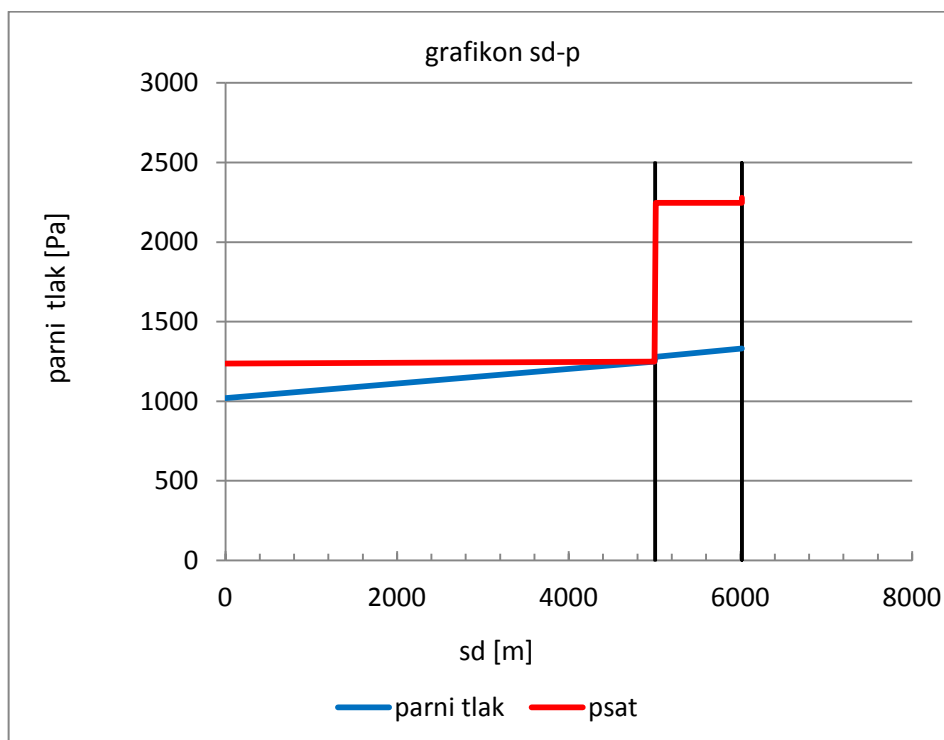
Preverjali smo ujemanje rezultatov za izračun količine kondenzacije (q) in skupne količine nabranega kondenza (M) v vmesni ravnini ravne strehe ob koncu meseca. Rezultati

programa PIDVP se ujemajo z rezultati v standardu SIST EN ISO 13788:2002. Odstopanja so minimalna.

Kot smo že prej omenili, je enak primer izračuna opisan tudi v standardu ISO 13788:2012, kjer pa je dodatno izrisan še graf poteka dejanskega parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) (Slika 32). Graf, ki nam ga izriše program PIDVP (Slika 33), se razlikuje le v tem, da je notranja stran stene na desni, zunanja – hladnejša stran pa na levi strani. Iz grafov vidimo, da prihaja do kondenzacije v vmesni ravnini med toplotno izolacijo in hidroizolacijo. V področju toplotne izolacije vrednost nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) naredi velik preskok. To je tudi pričakovan rezultat, saj je nasičeni parni tlak (p_{sat}) odvisen od temperature zraka (T). Do največje razlike temperature pa prihaja ravno v področju toplotne izolacije (Slika 34). Razlika med parnimi tlaki, ki jih pridobimo s pomočjo programa PIDVP in parnimi tlaki, ki so podani v standardu ISO 13788:2012, je zanemarljiva (Preglednica 30).



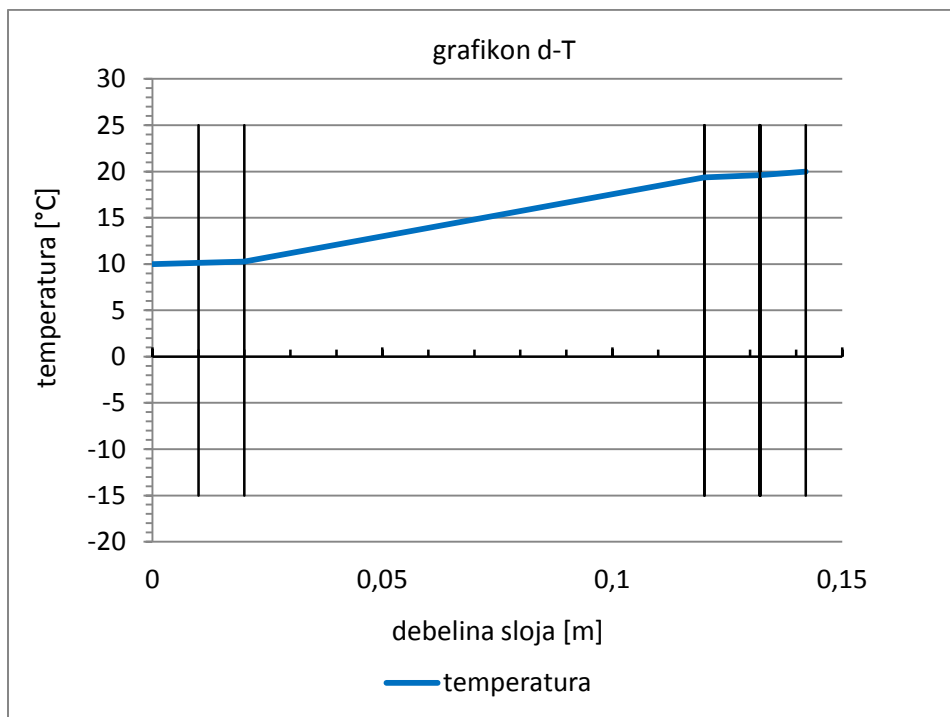
Slika 32: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec oktober (ISO 13788:2012)



Slika 33: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec oktober, izrisan s pomočjo programa PIDVP

Preglednica 30: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom ISO 13788:2012

	PIDVP	Standard	Ujemanje Rezultatov [%]
p_n [Pa]	1331	1334	99,8
p_z [Pa]	1019	1013	99,4
$p_{\text{sat}, z}$ [Pa]	1227	1228	99,9
$p_{\text{sat}, n}$ [Pa]	2335	2340	99,7



Slika 34: Potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) za mesec oktober, izrisan v programu PIDVP

6. primer izračuna kondenzacije zaradi difuzije vodne pare v primeru konstrukcijskega sklopa s kondenzacijo v eni vmesni ravnini:

Primerjava rezultatov drugega primera iz Priloge C standarda SIST EN ISO 13788:2002 (v poglavju 3.2.3.3.8 Primeri izračuna difuzije vodne pare) in rezultatov, pridobljenih s programom PIDVP (Preglednica 31).

Preglednica 31: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002

Mesec	PIDVP	Standard	Ujemanje rezultatov	PIDVP	Standard	Ujemanje rezultatov
	q_1	q_1		M_{a1}	M_{a1}	
	[Kg/m ²]	[Kg/m ²]		[Kg/m ²]	[Kg/m ²]	
Okt.	0,00287	0,00288	99,6	0,00287	0,00288	99,6
Nov.	0,01487	0,0149	99,8	0,01774	0,01778	99,8
Dec.	0,02467	0,0247	99,9	0,04241	0,04248	99,8
Jan.	0,02627	0,02621	99,8	0,06868	0,06869	100,0
Feb.	0,02301	0,02304	99,9	0,09168	0,09173	99,9
Mar.	0,01497	0,01499	99,8	0,10665	0,10672	99,9
Apr.	0,00067	0,00068	98,0	0,10731	0,1074	99,9
Maj	-0,01504	-0,01504	100,0	0,09227	0,09236	99,9
Jun.	-0,03096	-0,03097	100,0	0,06132	0,06139	99,9
Jul.	-0,03162	-0,03164	99,9	0,02970	0,02975	99,8
Avg.	-0,03492	-0,03494	100,0	0,00000	0	100,0
Sep.	0,00000	0	100,0	0,00000	0	100,0

Iz Preglednice 31 vidimo, da ni odstopanj med rezultati iz standarda in rezultati, pridobljenimi s programom PIDVP.

7. primer izračuna kondenzacije zaradi difuzije vodne pare v primeru konstrukcijskega sklopa s kondenzacijo v dveh vmesnih ravninah:

Primerjava rezultatov tretjega primera iz Priloge C standarda SIST EN ISO 13788:2002 (v poglavju 3.2.3.3.8 Primeri izračuna difuzije vodne pare) in rezultatov, pridobljenih s programom PIDVP (Preglednice 32 do 34).

