

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:

Kozelj, J., 2015. Polna opeka normalnega formata, proizvedena s starim postopkom žganja. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Bokan Bosiljkov, V.): 68 str.

Datum arhiviranja: 23-07-2015

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:

Kozelj, J., 2015. Polna opeka normalnega formata, proizvedena s starim postopkom žganja. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bokan Bosiljkov, V.): 68 p.

Archiving Date: 23-07-2015

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

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE OPERATIVNO
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

JOŠT KOZELJ

**POLNA OPEKA NORMALNEGA FORMATA,
PROIZVEDENA S STARIM POSTOPKOM ŽGANJA**

Diplomska naloga št.: 92/OG-MK

HANDMADE FIRED BRICK PRODUCTION

Graduation thesis No.: 92/OG-MK

Mentorica:

prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

Predsednik komisije:

prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

Član komisije:

izr. prof. dr. Jana Šelih

viš. pred. dr. Aleksander Srdić

Ljubljana, 09. 07. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **JOŠT KOZELJ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»Polna opeka normalnega formata, proizvedena s starim postopkom žganja.«

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 30. junij 2015

(podpis)

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	691.421(043.2)
Avtor:	Jošt Kozelj
Mentor:	prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov
Naslov:	Polna opeka normalnega formata, proizvedena s starim postopkom žganja
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – visokošolski strokovni študij
Obseg in oprema:	68 str., 39 tab., 9 graf., 29 sl., 8 pril.
Ključne besede:	opeka, žganje, laboratorijski preizkusi, glina, ilovica

Izveček

V diplomski nalogi so opisani in slikovno predstavljeni ročni postopki izdelovanja opek ter dodani opisi s skicami treh vrst peči, namenjenih žganju opek.

Na terenu so bile pridobljene tri vrste opek, dve vrsti novih, narejenih po dveh različnih starih metodah ter ena vrsta starih opek, odvzetih s starega objekta, ki so ga nedavno rušili.

Na vseh treh vrstah opek so bile v *Konstruktivsko-prometnem laboratoriju UL FGG* izvedene osnovne preiskave opek, to so preverjanje dimenzij, ravnosti in vzporednosti ploskev, različnih vodovpojnosti in tlačne trdnosti.

S prvima dvema vrstama opek je bila na terenu odvzeta tudi zemljina, tako imenovana ilovica, ki jo uporabljajo kot surovino za izdelavo opek. Tudi na zemljini so bile izvedene osnovne preiskave, in sicer smo določili zrnavostno sestavo in Attenbergove meje plastičnosti. Preiskave na zemljinah so bile izvedene na *Katedri za mehaniko tal z laboratorijem UL FGG*.

V diplomski nalogi so opisani postopki preizkušanja opek ter podani dobljeni rezultati. Podana je tudi primerjava rezultatov za tri vrste opek.

BIBLIOGRAPHICAL AND DOCUMENTATIONAL PAGE AND ABSTRACT

UDC:	691.421(043.2)
Author:	Jošt Kozelj
Supervisor:	Prof. Violeta Bokan-Bosiljkov, Ph. D.
Title:	Handmade fired brick production
Document type:	Graduation Thesis - Higher professional studies
Length and equipment:	68 p., 39 tab., 9 graph., 29 fig., 8 ann.
Keywords:	brick, burning, laboratory tests, clay, loam

Abstract

Handmade brick production with description and images is presented in the diploma work, supported by sketches of three different types of brick making kilns.

Three different types of brick were received from the field; two types of brick produced by two traditional technologies of handmade brick production and one type of old brick, collected after an old house de-construction.

All three types of brick were tested in the *KPL laboratory of UL FGG*. Standard tests were carried out, such as determination of size and dimensions, flatness and parallelism of surfaces, different types of water absorption and compressive strength.

For the first two types of brick, also soil for brick production, called loam, was taken in-situ. Basic soil tests were carried out on these two specimens, i.e. grain size distribution and Attenberg limits of plasticity. Soil tests were carried out at the *Chair of Soil Mechanics with Laboratory*.

The diploma work describes brick testing procedures, along with obtained results. Results obtained for the three different types of brick are compared.

ZAHVALA

Najprej se zahvaljujem staršema, ki sta mi omogočila študij in me spodbujala pri pisanju diplomske naloge.

Zahvalil bi se vsem sošolcem za skupno delo in raziskovanje, za pomoč in vztrajnost.

Zahvalil bi se tudi mentorici prof. dr. Violeti Bokan-Bosiljkov za možnost samostojnega raziskovanja ter njenim sodelavcem za debate in smernice.

Hvala vsem.

jOšt

»Prazna stran.«

KAZALA

Kazalo vsebine

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHICAL AND DOCUMENTATIONAL PAGE AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA.....	V
1 UVOD	7
1.1 Namen raziskovalnega dela	7
1.2 Kratka zgodovina proizvodnje opeke – od nekoč do danes	7
2 SPLOŠNO	10
2.1 Glina	10
2.1.1 Delitev	10
2.1.2 Lastnosti	11
2.2 Opeka	12
2.2.1 Ilovica	12
2.2.2 Proces žganja	12
2.2.3 Izdelek	13
2.2.4 Postopek izdelave opek	15
3 TEHNOLOGIJA IZDELAVE OPEK NA TRADICIONALEN NAČIN.....	17
3.1 Kopa	17
3.1.1 Priprava surovine in terena	17
3.1.2 Osebje in orodje	18
3.1.3 Surova opeka	19
3.1.4 Postavljanje peči	20
3.1.5 Žganje in demontaža peči	22
3.2 Poljska peč	23
3.2.1 Delovni objekti	23
3.2.2 Osebje, orodje, material	24
3.2.3 Priprava ilovice	25
3.2.4 Surova opeka	26
3.2.5 Polnjene peči	27
3.2.6 Žganje	28
3.3 Zidana peč	28
4 LABORATORIJSKE PREISKAVE.....	30
4.1 Splošno o preiskavah opek	30
4.1.1 Dimenzije in tolerance	30
Toleranca srednje vrednosti	30
Toleranca območja dimenzije	30
4.1.2 Ravnost in vzporednost površin	31
4.1.3 Oblika	31

4.1.4	Gostota.....	31
4.1.5	Tlačna trdnost	31
4.1.6	Trajnost	32
4.1.7	Termalne lastnosti in absorpcija vode.....	32
4.1.8	Prisotnost aktivnih vodotopnih soli	32
4.1.9	Tabela standardov	33
4.1.10	Opis, označevanje in klasifikacija opečnih izdelkov	34
4.1.11	Annex A.....	34
4.1.12	Fizikalne lastnosti opeke po JUS standardu.....	36
4.2	Opis in potek preiskav, povprečni rezultati.....	37
4.2.1	Določevanje tlačne trdnosti	37
4.2.2	Ugotavljanja vpivanja vode z namakanjem opečnih zidakov za zidove, neprepustne za vlago (obloge), v vreli vodi	41
4.2.3	Ugotavljanje začetne stopnje vpivanja vode opečnih zidakov	43
4.2.4	Določevanje neto in bruto gostote suhih zidakov	46
4.2.5	Določevanje mer	49
4.2.6	Ugotavljanje ravnosti površin zidakov	51
4.2.7	Ugotavljanje vpivanja hladne vode.....	54
4.3	Rezultati preiskav in analize.....	56
4.3.1	Mere in ravnosti površin	56
4.3.2	Bruto gostota, neto in bruto prostornine in prostornine por	57
4.3.3	Vpivanje vode in začetna stopnja vpivanja vode.....	58
4.3.4	Tlačna trdnost	59
4.4	Preiskave zemljine	59
4.4.1	Določanje zrnastostne sestave zemljine	59
4.4.2	Določanje Attenbergovih meja plastičnosti	61
5	ZAKLJUČEK	66
5.1	Namen in pogoji za uporabo	66
5.2	Komentar k tezi	66
5.2.1	Opis postopka	66
5.2.2	Uporaba opeke v kulturno zaščiteneh objektih.....	67
5.2.3	Zemljina.....	67
VIRI	68