Preglednica 32: Vhodni podatki za 7. primerjavo

Mesec	T_z	φ_z	T_n	φ_n
	[°C]	[-]	[°C]	[-]
Jan.	-1	0,85	20,00	0,57
Feb.	0	0,84	20,00	0,58
Mar.	4	0,78	20,00	0,54
Apr.	9	0,72	20,00	0,51
Maj	14	0,68	20,00	0,51
Jun.	18	0,69	20,00	0,5
Jul.	19	0,73	20,00	0,56
Avg.	19	0,75	20,00	0,52
Sep.	15	0,79	20,00	0,56
Okt.	10	0,83	20,00	0,57
Nov.	5	0,88	20,00	0,57
Dec.	1	0,88	20,00	0,59

Preglednica 33: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002

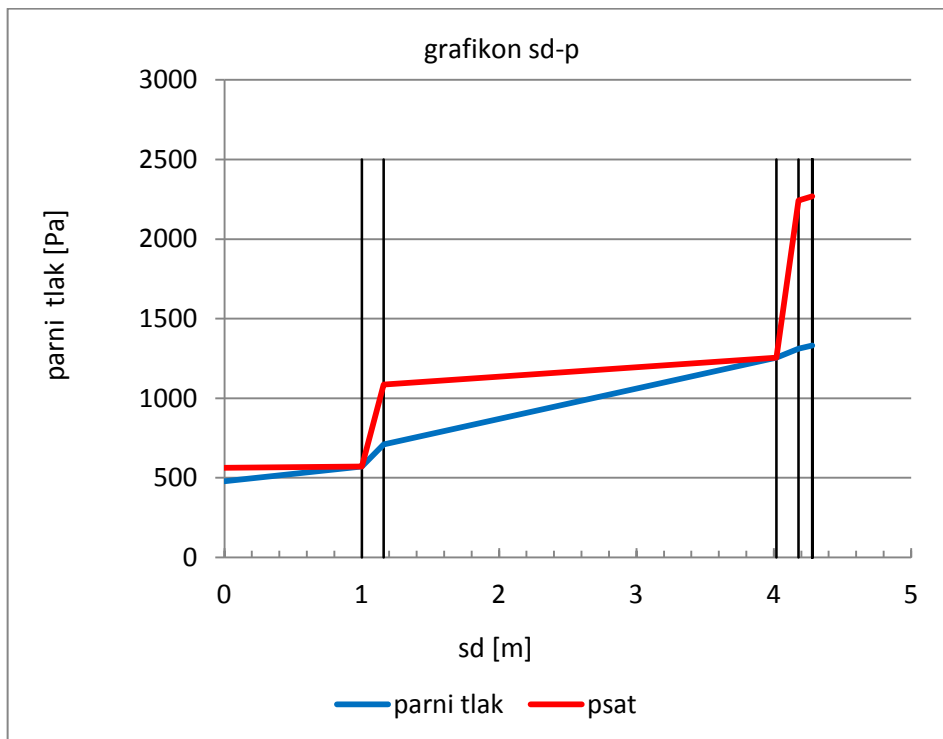
Mesec	PIDVP	Standard	Ujemanje rezultatov	PIDVP	Standard	Ujemanje rezultatov
	q_1	q_1		q_2	q_2	
	[Kg/m ²]	[Kg/m ²]		[Kg/m ²]	[Kg/m ²]	
Nov.	0,013	0,013	100,0	0	0	100,0
Dec.	0,070	0,07	100,0	0	0	100,0
Jan.	0,072	0,071	98,6	0,034	0,036	94,6
Feb.	0,057	0,058	99,0	0,003	0,004	71,8
Mar.	0,014	0,014	100,0	-0,527	-0,527	99,9
Apr.	-0,164	-0,164	100,0	0	0	100,0
Maj	-0,343	-0,344	99,7	0	0	100,0
Jun.	0	0	100,0	0	0	100,0
Jul.	0	0	100,0	0	0	100,0
Avg.	0	0	100,0	0	0	100,0
Sep.	0	0	100,0	0	0	100,0
Okt.	0	0	100,0	0	0	100,0

Preglednica 34: Primerjava rezultatov med programom PIDVP in standardom SIST EN ISO 13788:2002

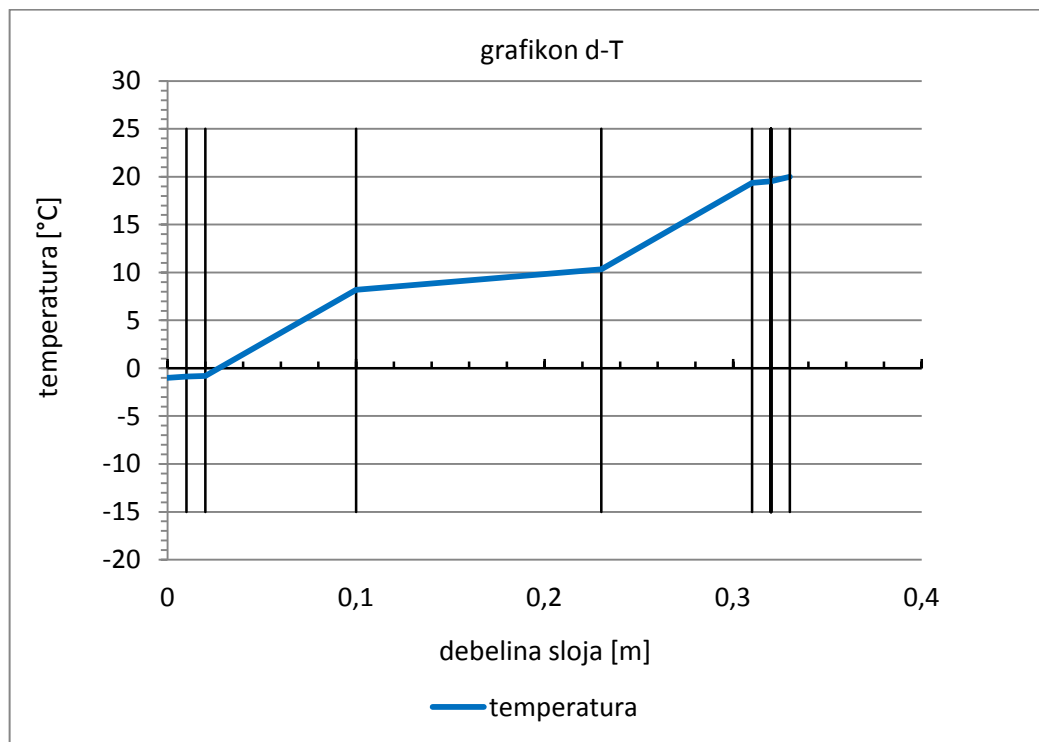
Mesec	PIDVP	Standard		PIDVP	Standard	
	M_{a1}	M_{a1}	Ujemanje rezultatov	M_{a2}	M_{a2}	Ujemanje rezultatov
	[Kg/m ²]	[Kg/m ²]	[%]	[Kg/m ²]	[Kg/m ²]	[%]
Nov.	0,013	0,013	100,0	0	0	100
Dec.	0,083	0,084	98,8	0	0	100
Jan.	0,155	0,155	100,0	0,034	0,036	94,6
Feb.	0,213	0,212	99,7	0,037	0,039	94,7
Mar.	0,226	0,226	100,0	0	0	100
Apr.	0,062	0,062	100,0	0	0	100
Maj	0	0	100,0	0	0	100
Jun.	0	0	100,0	0	0	100
Jul.	0	0	100,0	0	0	100
Avg.	0	0	100,0	0	0	100
Sep.	0	0	100,0	0	0	100
Okt.	0	0	100,0	0	0	100

Pri izračunu količine kondenzacije v drugi vmesni ravnini je odstopanje med rezultati nekoliko večje v mesecu februarju (Preglednica 33). To odstopanje je po vsej verjetnosti posledica zaokroževanja. Med ostalimi primerjavami ni večjih odstopanj (Preglednici 33 in 34).

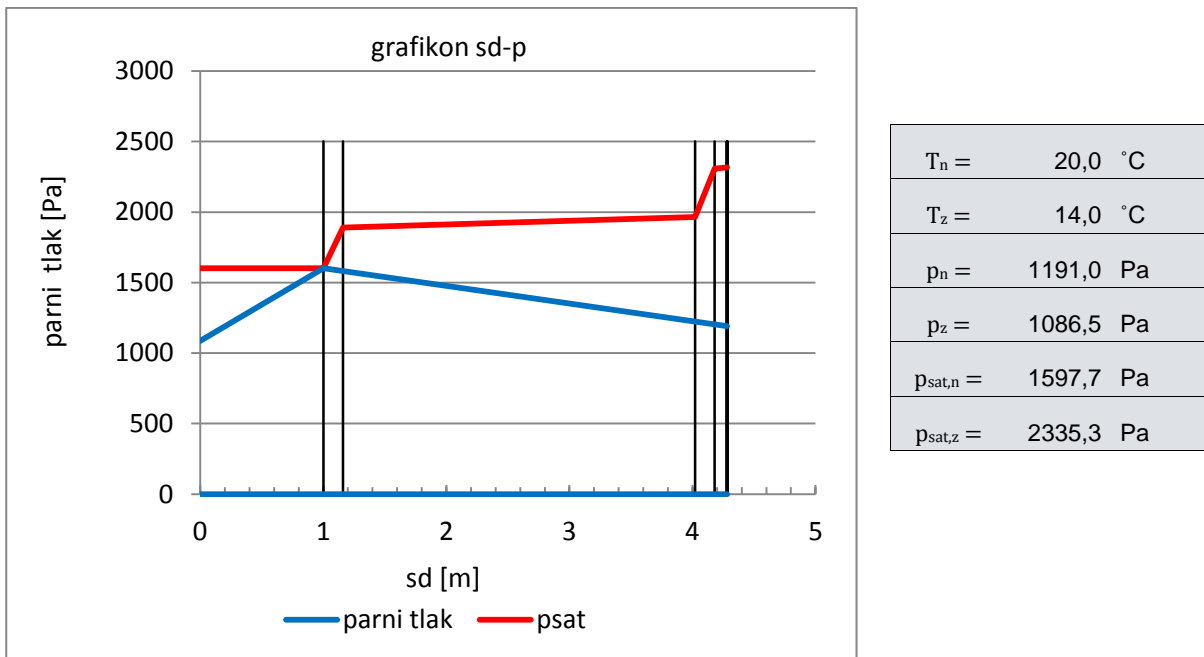
Do kondenzacije v mesecu januarju prihaja v vmesni ravnini med fasadnim slojem in toplotno izolacijo ter v vmesni ravnini med opeko in toplotno izolacijo. Fasadni sloj in opeka imata visoko difuzijsko upornost (μ), toplotna izolacija pa ima nizko difuzijsko upornost (μ), zato nas tak rezultat ne preseneča (Slika 35). Do večjih preskokov vrednosti nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) prihaja v področju toplotnih izolacij, ker so v tem gradbenem materialu spremembe temperature (T) največje (Slika 36). Do konca meseca maja izpari vsa kondenzirana vodna para v vmesni ravnini med fasadnim slojem in toplotno izolacijo. Iz poteka parnih tlakov za mesec maj vidimo, da je v vmesni ravnini med fasadnim slojem in toplotno izolacijo parni tlak (p) enak nasičenemu parnemu tlaku (p_{sat}), in da je višji od parnega tlaka zunanjega in notranjega zraka (p_n , p_z). Zato je smer gibanja vodne pare usmerjena od vmesne ravnine proti zunanji in notranji strani stene (Slika 37). Slika 38 prikazuje potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) za mesec maj. Razlika med zunanjo in notranjo temperaturo (T_z , T_n) ter relativno vlažnostjo zraka (φ) je v mesecu maju manjša (Slika 37) kot v mesecu januarju (Slika 36), zato je tudi manjša razlika med zunanjim in notranjim parnim tlakom (p) ter nasičenim parnim tlakom (p_{sat}) (Sliki 35 in 37).