Kazalo slik

<i>Slika 1: Različne vrste gline</i>	10
<i>Slika 2: Oblika in dimenzije NF opeke</i>	13
<i>Slika 3: Priprava ilovice in ravnanje terena [8]</i>	18
<i>Slika 4: Blatar [11] in vozač [8]</i>	18
<i>Slika 5: Odnášalka in obračanje opeke [11]</i>	19
<i>Slika 6: Zlaganje opeke in oslica [11]</i>	20
<i>Slika 7: Tlorisi in pogledi peči [8]</i>	21
<i>Slika 8: Zložena in naložena peč [11]</i>	21
<i>Slika 9: Žganje peči [11]</i>	22
<i>Slika 10: Pečena opeka, po demontaži peči [11]</i>	23
<i>Slika 11: Ceglarska peč iz dveh pogledov</i>	24
<i>Slika 12: Ceglarsko orodje</i>	25
<i>Slika 13: Priprava ilovice v glinokopu [15]</i>	25
<i>Slika 14: Proces izdelave surove opeke [15]</i>	26
<i>Slika 15: Zlaganje in štetje opek [15]</i>	26
<i>Slika 16: Sušenje surove opeke v sušilnici [16]</i>	27
<i>Slika 17: Zlaganje opeke v pečnico – tloris in pogled</i>	27
<i>Slika 18: Pogled v kurišče in pečena opeka</i>	28
<i>Slika 19: Notranjost zidane peči</i>	29
<i>Slika 20: Zunanjost zidane peči</i>	29
<i>Slika 21: Smer tlačnega obremenjevanja</i>	59
<i>Slika 22: Definiranje osnovnih ploskev in stranic</i>	ix
<i>Slika 23: Preverjanje dimenzij</i>	ix
<i>Slika 24: Odstopanje od vzporednosti ploskve A</i>	x
<i>Slika 25: Odstopanje od vzporednosti ploskve A</i>	x
<i>Slika 26: Odstopanje od vzporednosti ploskve B</i>	x
<i>Slika 27: Odstopanje od vzporednosti ploskve B</i>	xi
<i>Slika 28: Odstopanje od vzporednosti ploskve C</i>	xi
<i>Slika 29: Odstopanje od vzporednosti ploskve C</i>	xi

Kazalo tabel

<i>Tabela 1: Osnovne inženirske lastnosti opeke [12]</i>	14
<i>Tabela 2: Dovoljeno odstopanje dimenzij</i>	30
<i>Tabela 3: Dovoljena razlika za posamezno dimenzijo</i>	31
<i>Tabela 4: Kategorije odstopanja pri določanju bruto in neto suhe gostote</i>	31
<i>Tabela 5: Kategorije izpostavljenosti pri določanju zmrzilske odpornosti</i>	32
<i>Tabela 6: Prisotnost vodotopnih snovi v opeki</i>	32
<i>Tabela 7: Standardi, ki podajajo metode določanja posamezne lastnosti opek</i>	33
<i>Tabela 8: Podatki vzorca V.I, nova opeka, izdelana po starem postopku</i>	35
<i>Tabela 9: Podatki vzorca V.II, nova opeka, izdelana po starem postopku</i>	35
<i>Tabela 10: Podatki vzorca X, stara opeka, odvzeta iz hiše</i>	35
<i>Tabela 11: Hitrost nanašanja obtežbe</i>	38
<i>Tabela 12: Faktor δ za določanje normirane tlačne trdnosti</i>	39
<i>Tabela 13: Rezultati preiskave po SIST EN 772-1</i>	40
<i>Tabela 14: Rezultati preiskave po SIST EN 772-7</i>	42
<i>Tabela 15: Časi namakanja različnih zidakov</i>	43
<i>Tabela 16: Rezultati preiskave po SIST EN 772-11</i>	45
<i>Tabela 17: Rezultati preiskave po SIST EN 772-13</i>	48
<i>Tabela 18: Rezultati preiskave po SIST EN 772-16</i>	50
<i>Tabela 19: Rezultati preiskave po SIST EN 772-20</i>	52
<i>Tabela 20: Rezultati preiskave po SIST EN 772-20</i>	53
<i>Tabela 21: Rezultati preiskave po SIST EN 772-21</i>	55
<i>Tabela 22: Dovoljeno odstopanje dimenzij</i>	56
<i>Tabela 23: Odstopanje posameznih dimenzij vzorcev</i>	56
<i>Tabela 24: Pogoji za določanje ranga</i>	56
<i>Tabela 25: Določanje ranga posameznih skupin vzorcev</i>	56
<i>Tabela 26: Analiza rezultatov preiskave SIST EN 772-16</i>	57
<i>Tabela 27: Meja plastičnosti posamezne preiskane zemljine</i>	62
<i>Tabela 28: Meja židkosti posamezne preiskane zemljine</i>	62
<i>Tabela 29: Meja krčenja posamezne preiskane zemljine</i>	63
<i>Tabela 30: Indeksi in stanje zemljin, odvzetih iz deponije</i>	65

Kazalo preglednic

<i>Preglednica 1: Rezultati preiskav po SIST EN 772-1</i>	<i>ii</i>
<i>Preglednica 2: Rezultati preiskav po SIST EN 772-7</i>	<i>iii</i>
<i>Preglednica 3: Rezultati preiskav po SIST EN 772-11</i>	<i>iv</i>
<i>Preglednica 4: Rezultati preiskav po SIST EN 772-13</i>	<i>vi</i>
<i>Preglednica 5: Rezultati preiskav po SIST EN 772-16(a).....</i>	<i>vii</i>
<i>Preglednica 6: Rezultati preiskav po SIST EN 772-16 (b).....</i>	<i>viii</i>
<i>Preglednica 7: Rezultati preiskav po SIST EN 772-20</i>	<i>xii</i>
<i>Preglednica 8: Rezultati preiskav po SIST EN 772-21</i>	<i>xiii</i>
<i>Preglednica 9: Rezultati izračuna volumnov iz dobljenih rezultatov dimenzij in mas</i>	<i>xiv</i>

Kazalo grafikonov

<i>Grafikon 1: Vpijanje vode v časovnih intervalih</i>	<i>58</i>
<i>Grafikon 2: Prikaz začetnega vpijanja vode.....</i>	<i>58</i>
<i>Grafikon 3: Krivulja zrnivosti zemljine iz Ljubečne (V.I).....</i>	<i>60</i>
<i>Grafikon 4: Krivulja zrnivosti zemljine iz Melincev (V.II)</i>	<i>60</i>
<i>Grafikon 5: Identifikacija zemljine in prikaz na Cassagrandovem grafu za obe zemljini.....</i>	<i>61</i>
<i>Grafikon 6: Določitev meje židkosti zemljine V.I.....</i>	<i>62</i>
<i>Grafikon 7: Določitev meje židkosti zemljine V.II.....</i>	<i>63</i>
<i>Grafikon 8: Določitev meje krčenja zemljine V.I</i>	<i>64</i>
<i>Grafikon 9: Določitev meje krčenja zemljine V.II</i>	<i>64</i>

1 UVOD

1.1 Namen raziskovalnega dela

V slovenskem prostoru, kljub velikemu porastu različnih tehnologij gradnje, v stanovanjski gradnji še vedno prevladuje opečnata gradnja. Opeka in opečnata gradnja je v Sloveniji globoko zakoreninjena, saj tovrstno gradnjo uporabljamo že od rimskih časov. Zato je tudi samoumevno, da smo se Slovenci skozi stoletja izurili v izdelavi gradbenih proizvodov iz opečnatega materiala. Na to nakazuje dobro razvita opekarska industrija v Sloveniji. Pred industrializacijo opekarskih obratov je v Sloveniji mrgolelo samostojnih opekarskih delavnic. Opeko pa so, poleg opekarskih delavnic, še v prejšnjem stoletju ljudje na podeželju izdelovali kar sami. Za izdelovanje opeke so bili izurjeni opekarski mojstri, ki so znali pravilno izbrati in pripraviti material, ga zložiti v peč, in ga tudi pravilno speči. Sodeč po ljudskem izročilu so poljske kope množično postavljali povsod, kjer je bil za to primeren material, to je ilovica.

Namen raziskovalnega dela je raziskati in opisati način pridelave opek normalnega formata po starih, ročnih postopkih ter preiskati in opisati mehanske lastnosti teh opek ter rezultate primerjati z opekami, odvzetimi iz starih opečnatih hiš.