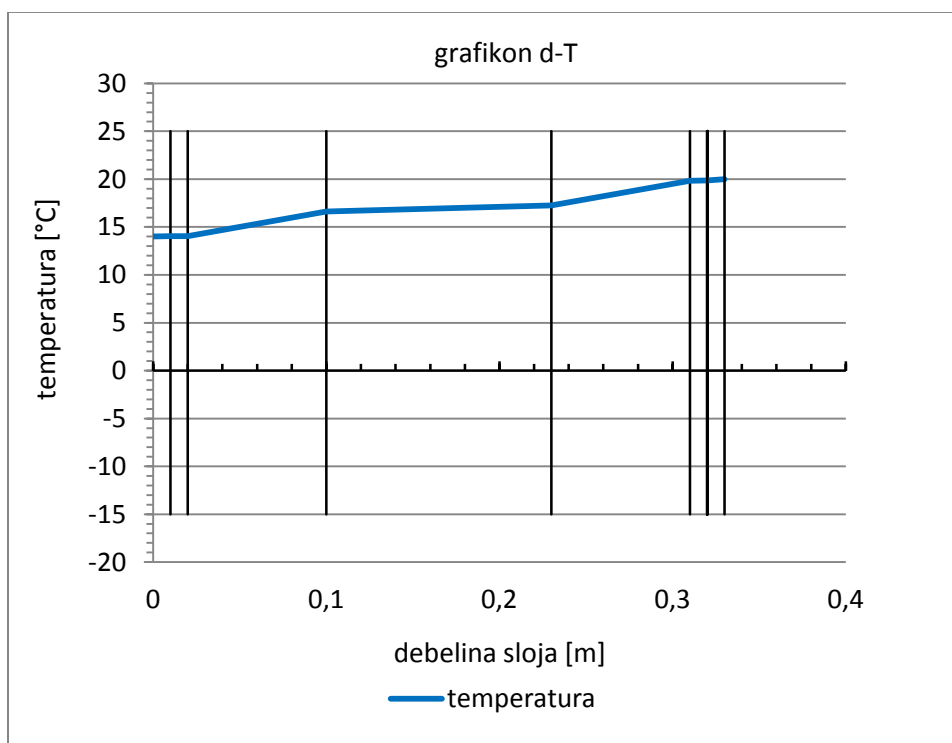
Slika 35: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec januar, izrisan s pomočjo programa PIDVP



Slika 36: Potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) za mesec januar, izrisan v programu PIDVP



Slika 37: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec maj, izrisan s pomočjo programa PIDVP



Slika 38: Potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) za mesec maj, izrisan v programu PIDVP

8. primer izračuna difuzije vodne pare in ocene tveganja za nastanek kondenzacije ter izračun temperaturnega faktorja za poševno streho:

Izvedli smo izračun za primer poševne strehe. Zračnega sloja med parapropustno folijo in kritino nismo upoštevali. Predpostavili smo, da je prva, zunanja plast, parapropustna folija.

Sestava konstrukcije in ostali vhodni podatki so opisani v Preglednicah 35 in 36. Izračun smo izvedli s programom KI Energija 2014 in programom PIDVP. Primerjali smo ujemanje:

- rezultatov izračuna količine kondenzacije (q) (Preglednica 37);
- skupne količine nabranega kondenza (M) (Preglednica 37);
- faktorja f_{Rsn} (Preglednica 37);
- toplotne prehodnosti (U) (Preglednica 38);
- izrisa grafov za potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) v odvisnosti od difuzijske upornosti (S_d) (Sliki 38 in 39);
- izrisa grafov poteka temperature (T) v odvisnosti od debeline materiala (d) (Sliki 40 in 41).

Preglednica 35: Prikaz sestave stene ter debeline slojev (d), toplotne prevodnosti (λ) in difuzijske upornost vodni pari (μ)

Materiali	d	λ	μ
	[m]	[W/m K]	/
Parna ovira	0,002	0,19	150,0
Les – smreka, bor	0,022	0,14	70,0
Kamena volna ($\rho = 45$)	0,16	0,035	1,2
Steklena volna ($\rho = 20$)	0,06	0,035	1,2
Mavčnokartonske plošče	0,0125	0,21	12,0

Preglednica 36: Vhodni podatki za 8. primerjavo

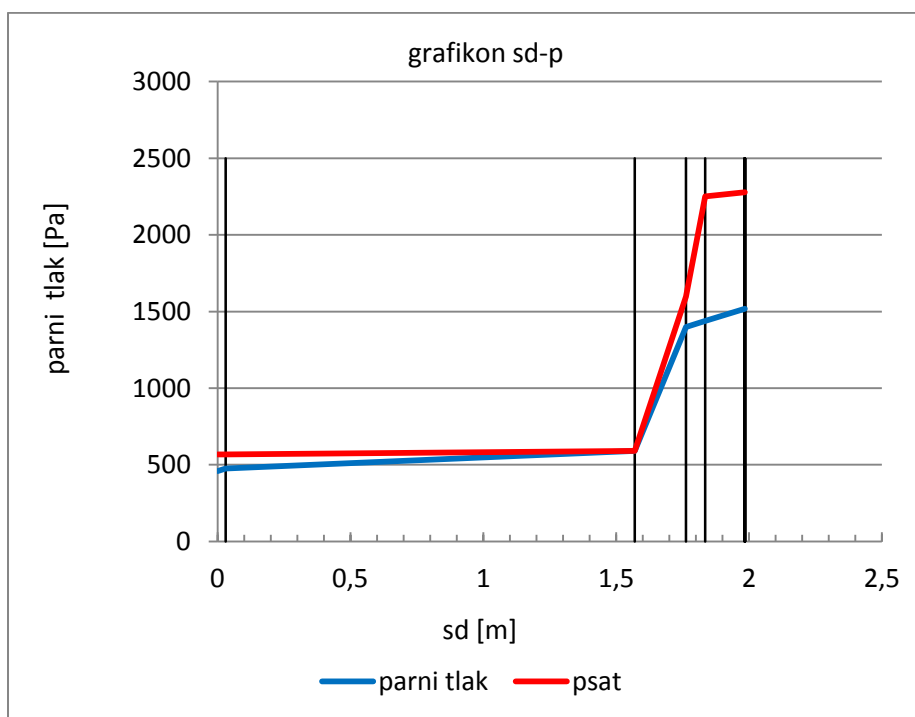
Mesec	T_z	φ_z	T_n	φ_n
	[°C]	[-]	[°C]	[-]
Jan.	-1	0,81	20,00	0,65
Feb.	1	0,76	20,00	0,65
Mar.	5	0,74	20,00	0,65
Apr.	9	0,71	20,00	0,65
Maj	14	0,73	20,00	0,65
Jun.	17	0,73	20,00	0,65
Jul.	19	0,74	20,00	0,65
Avg.	18	0,77	20,00	0,65
Sep.	14	0,81	20,00	0,56
Okt.	9	0,82	20,00	0,65
Nov.	4	0,83	20,00	0,65
Dec.	0	0,85	20,00	0,65

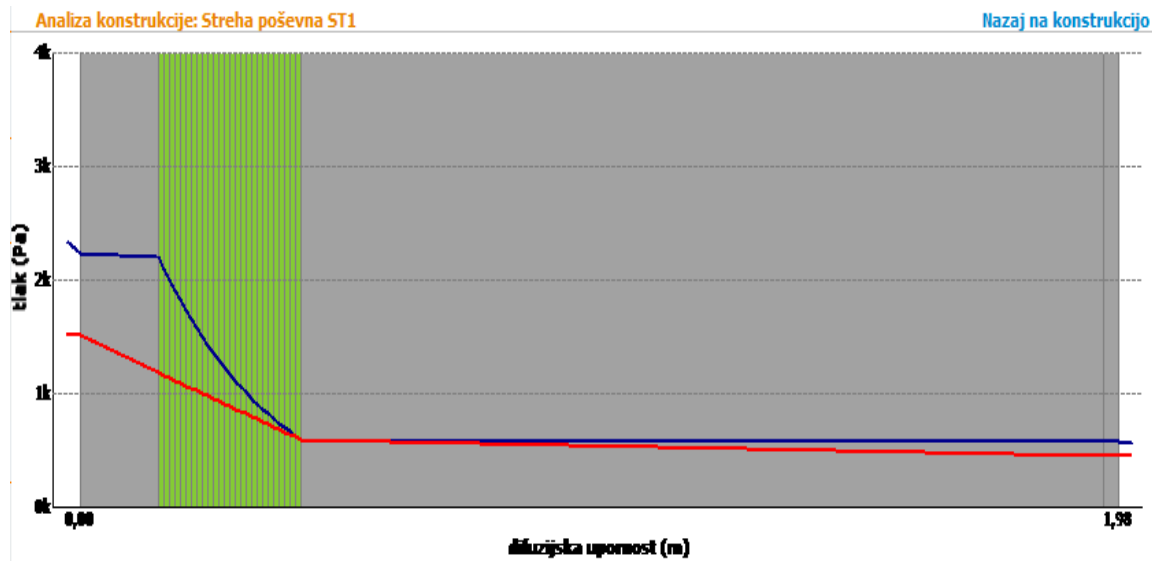
Preglednica 37: Primerjava rezultatov med programoma PIDVP in KI Energija 2014

Mesec	PIDVP	KI Energija 2014	Ujemanje rezultatov	PIDVP	KI Energija 2014	Ujemanje rezultatov	PIDVP	KI Energija 2014	Ujemanje rezultatov
	q	q		M	M		f _{Rsn}	f _{Rsn}	
	[Kg/m ²]	[Kg/m ²]		[%]	[Kg/m ²]		[Kg/m ²]	[%]	
Okt.	0,368	0,363	98,7	0,368	0,363	98,7	0,698	0,699	99,9
Nov.	0,794	0,789	99,4	1,162	1,153	99,3	0,792	0,793	99,9
Dec.	1,099	1,095	99,6	2,261	2,247	99,4	0,834	0,834	100
Jan.	1,153	1,147	99,5	3,414	3,394	99,4	0,842	0,842	100
Feb.	0,918	0,914	99,5	4,332	4,308	99,4	0,825	0,826	99,9
Mar.	0,714	0,709	99,3	5,046	5,018	99,4	0,779	0,779	100
Apr.	0,314	0,31	98,7	5,360	5,327	99,4	0,698	0,699	99,9
Maj	-0,279	-0,283	98,7	5,081	5,044	99,3	0,446	0,448	99,5
Jun.	-0,712	-0,715	99,6	4,368	4,329	99,1	0	0	100
Jul.	-1,077	-1,078	99,9	3,292	3,25	98,7	0	0	100
Avg.	-0,877	-0,88	99,7	2,414	2,371	98,2	0	0	100
Sep.	-0,228	-0,232	98,4	2,186	2,139	97,8	0,446	0,448	100

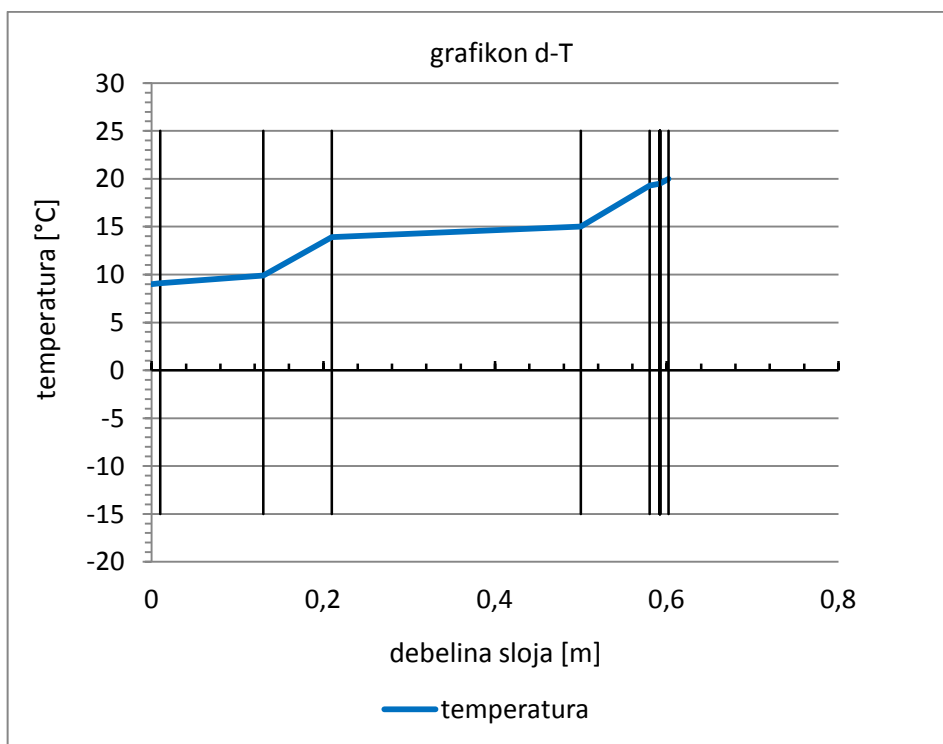
Preglednica 38: Primerjava rezultatov med programoma PIDVP in KI Energija 2014

	PIDVP	KI Energija 2014	Ujemanje Rezultatov [%]
U_{max} [W/m ² K]	0,200	0,200	100
U_{dej} [W/m ² K]	0,150	0,149	99,3

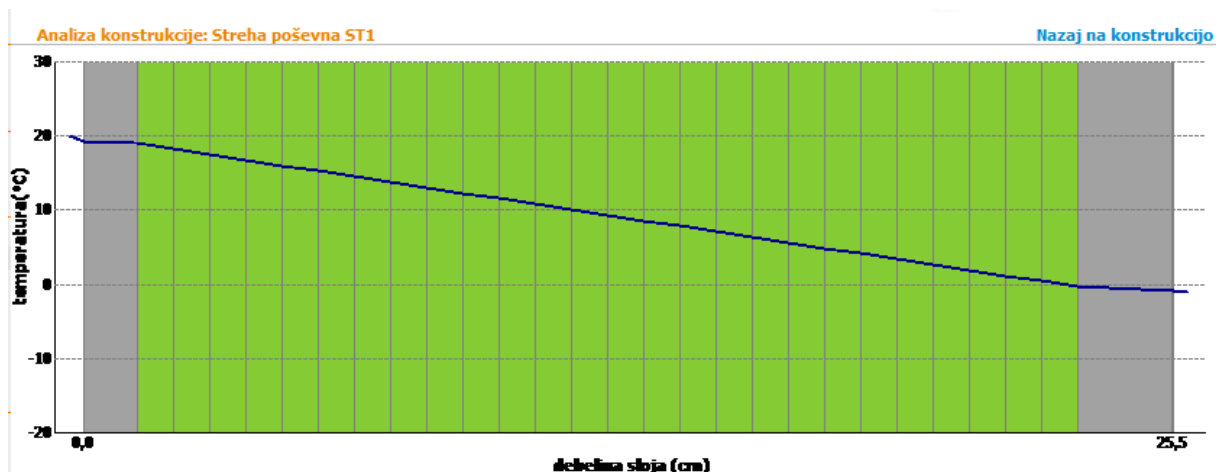
Slika 39: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec januar, izrisan s pomočjo programa PIDVP



Slika 40: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec januar, izrisan s pomočjo programa KI Energija 2014 [20]



Slika 41: Potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) za mesec januar, izrisan v programu PIDVP



Slika 42: Potek temperature (T) v odvisnosti od debeline sloja (d) za mesec januar, izrisan v programu KI Energija 2014 [20]

Ugotovili smo, da so rezultati, pridobljeni z obema programoma, primerljivi, in da večjega odstopanja ni. V programu KI Energija 2014 vnašamo materiale od notranje ogrevane strani proti zunanji strani, kar je ravno obratno kot v programu PIDVP. Posledica te razlike je, da so izrisani grafi v programu PIDVP zrcalni grafom iz programa KI Energija 2014.

9. primer izračuna difuzije vodne pare in ocene tveganja za nastanek kondenzacije ter izračun temperaturnega faktorja za zunanjo steno:

V tem primeru smo izračun za steno izvedli s programom PIDVP in programom KI Energija 2014. Naredili smo enake primerjave kot v 8. primeru (Preglednice 40 do 42). Sestava stene je opisana v Preglednici 39. Ostali vhodni podatki so enaki kot v 8. primeru in so prikazani v Preglednici 36.

Preglednica 39: Prikaz sestave stene ter debeline slojev (d), toplotne prevodnosti (λ) in difuzijske upornosti vodni pari (μ)

Materiali	d	λ	μ
	[m]	[W/m K]	/
Silikatna polna opeka	0,12	0,79	13
Steklena volna	0,008	0,039	1,1
Modularna opeka	0,29	0,610	6,0
Kamena volna	0,08	0,040	1,6
Mavčnokartonske plošče	0,0120	0,21	12,0