Opis mehanskih lastnosti nam lahko služi kot izhodišče pri uporabi opek v gradbeništvu, kjer tehnične specifikacije omejujejo uporabo opeke, ki ni izdelana v sodobnih industrijskih obratih. Pri obnavljanju starih, spomeniško zaščitenih stavb pogosto naletimo na opeko, ki so jo izdelali ročno v majhnih obratih. Diplomaska naloga bi lahko služila kot temelj za proizvodnjo opeke, primerne za uporabo pri obnavljanju spomeniško zaščitenih objektov.

Hkrati pa bi rad z raziskovalnim delom obudil in prikazal del naše kulturne dediščine, ki gre žal v pozabo. Ker so obrati, kjer ročno izdelujejo opeko, še delujoči ter med ljudmi znanje še obstaja, imamo enkratno priložnost, da se to znanje popiše in zabeleži na enem mestu.

1.2 Kratka zgodovina proizvodnje opeke – od nekoč do danes

Glina, kot osnovna surovina opekarskih izdelkov, na visoki temperaturi spremeni svoje mehanske in fizikalne lastnosti. Poveča se ji trdnost in trdota, zmanjša vodovpojnost in deformabilnost in postane odpornejša na vse zunanje vplive, predvsem vremenske.

Prvi primer uporabe glinenih plošč za strešno kritino je znan iz Grčije v 2. tisočletju pr. n. št., v 6. stoletju pr. n. št. pa so v Grčiji in južni Italiji že uporabljali tegule z zavijki v kombinaciji s polkrožnimi strešniki – korci [5]. V rimskem stavbarstvu se je žgana opeka začela uporabljati nekako v 1. stoletju pred našim štetjem. Torej so to lastnost gline Rimljani dobro poznali. Zato najbrž Blumenau [1] upravičeno trdi, da moramo pojav opeke na naših tleh povezovati z rimsko okupacijo, saj opeko najdemo v arheoloških plasteh naših najstarejših znanih rimskih najdišč. Opekarni so bile grajene na primernih mestih, kjer so bile vse potrebne surovine blizu, to je ilovica, les in voda.

Po oznakah na opekah se predvideva, da so bile opekarni sprva postavljene za potrebe rimske vojske, ki je na našem prostoru postavljala tabore. Opečnate izdelke so uporabljali za zidove, tlake, strehe, centralno kurjavo, kanalizacijo in vodovodne sisteme.

„Iz poznega cesarstva, to je 2. do 4. stoletje, poznamo v Sloveniji, tudi po neposrednih in v novejšem času podrobneje proučenih sledovih, opekarsko dejavnost v Poetoviju (Ptuj), Neviodunumu (Drnovo pri Krškem), okolici Emone (Ljubljana) in na odročnem podeželju (Sevnica)” [1, str. 13]. „Arheološka izkopavanja pa naj bi odkrila sledove opekarni tudi na

ledini Križ Cijan v Biljah. Najdbe segajo v časovni razpon od 1. do 5. stoletja po Kristusu. Omenjena opekarna se je razprostirala po površini 50 x 250 metrov vzdolž domnevne trase rimske ceste Aquileia–Emona” [2, str. 10].

Po razpadu zahodne rimske države je opekarstvo na slovenskih tleh začelo zamirati. Nepretrgana antična tradicija se je, tako Blumenau [1], ohranila le v slovenski Istri, saj naj bi to ozemlje pripadalo vzhodnemu imperiju, ki je bilo pod vplivom bizantinskega stavbarstva in je opeko ves čas rabilo. Sicer pa se je raba opeke znatno zmanjšala. Uporabljali so jo za pozidavo dvignjenih ognjišč in krušnih peči in še to se je na našem območju prijelo v poznem srednjem veku.

Ponovni razcvet opekarstva in z njim povezanih izdelkov vseh vrst je Slovenijo dosegel šele v 16. stoletju [1]. To potrjujejo tudi zapisi iz ljubljanskega mestnega arhiva, ki opisujejo razmah opekarskih delavnic v Ljubljani v začetku 16. stoletja. V Ljubljani sta v tem času delovali dve opekarni, zgornja in spodnja opekarna, kot navajajo viri [3], ki naj bi bili v lasti »mesta«. A nista bili edini, saj lahko zasledimo, da so v okolici ustanavljali opekarne v privatni lasti, ki pa so skozi čas menjale lastnike. Opekarne so izdelovale predvsem navadno polno opeko, imenovano zidak, strešnike, opeko za oboke, opeke za napušče in tlak, žlebake in druge tipe opečnih izdelkov.