Preglednica 40: Primerjava rezultatov med programoma PIDVP in KI Energija 2014

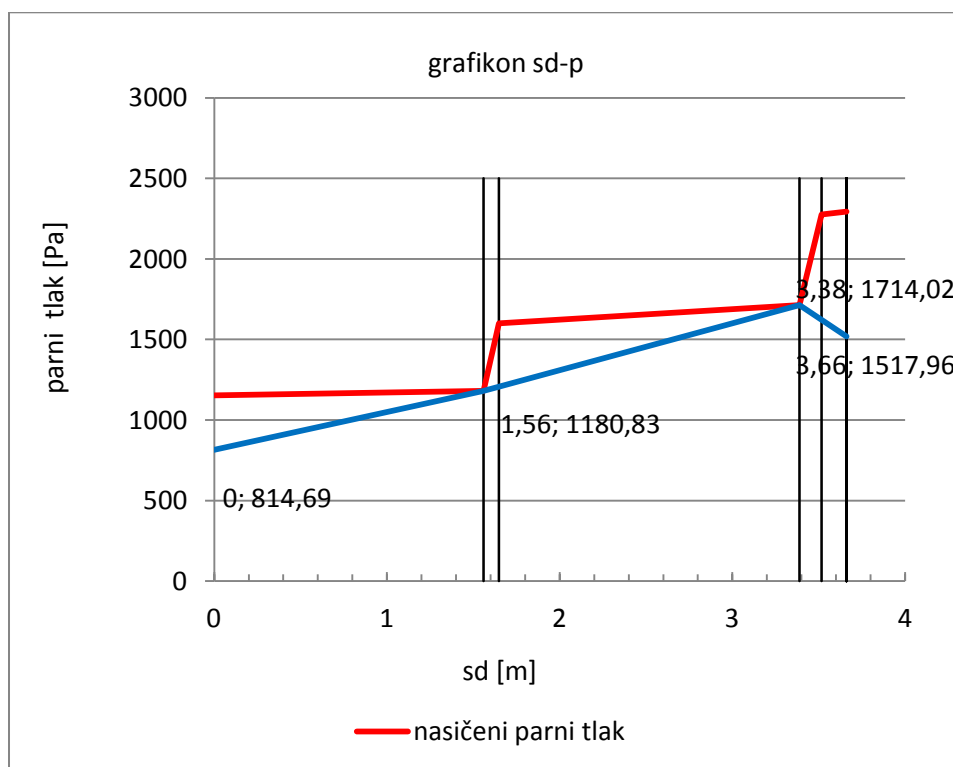
Mesec	PIDVP	KI Energija 2014	Ujemanje rezultatov	PIDVP	KI Energija 2014	Ujemanje rezultatov	PIDVP	KI Energija 2014	Ujemanje rezultatov
	q_1	q_1		q_2	q_2		f_{Rsn}	f_{Rsn}	
	[Kg/m ²]	[Kg/m ²]		[%]	[Kg/m ²]		[Kg/m ²]	[%]	
Okt.	0,0036	0,0041	87,8	0	0	100,0	0,698	0,699	99,9
Nov.	0,1071	0,1078	99,4	0	0	100,0	0,792	0,793	99,9
Dec.	0,1534	0,1474	96,1	0,1952	0,2479	78,7	0,834	0,834	100
Jan.	0,1501	0,1425	94,9	0,26934	0,3232	83,3	0,842	0,842	100
Feb.	0,1162	0,1109	95,4	0,1077	0,1541	69,9	0,825	0,826	99,9
Mar.	0,0912	0,066	72,4	-0,1994	-0,4793	41,6	0,779	0,779	100
Apr.	0,0295	-0,0379	0	-0,5249	-0,9755	53,8	0,698	0,699	99,9
Maj	-0,1826	-0,1825	99,9	0	0	100,0	0,446	0,448	99,5
Jun.	-0,2848	-0,285	99,9	0	0	100,0	0	0	100
Jul.	-0,3714	-0,3719	99,9	0	0	100,0	0	0	100
Avg.	0	0	100,0	0	0	100,0	0	0	100
Sep.	0	0	100,0	0	0	100,0	0,446	0,448	99,6

Preglednica 41: Primerjava rezultatov med programoma PIDVP in KI Energija 2014

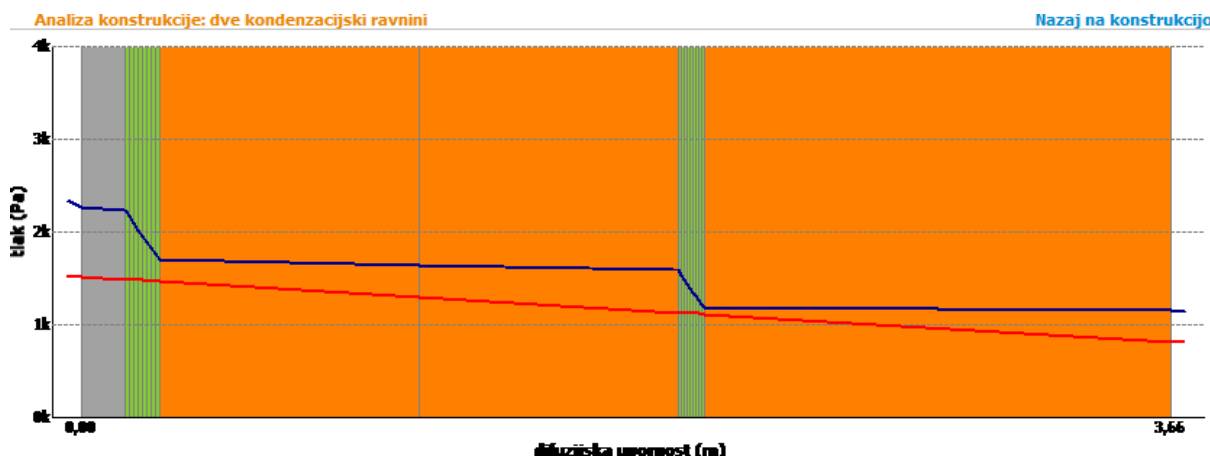
Mesec	PIDVP	KI Energija 2014	Ujemanje rezultatov	PIDVP	KI Energija 2014	Ujemanje rezultatov	PIDVP	KI Energija 2014	Ujemanje rezultatov
	M_{a1}	M_{a1}		M_{a2}	M_{a2}		$M_{a1} + M_{a2}$	$M_{a1} + M_{a2}$	
	[Kg/m ²]	[Kg/m ²]		[%]	[Kg/m ²]		[Kg/m ²]	[%]	
Okt.	0,004	0,004	100	0	0	100,0	0,004	0,00410	88,1
Nov.	0,111	0,112	98,9	0	0	100,0	0,111	0,11190	98,9
Dec.	0,264	0,259	98,2	0,19518	0,2479	78,7	0,459	0,50720	90,6
Jan.	0,414	0,402	97,0	0,46447	0,5711	81,3	0,879	0,97290	90,3
Feb.	0,530	0,51270	96,6	0,57220	0,7252	78,9	1,103	1,23790	89,1
Mar.	0,622	0,57870	93,1	0,37277	0,5825	64,0	0,994	1,16120	85,6
Apr.	0,651	0,54080	83,1	0	0,1032	0,0	0,651	0,64400	98,9
Maj	0,469	0,35830	76,5	0	0	100,0	0,469	0,35830	76,5
Jun.	0,184	0,07320	39,8	0	0	100,0	0,184	0,07320	39,8
Jul.	0,000	0	100,0	0	0	100,0	0,000	0	100,0
Avg.	0,000	0	100,0	0	0	100,0	0,000	0	100,0
Sep.	0,000	0	100,0	0	0	100,0	0,000	0	100,0

Pri izračunih faktorja f_{Rsn} ni večjih odstopanj med programoma. So pa nekoliko večja odstopanja pri izračunu količine kondenzacije oziroma izsuševanja in posledično tudi pri izračunu skupne nabrane količine kondenzirane vodne pare v vmesnih ravninah ob koncu vsakega meseca. To odstopanje je izrazito predvsem v mesecu aprilu. Za ta mesec program PIDVP izračuna, da še vedno prihaja do kondenzacije. Program KI Energija 2014 pa nam

izračuna negativno vrednost za stopnjo kondenzacije, kar pomeni, da v mesecu aprilu poteka izsuševanje. To razliko lahko vidimo tudi iz primerjave grafov (Sliki 43 in 44).



Slika 43: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec april, izrisan v programu PIDVP



Slika 44: Potek parnega tlaka (p) in nasičenega parnega tlaka (p_{sat}) za mesec april, izrisan v programu KI Energija 2014

Da bi to lažje pojasnili, smo naredili še primerjavo med obema programoma za vrednosti parnega tlaka (p) v štirih ravninah za mesec april. Te ravnine so sledeče: dve vmesni ravnini, kjer prihaja do kondenzacije in ravnini na zunanji in notranji površini stene. Vrednosti v Preglednici 42 so razvrščene od zunanje proti notranji strani stene. Te vrednosti se v veliki meri ujemajo.

Preglednica 42: Primerjava rezultatov med programoma PIDVP in KI Energija 2014 za mesec april

PIDVP	KI Energija 2014		PIDVP	KI Energija 2014	
p	p	Ujemanje rezultatov	p _{sat}	p _{sat}	Ujemanje rezultatov
[Pa]	[Pa]	[%]	[Pa]	[Pa]	[%]
814,7	814,7	100	1154,1	1154,3	100
1180,7	1180,4	98,9	1180,7	1180,4	98,9
1714,0	1699,0	99,1	1714,0	1699,0	99,1
1518,0	1519,0	99,9	2293,0	2259,0	98,5

Kljub temu da programa izračunata skoraj enake vrednosti za parni (p) in nasičeni parni tlak (p_{sat}), se količine kondenzacije (q) bistveno razlikujejo. Poizkusili smo izračunati analitično količino kondenzacije za mesec april s podatki iz programa PIDVP in programa KI Energija 2014 po enačbah (3.16) in (3.17) in jih med seboj primerjati.

$$q_1 = \delta_0 \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{S_{d,c2} - S_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{S_{d,c1}} \right) \cdot s$$

$$2 \cdot 10^{-10} \left(\frac{1699 - 1180,4}{3,388 - 1,56} - \frac{1180,4 - 814,7}{1,56} \right) \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 30 = 0,255 \text{ Kg/m}^2$$

$$2 \cdot 10^{-10} \left(\frac{1714 - 1180,7}{3,388 - 1,56} - \frac{1180,7 - 814,7}{1,56} \right) \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 30 = 0,296 \text{ Kg/m}^2$$

$$q_2 = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_{c2}}{S_{d,T} - S_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{S_{d,c2} - S_{d,c1}} \right) \cdot s$$

$$2 \cdot 10^{-10} \left(\frac{1519 - 1699}{3,66 - 3,388} - \frac{1699 - 1180,4}{3,388 - 1,56} \right) \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 30 = -0,490 \text{ Kg/m}^2$$

$$2 \cdot 10^{-10} \left(\frac{1518 - 1714}{3,66 - 3,388} - \frac{1714 - 1180,7}{3,388 - 1,56} \right) \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 30 = -0,525 \text{ Kg/m}^2$$

Bistvene razlike pri rezultatih ni. Izračun stopnje kondenzacije z vrednostmi parnega tlaka, ki smo jih pridobili s programom KI Energija 2014, nam pokaže, da so te vrednosti podobne vrednostim, izračunanim s pomočjo programa PIDVP. Glede na ugotovitve iz prejšnjih primerjav in ugotovitve iz te primerjave lahko sklepamo, da program PIDVP računa stopnjo kondenzacije v skladu s standardom SIST EN ISO 13788:2002. Na kakšen način računa program KI Energija 2014 pa ne vemo.

6 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi *Izdelava računalniškega programa za izračun difuzije vodne pare po standardu SIST EN ISO 13788* smo na začetku predstavili teoretične osnove, kot so vlaga v gradbenem materialu, vlažnost zraka, difuzija in kondenzacija vodne pare. Pregledali smo zakonodajo, ki se navezuje na temo naše diplomske naloge ter preučili standard SIST EN ISO 13788:2002. V standardu so prikazani postopki in priporočila za oceno tveganja nastanka plesni zaradi kondenzacije na površini konstrukcijskega sklopa in kondenzacije zaradi difuzije vodne pare. V njem je prikazanih nekaj računskih primerov. Standard SIST EN ISO 13788:2002 smo primerjali s prenovljenim standardom SIST EN ISO 13788:2013.

Na podlagi zakonodaje in omenjenih standardov je bil izdelan računalniški program PIDVP, s pomočjo katerega lahko izračunamo vse vrste primerov, ki so opisani v standardu SIST EN ISO 13788:2002. Izdelava je potekala v Programu Microsoft Office Excel.

Naš cilj je bil izdelati omenjeni program PIDVP, ki bo pravilno deloval, bo enostaven in pregleden za uporabnika. Izdelava je potekala po korakih oziroma po primerih izračunov, kot so opisani v standardu SIST EN ISO 13788:2002. Dodali smo še en dodaten postopek za določitev notranje klime, ki je opisan v prenovljenem standardu SIST EN ISO 13788:2013. Za preglednejše delo smo program razdelili na več delovnih listov.

Ugotavljanje pravilnosti delovanja programa je potekalo tako, da smo vse računske primere, ki so navedeni v standardu SIST EN ISO 13788:2002, še enkrat izračunali z izdelanim programom PIDVP. Primerjali smo tudi rezultate izračunov med programom KI Energija 2014 in našim programom.

Iz analize vseh primerjav smo prišli do zaključka, da program deluje v skladu s standardom SIST EN ISO 13788:2002, in da je njegovo delovanje pravilno.

Program bi bilo vsekakor mogoče še izpopolniti. V izračunih bi na primer lahko upoštevali vpliv vlage na toplotno prevodnost gradbenih materialov, lahko pa bi tudi pripravili možnost za izračun difuzije vodne pare za konstrukcijski sklop, ki vsebuje vmesne zračne plasti. Možnosti za razširitev programa je veliko. Kljub temu pa smo s programom lahko zadovoljni, saj je bil naš cilj dosežen. Program nam namreč nudi veliko pomoč pri analizi konstrukcijskega sklopa z vidika difuzije vodne pare. Z njim lahko na enostaven način spreminjamo parametre, ki vplivajo na obnašanje konstrukcijskega sklopa z vidika difuzije vodne pare.

VIRI

- [1] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Uradni list RS, št. 42/2002: 4139–4161.
- [2] Malovrh, M., Praznik, M. 2010. Pravilno zračenje in prezračevanje. <http://gcs.gizrmk.si/Svetovanje/Publikacije/URE/URE1-11.htm> (Pridobljeno 9. 10. 2014.)
- [3] Žnidaršič, B. 2010. Vlaga je vzrok nastanka plesni. http://nep.vitra.si/datoteke/clanki/Plesen_Oktober_2010.pdf (Pridobljeno 5. 1. 2015.)
- [4] Grabovšek, B. 2007. Nevarnost površinske kondenzacije gradbenih konstrukcij. <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobvsek/PT302.htm> (Pridobljeno 5. 1. 2015.)
- [5] Kukec, A., Krainer, A., Dovjak, M. 2015. Možni negativni vplivi prekomerne vlažnosti notranjega okolja v stavbah na zdravje uporabnikov. *Gradb. vestn.* 64, 2: 36–44.
- [6] Pajek, L., Dovjak, M., Kristl, Ž. 2013. Vpliv gliv v grajenem okolju na zdravje ljudi. *Gradb. vestn.* 62, 8: 176–186.
- [7] Tomšič, M. Vlaga in materiali za gradbene konstrukcije. http://www.gi-zrmk.si/media/uploads/public/document/40-vlaga_in_materiali_za_gradbene_konstrukcije_sl.pdf (Pridobljeno 7. 1. 2015.)
- [8] Cvikl, B. 2002. *Gradbena fizika – delovno gradivo.* <http://mpinter.ifs.hr/student/data/gf-knjiga.pdf> (Pridobljeno 7. 1. 2015.)
- [9] Kladnik, R. 1991. *Visokošolska fizika. Mehanski in toplotni pojavi. 1. del.* Ljubljana: Državna založba Slovenije: 231 str.
- [10] Straže, A. *Termodinamika vlažnega zraka, stanja in spremembe.* http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/4_TERMODINAMIKA_VLAZNEGA_ZRAKA.pdf (Pridobljeno 7. 1. 2015)
- [11] Krainer, A. 2009. Faktor toplotne prehodnosti, ocena difuzije vodne pare, toplotna stabilnost. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente. <ftp://www.fgg.uni-lj.si/Sendable/Patricia/STAVBARSTVO/Stavbarstvo%20II%202009-10/Krainer%20Staro%20stavbarstvo/Stavbarstvo1/8%20difuzija%20toplote%20in%20vodne%20pare.pdf> (Pridobljeno 7. 1. 2015.)

- [12] Kristl, Ž. Toplotna prehodnost in difuzija vodne pare. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente.
<ftp://www.fgg.uni-lj.si/Sendable/Patricia/STAVBARSTVO/Stavbarstvo%20II%202009-10/%8Eiva%20Teorija%20PDFji/3toplotna%20prehodnost%20in%20difuzija%20vodne%20pare.pdf> (Pridobljeno 7. 1. 2015.)
- [13] Zakon o graditvi objektov. Uradni list RS, št. 110/2002: 13084–13132.
- [14] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS, št. 52/2010: 7840–7847.
- [15] Tehnična smernica za graditev objekta TSG-1-004:2010, UČINKOVITA RABA ENERGIJE 2010. Ministrstvo za okolje in prostor.
- [16] SIST EN ISO 13788:2002. Higrotermalno obnašanje sestavnih delov stavb in elementov stavb – Notranja površinska temperatura za preprečevanje kritične vlage ob površini in kondenzacije v konstrukciji – Računska metoda (ISO 13788:2001)
- [17] ISO 13788:2012. Hygrothermal performance of building components and building elements – Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation – Calculation methods
- [18] SIST EN ISO 13788:2013. Higrotermalno obnašanje sestavnih delov stavb in elementov stavb – Notranja površinska temperatura za preprečevanje kritične vlage na površini konstrukcije in kondenzacije v konstrukciji – Računska metoda (ISO 13788:2012)
- [19] Program KI Energija 2014 – Pogosto zastavljena vprašanja. 2014.
<http://www.knaufinsulation.si/sites/si.knaufinsulation.net/files/KI-Energija-Pogosto-zastavljena-vprasanja-FAQ.pdf> (Pridobljeno 4. 2. 2015.)
- [20] KI Energija 2014. Knauf insulation.
<http://www.knaufinsulation.si/program-ki-energija-2014> (Pridobljeno 4. 2. 2015.)