Zidak je bil najbolj splošno uporabljena vrsta opečnih izdelkov, zato so ga izdelovali v največjih količinah. Vir [3] pravi, da sta ljubljanski mestni opekarni letno izdelali od 300 do 500 tisoč zidakov. Vsaka peč, ki so jo zakurili, je vsebovala od 45 do 55 tisoč zidakov, kar pomeni, da so letno zakurili deset peči, to je vsaka opekarna po pet peči.

V 19. stoletju je število opekarn še naraščalo. Ustanovljene so bile mnoge začasne opekarne, zgolj za konkretno potrebo pri gradnji in so jih po končani gradnji opustili. Blumenau [1] navaja, da je bilo proti koncu 19. stoletja v celjskem okraju 41 opekarn, v mariborskem 23, na goriškem pa naj bi jih delovalo 13. Tako lahko sklepamo, da je bila opekarska obrt v tem času še zelo živahna. Proti koncu stoletja so se razmere na trgu začele spreminjati. Male opekarske delavnice so se začele zapirati ali združevati v večje, saj so le s tem lahko konkurirale novo odprtim delavnicam s sodobnejšo tehnologijo, kot so Hoffmanove peči. Poleg tega je iz virov razbrati, da so nekateri opekarniški obrati delali negospodarno, razlog za zapiranje na posameznih mestih pa je bilo tudi pomanjkanje ustrezne surovine, ilovice [3].

V začetku 20. stoletja so tako ročni opekarski obrati počasi začeli prehajati na mehanizirani način izdelave opeke ter opečnih izdelkov in celo keramičnih izdelkov. Za odvzem in mešanje ilovice ter oblikovanje izdelkov se je začel uporabljati strojni pogon. Začele so se oblikovati večje pokrite površine za sušenje, kasneje zaprte kontrolirane sušilnice, ter krožne ali Hoffmannove peči.

Do prve polovice 20. stoletja je opekarska industrija močno napredovala. Najlepše kaže na to podatek, da je v 1974. letu v Sloveniji popisanih 36 opekarn [1]. V gorenjski regiji sta tako zabeleženi dve opekarni, Ljubljana z okolico je imela sedem opekarn, širša dolenjska regija pet opekarn, celjska štiri, Maribor z okolico pet, Ptuj s širšo okolico tri, Murska Sobota in okolica šest, primorska tri in celo v Zasavju je bila ena.

V zadnjih letih 20. stoletja, so se začela opekarska podjetja v Sloveniji množično zapirati. Na primer kranjske opekarne so svojo proizvodnjo zaprle leta 1988. Kot razlog vir [6] navaja zamrzovanje cen opeke in povišanje cen energije, kar pa je naredilo opekarno nerentabilno.

K zaprtju je pripomogla še slaba kakovost ilovice, ki je vsebovala apnenec, kar je pomenilo, da bi morali tehnologijo nadomestiti z novo.

Na zapiranje opekarn je močno vplivala tudi osamosvojitve Slovenije, saj se je posledično zmanjšal trg prodaje izdelkov.

Tako so danes v Sloveniji ostale le še tri industrijske opekarne, ki se ukvarjajo z razvojem, izdelovanjem in prodajo opečnatih izdelkov. To so Goriške opekarne, delniška družba v lasti domačega privatnega kapitala, Wienerberger opekarna Ormož, družba z omejeno odgovornostjo, ki je del Wienerber korporacije s sedežem na Dunaju ter Križevske opekarne, v lasti korporacije Tondach.

Poleg industrijskih opekarn pa je še vedno živo znanje iz dobe pred industrializacijo opekarskih delavnic. V slovenskem prostoru obratuje majhna opekarna, imenovana poljska opekarna, in sicer v Ljubečni pri Celju. Prav tako imamo še žive mojstre, ki znajo postaviti kopo, peč iz opek, ki se jo kuri na prostem. To tradicijo danes obnavljajo v Turističnem društvu Brod v Melincih v Prekmurju. Vsako leto naredijo tako imenovane Ciglarske dneve, kjer prikažejo postopek ročne izdelave opeke. Izdelano opeko v kopi tudi spečejo.