SEZNAM PRILOG

Priloga A: Tabela prikaza mehanskih in fizikalnih lastnosti gradbenih materialov

Priloga B: Program za izračun difuzije vodne pare (PIDVP) – na priloženi zgoščenci

PRILOGA A: Tabela prikaza mehanskih in fizikalnih lastnosti gradbenih materialov**Prikaz mehanskih in fizikalnih lastnosti gradbenih materialov [15]**

Material	gostota	specifična toplota	toplotna prevodnost	difuzijska upornost vodni pari
I. ZIDOVI				
PARNA ZAPORA	460	460	0,19	150
TOPLOTNA IZOLACIJA	/	550	0,032	2
OPEKA	/	45	0,21667	22
NOTRANJA OBLOGA	/	175	0,2	10
2.1. MREŽASTA IN VOTLA OPEKA (GOSTOTA SKUPAJ Z ODPRTINAMI) (P = 1400)	1400	920	0,61	6
2.2. MREŽASTA IN VOTLA OPEKA (GOSTOTA SKUPAJ Z ODPRTINAMI) (P = 1200)	1200	920	0,52	4
3. POROZNA OPEKA	800	920	0,33	2,5
4.1. KLINKER OPEKA; POLNA KLINKER OPEKA, (P = 1900)	1900	880	1,05	35
4.2. KLINKER OPEKA; POLNA KLINKER OPEKA, (P=1700)	1700	880	0,79	30
5.1. BLOKI IZ ELEKTROFILTRSKEGA PEPELA (P = 1500)	1500	920	0,58	5
5.1. BLOKI IZ ELEKTROFILTRSKEGA PEPELA (P = 1300)	1300	920	0,47	4
6.1. SILIKATNA POLNA OPEKA (P = 2000)	2000	920	1,1	20
6.2. SILIKATNA POLNA OPEKA (P = 1800)	1800	920	0,99	16
6.2. SILIKATNA POLNA OPEKA (P = 1600)	1600	920	0,79	13
7.1. SILIKATNA VOTLA OPEKA (GOSTOTA SKUPAJ Z ODPRTINAMI) (P = 1400)	1400	920	0,7	7
7.2. SILIKATNA VOTLA OPEKA (GOSTOTA SKUPAJ Z ODPRTINAMI) (P = 1200)	1200	920	0,56	4
8. POROLIT	1200	920	0,52	4
9.1. ŽLINDRIN TERMO BLOK (GOSTOTA SKUPAJ Z ODPRTINAMI) (P = 1600)	1600	920	0,64	4
9.2. ŽLINDRIN TERMO BLOK (GOSTOTA SKUPAJ Z ODPRTINAMI) (P = 1400)	1400	920	0,58	4
9.3. ŽLINDRIN TERMO BLOK (GOSTOTA SKUPAJ Z ODPRTINAMI) (P = 1200)	1200	920	0,52	4
10.1. BLOKI IZ POROBETONA (P = 440)	440	860	0,13	5
10.2. BLOKI IZ POROBETONA (P = 460)	460	860	0,14	5
10.3. BLOKI IZ POROBETONA (P = 500)	500	860	0,16	5
10.4. BLOKI IZ POROBETONA (P = 650)	650	860	0,18	5
11.1. BLOKI IZ CELIČNEGA BETONA (P = 800)	800	1050	0,35	7
11.2. BLOKI IZ CELIČNEGA BETONA (P = 600)	600	1050	0,27	5
12.1. POLNI BLOKI IZ LAHKEGA BETONA (P = 1000)	1000	840	0,47	4
12.2. POLNI BLOKI IZ LAHKEGA BETONA (P = 1200)	1200	840	0,52	5
12.3. POLNI BLOKI IZ LAHKEGA BETONA (P = 1400)	1400	840	0,64	7
12.4. POLNI BLOKI IZ LAHKEGA BETONA (P = 1600)	1600	840	0,8	9

13.1. BETONSKI BLOKI Z ODPRTINAMI V DVEH VRSTAH, IZ LAHKEGA BETONA (GOSTOTA BREZ ODPRTIN)	1000	1050	0,44	2
13.2. BETONSKI BLOKI Z ODPRTINAMI V DVEH VRSTAH, IZ LAHKEGA BETONA (GOSTOTA BREZ ODPRTIN)	1200	1050	0,49	3
14. BETONSKI BLOKI Z ODPRTINAMI V TREH VRSTAH, IZ LAHKEGA BETONA (GOSTOTA BREZ ODPRTIN)	1500	1050	0,49	5
15. ZID IZ NARAVNEGA KAMNA	2000	920	1,16	22
16. BETONSKI VOTLAKI Z ODPRTINAMI V TREH VRSTAH (GOSTOTA SKUPAJ Z ODPRTINAMI)	1600	960	0,74	10
II. MALTE				
18. NOTRANJI SLOJ	1600	1050	0,16	10
19.1. PODALJŠANA APNENA MALTA (P = 1700)	1700	1050	0,85	15
19.2. PODALJŠANA APNENA MALTA (P = 1800)	1800	1050	0,87	20
19.3. PODALJŠANA APNENA MALTA (P = 1900)	1900	1050	0,99	25
20.1. CEMENTNA MALTA	2100	1050	1,4	30
20.2. CEMENTNI ESTRIH	2200	105	1,4	30
23.1. MAVČNA IN APNENA MAVČNA MALTA	1500	920	0,7	9
23. 2. LAHKA MAVČNA MALTA	1000	920	0,7	4
24.1. PERLITNA MALTA	500	1050	0,13	4
24.2. TOPLOTNO IZOLACIJSKA MALTA	600	920	0,19	6
24.3. MAVČNA MALTA NA TRSTIKI	1000	920	0,47	3
24.4. MAVČNA MALTA NA RABIC MREŽI	1200	929	0,58	4
III. NARAVNI KAMEN IN ZEMLJINA				
25.1. GRANIT, GNAJS (P = 2600)	2600	920	3,5	65
25.2. GRANIT, GNAJS (P = 2800)	2800	920	3,5	65
26.1. GOSTI APNENEC, DOLOMIT, MARMOR (P = 2600)	2600	920	2,3	65
26.2. GOSTI APNENEC, DOLOMIT, MARMOR (P = 2850)	2850	920	3,5	65
27. PEŠČENEC, AMORFNI APNENEC	2600	920	1,7	50
28.1. PESEK IN DROBNI GRAMOZ (P = 1750)	1750	840	1,4	15
28.2. PESEK IN DROBNI GRAMOZ (P = 2000)	2000	840	1,7	15
29.2. ZARAŠČENO ZEMLJIŠČE, HUMUS (P = 2000)	1500	840	1,5	50
29.1. ZARAŠČENO ZEMLJIŠČE, HUMUS (P = 1500)	2000	840	2,6	50
IV. POLNILA				
30. PESEK, SUH	1800	840	0,58	1,4
31. GRAMOZ, SUH	1700	840	0,81	1,5
32. ZDROBLJENA OPEKA	800	840	0,41	1,3
33. ZDROBLJENA PLUTA	50	840	0,04	1,1
34. PERLIT, NASUTJE	100	840	0,05	1,3
35. KERAMZIT, NASUT	400	840	0,22	1,3
36. OBLANCI	250	2090	0,09	1,2
37. NASUTA ZEMLJINA (VLAŽNA)	1700	840	2,1	

V. BETON				
38.1. BETON S KAMNITIMI AGREGATI (P = 2500)	2500	960	2,33	90
38.2. BETON S KAMNITIMI AGREGATI (P = 2400)	2400	960	2,04	60
38.3. BETON S KAMNITIMI AGREGATI (P = 2200)	2200	960	1,51	30
38.4. BETON S KAMNITIMI AGREGATI (P = 2000)	2000	960	1,16	22
38.5. BETON S KAMNITIMI AGREGATI (P = 1800)	1800	960	0,93	15
39.1. KERAMZITNI BETON (P = 1400)	1400	1000	0,58	10
39.2. KERAMZITNI BETON (P = 1200)	1200	1000	0,47	6
39.3. KERAMZITNI BETON (P = 1000)	1000	1000	0,38	4
39.4. KERAMZITNI BETON (P = 800)	800	1000	0,29	3
40.1. PARJENI CELIČNI BETON (P = 800)	800	1050	0,29	7
40.2. PARJENI CELIČNI BETON (P = 600)	600	1050	0,23	5
40.3. PARJENI CELIČNI BETON (P = 500)	500	1050	0,19	3
40.4. PARJENI CELIČNI BETON (P = 400)	400	1050	0,14	2
41.1. BETON IZ CELIČNEGA DROBIRJA (P = 1600)	1600	920	0,76	6
41.2. BETON IZ CELIČNEGA DROBIRJA (P = 1400)	1400	920	0,58	4
41.3. BETON IZ CELIČNEGA DROBIRJA (P = 1200)	1200	920	0,47	3
42.1. BETON IZ ŽLINDRE (P = 1600)	1600	960	0,76	5
42.2. BETON IZ ŽLINDRE (P = 1400)	1400	960	0,58	4
42.3. BETON IZ ŽLINDRE (P = 1200)	1200	960	0,47	3
VI. MATERIALI ZA OBLOGE				
44.1. MAVČNOKARTONSKE PLOŠČE DO 15 mm	900	840	0,21	12
44.2. MAVČNOKARTONSKE PLOŠČE DO 18 mm	900	840	0,23	8
45.1. POLNE MAVČNE PLOŠČE (P = 1400)	1400	840	0,7	12
45.2. POLNE MAVČNE PLOŠČE (P = 1200)	1200	840	0,58	8,5
45.3. POLNE MAVČNE PLOŠČE (P = 1000)	1000	840	0,47	6
46.1. MAVČNE PLOŠČE S POLNILI, ODPRTINAMI ALI POROZNE (P = 800)	800	840	0,35	4
46.2. MAVČNE PLOŠČE S POLNILI, ODPRTINAMI ALI POROZNE (P = 600)	600	840	0,29	3
47. KLINKER PLOŠČICE	1900	920	1,05	100
48. PLOŠČE IZ OPEKE	1800	920	0,79	20
49. FASADNE PLOŠČE, GLAZIRANE	1800	920	0,92	300
50.1. KERAMIČNE PLOŠČICE, STENSKE, GLAZIRANE	1700	920	0,87	200
50.2. KERAMIČNE PLOŠČICE, TALNE, NEGLAZIRANE	2300	920	1,28	200
51.1. KERAMIČNI MOZAIK 50 mm X 50 mm – 16 % REGE	1900	880	0,99	140
51.2. KERAMIČNI MOZAIK 20 mm X 20 mm – 21 % REGE	1900	880	0,99	100
51.1. KERAMIČNI MOZAIK 12 mm X 12 mm – 26 % REGE	1900	880	0,99	90
53. LINOLEJ	1200	1880	0,19	150
54. GUMA	1000	1470	0,16	500
55.1. VNAPREJ IZDELANI BETONSKI ELEMENTI (P = 2500)	2500	960	2,33	90
55.2. VNAPREJ IZDELANI BETONSKI ELEMENTI (P = 2400)	2400	960	2,04	70
56. LAHKI BETONSKI ELEMENTI	1200	920	0,47	10

57. PLOŠČE IZ GOSTIH APNENCEV, DOLOMITA IN MARMORJA	2700	880	2,33	65
58. PLOŠČE IZ PEŠČENJAKA	2600	80	2,33	50
59. OKENSKO STEKLO	2500	840	0,81	10000
60. ARMIRANO STEKLO	2600	840	0,44	100000
61. VOTLI STEKLENI BLOKI	110	840	0,44	4000
62.1 LES, HRAST	750	2200	0,21	50
62.2. LES, SMREKA, BOR	550	2090	0,14	70
63. PANELNE PLOŠČE, OBSTOJNE V VODI	600	2090	0,12	60
63.1. TEŽKE, ZA ZUNANJE OBLOGE	620	2090	0,13	60
63.2. LAŽJE, ZA NOTRANJE OBLOGE	400	2090	0,08	30
64. VEZANE PLOŠČE, OBSTOJNE V VODI	660	2090		100
64.1. ZA NOTRANJE OBLOGE	550	2090	0,14	60
65.1. IVERNE PLOŠČE, TRDE	1000	1880	0,12	17
65.2. IVERNE PLOŠČE, MEHKE (P=400)	400	2090	0,058	6
66. IVERNE PLOŠČE, STISNJENE	600	2090	0,099	60
67.1. PLOŠČE IZ LESENE VOLNE, DEBELINE 15 mm	550	2010	0,14	11
67.2. PLOŠČE IZ LESENE VOLNE, DEBELINE 25 mm	500	1670	0,099	8
67.3. PLOŠČE IZ LESENE VOLNE, DEBELINE 35 mm	450	1670	0,093	6
67.4. PLOŠČE IZ LESENE VOLNE, DEBELINE 50 mm	400	1670	0,081	5
68. PAPIRNATE TAPETE	600	1340	0,15	5
69. BITUMEN	1100	1050	0,17	1200
70. ASFALT	2100	1050	0,7	2500
71. BITUMENSKA LEPENKA	1100	1460	0,19	2000
72.1. PVC, HOMOGEN	1400	960	0,23	10000
72. 2. PVC, NA KLOBUČEVINI	800	960	0,12	3000
73. VINIL AZBESTNE PLOŠČE	950	960	0,16	1000
74. DESKE ZA TLA	520	1670	0,14	15
75. PARKET	700	1670	0,14	15
76. TRDE PLOŠČE IZ LESENIH VLAKEN	900	1670	0,19	15
77. POLIETILENSKE FOLIJE	1000	1250	100	80000
78. PVC-FOLIJA, MEHKA	1200	960	0,19	420000
79.1. BITUMENSKI TRAK Z VLOŽKOM ALUMINIJSKE FOLIJE, DEBELINE 0,1 mm	900	1460	0,19	100000
79.2. BITUMENSKI TRAK Z VLOŽKOM ALUMINIJSKE FOLIJE, DEBELINE 0,2 mm	950	1460	0,19	150000
80. BITUMENSKI TRAKOVI, ZVARJENI, DEBELINE 5 mm Z ALUMINIJSKO FOLIJO DEBELINE 0,2 mm	1000	1460	0,19	140000
81. STREŠNA LEPENKA	1100	1460	0,19	2000
82. VEČKRATNI BITUMENSKI PREMAZ, ARMIRAN V ENI PLASTI – 10 mm	1100	1460	0,17	10000
83.1. VEČPLASTNA BITUMENSKA HIDROIZOLACIJA DEBELINE 13 DO 16 mm	1100	1460	0,19	14000
83.2. VEČPLASTNA BITUMENSKA HIDROIZOLACIJA NA PERFORIRANI LEPENKI	1200	1460	0,19	14000
84. PVC STREŠNI TRAKOVI, MEHKI	1200	960	0,19	20000

85. PIB (POLIIZOBUTIL) TRAKOVI	1600	960	0,26	300000
86. CR (KLOROPREN-KAVČUK) TRAKOVI	1300	1000	0,23	100000
87. CSM (KLOSULFIDNI POLIETILEN) TRAKOVI	1500	1000	0,3	80000
88. EPDM (ETILEN-PROPILEN-KAVČUK) TRAKOVI	1200	1040	0,3	100000
89. STREŠNIKI	1900	880	0,99	40
90. SKRILNE PLOŠČE	2800	820	2,9	120
VII. KOVINE				
91.1 JEKLO	7800	460	53,5	600000
91.2. LITO JEKLO	7200	500	46,5	600000
92.1. ALUMINIJSKA FOLIJA, DEBELINE 0,1 mm	2700	940	203	600000
92.2. ALUMINIJSKA FOLIJA, DEBELINE 0,15 mm	2700	940	203	700000
92.3. ALUMINIJSKA FOLIJA, DEBELINE 0,2 mm	2700	940	203	800000
93.1. BAKRENA FOLIJA, DEBELINE 0,1 mm	9000	380	380	700000
93.2. BAKRENA FOLIJA, DEBELINE 0,15 mm	9000	380	380	800000
94. SVINEC	11500	130	35	
95. CINK	7100	390	110	
VIII. TOPLOTNI IZOLATORJI				
96.1. STEKLENA VOLNA (P = 15)	15	840	0,039	1,1
96.2. STEKLENA VOLNA (P = 20)	20	840	0,035	1,2
96.3. STEKLENA VOLNA (P = 30)	30	840	0,032	1,2
96.4. STEKLENA VOLNA (P = 60)	60	840	0,032	1
96.5. STEKLENA VOLNA (P = 80)	80	840	0,034	1
97.1. KAMENA VOLNA (P = 45)	45	840	0,034	1,2
97.2. KAMENA VOLNA (P = 45)	45	840	0,035	1,2
97.3. KAMENA VOLNA (P = 100)	100	840	0,033	150
97.4. KAMENA VOLNA (P = 160)	160	840	0,037	1
97.5. KAMENA VOLNA (P = 175)	175	840	0,039	1,6
98. STEKLENA PENA	145	840	0,056	10000
99.1. PLUTA, EKSPANDIRANA, IMPREGNIRANA (P = 120)	120	1670	0,041	10
99.2. PLUTA, EKSPANDIRANA, IMPREGNIRANA (P=160)	160	1670	0,044	22
100. PLOŠČE IZ PREŠITE TRSTIKE	800	1260	0,046	2
101. PLOŠČE IZ STISKANE SLAME	350	1470	0,098	3
102. BRIZGANI AZBEST	400	1670	0,12	38
103.1. LESNI BETON (P = 550)	550	1465	0,14	5
103.2. LESNI BETON (P = 800)	800	1465	0,24	10
104.1. SINTETIČNE PLOŠČE IZ VEČPLASTNEGA POLIESTRA (P = 1400)	1400	1590	0,19	50000
104.2. SINTETIČNE PLOŠČE IZ VEČPLASTNEGA POLIESTRA (P = 1500)	1500	1090	0,2	500000
105. PLOŠČE IZ AKRILNE SMOLE	1180	1000	0,19	8000
106. PVMD IN PVC PLOŠČE	1400	960	0,21	16000
107.1. POLISTIRENSKE PLOŠČE (V BLOKIH) (P = 15)	15	1260	0,041	25
107.2. POLISTIRENSKE PLOŠČE (V BLOKIH) (P = 20)	20	1260	0,041	35
107.3. POLISTIRENSKE PLOŠČE (V BLOKIH) (P = 25)	25	1260	0,041	40
107.4. POLISTIRENSKE PLOŠČE (V BLOKIH) (P = 30)	30	1260	0,041	45

108.1. POLISTIREN, IZDELAN V KALUPIH (P = 20)	20	1260	0,041	40
108.2. POLISTIREN, IZDELAN V KALUPIH (P = 25)	25	1260	0,041	50
108.3. POLISTIREN, IZDELAN V KALUPIH (P = 30)	30	1260	0,041	60
109.1. FENOLNE PLOŠČE, REZANE IZ BLOKOV (P = 40)	40	1260	0,041	35
109.2. FENOLNE PLOŠČE, REZANE IZ BLOKOV (P = 60)	60	1260	0,041	40
110.2. POLIURETANSKE PLOŠČE, IZREZANE IZ BLOKOV (P = 40)	30	1380	0,035	40
110.1. POLIURETANSKE PLOŠČE, IZREZANE IZ BLOKOV (P = 30)	40	1380	0,035	50
111. PVC-PLOŠČE	50	1260	0,041	200
112. UREA PLOŠČE	15	1260	0,04	3
113.1. EKSTRUDIRAN POLISTIREN (XPS) DO DEBELINE 80 mm Z GLADKO POVRŠINO	33	1500	0,035	50
113.2. EKSTRUDIRAN POLISTIREN (XPS) DO DEBELINE 80 mm Z BRUŠENO POVRŠINO	35	1500	0,036	150
114. OVČJA VOLNA	20	900	0,04	1
115. KOKOSOVA VLAKNA	100	1600	0,045	1
116. VLAKNASTE LESNE PLOŠČE	190	2000	0,045	10
117. TOPLOTNOIZOLACIJSKI OMETI			0,09–0,25	9
118. CELULOZNA VLAKNA	85	1800	0,04	1
119. BOMBAŽ	20	840	0,04	1
120. PERLITNE PLOŠČE	150	1000	0,06	5
121. PENJENO STEKLO	140	1100	0,06	100000000
122.1. POLIURETANSKA PENA (P = 15)	15	1500	0,025	30
122.2. POLIURETANSKA PENA (P = 80)	80	1500	0,04	100
123. PERLITNO NASUTJE	90	1000	0,05	3