Zaključim lahko z ugotovitvijo, da je bila na slovenskem ozemlju opekarska dejavnost, to je tako opekarska obrt kot opekarska industrija, z izjemo zgodnje srednjeveške večstoletne cenzure, dobro zastopana že skoraj dva tisoč let. Tako lahko trdimo, da imamo Slovenci dobro znanje na področju izdelovanja opek in opečnatih izdelkov, ki ga moramo ohranjati in nadgrajevati.

2 SPLOŠNO

2.1 Glina

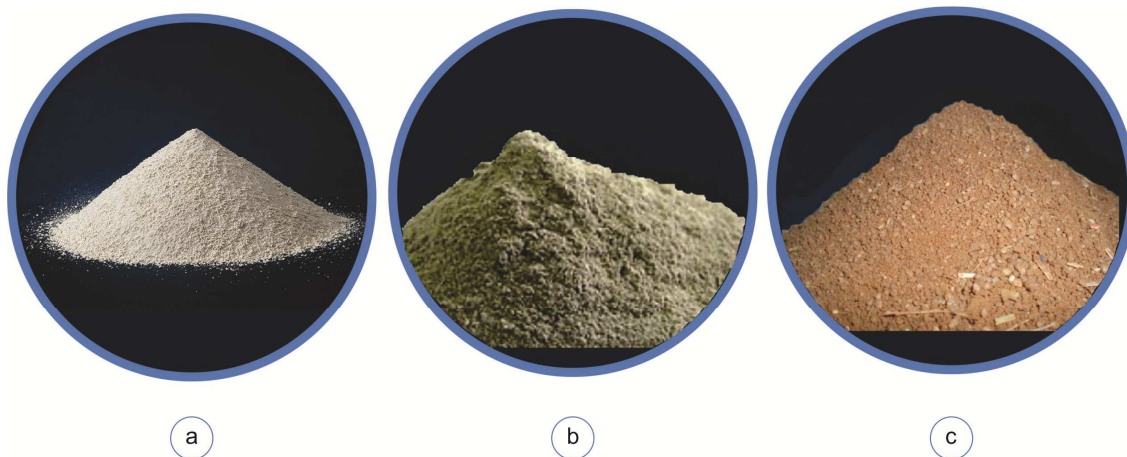
Gline so drobno zrnate rudninske zemljine koloidne sestave in so produkt razpadanja silikatnih kamenin [12]. Primarne ali *avtohtone* gline nastajajo s preperevanjem magmatskih kamnin (porfir, bazalt) in kristalastih skrilavcev (gnajs) ter iz živcev in rudnin plutonskih kamenin (granit, sienit) [7]. Sekundarne ali *alohtone* gline so nastajale s sedimentacijo obarjenih primarnih glin, kjer so se z vodo izpirale različne snovi. Alohtone gline imajo bolj plastovito in nehomogeno sestavo. So manj čiste saj imajo poleg osnovne surovine prisotne še druge snovi. Te gline so pogosto bolj plastične, saj vsebujejo več drobnih delcev. Po pogojih transporta ločimo alohtone gline na ledeniške, pobočne, rečne, jezerske, močvirske, morske, vulkanske in eolske.

Kaolin (Slika 1-a), bela mehka snov, je najčistejša glina in se uporablja kot osnovna surovina za različne vrste keramik. Njena nahajališča so primarna, saj je nastajala z razpadom kamnin. Čista v naravi ni pogosta, saj jo po navadi najdemo mešano z drugimi osnovnimi sestavinami gline, kot so *kremen* in *glinica*.

Takšno mešanico imenujemo *glina* (Slika 1-b). Tudi to v naravi najdemo v različni čistosti. Kameninka in porcelanka imata največ kaolina, v primerjavi z ostalimi primesmi.

Alohtona glina, prenesena iz primarnega na sekundarno nahajališče, pa je pomešana s kremenčevim peskom, apnencem, sljudo, kloritom, železovimi oksidi in drugimi primesmi. Takšna glina je primerna za izdelavo fine keramike, kot so lončarski izdelki, ploščice, sanitarna keramika, porcelan, elektroporcelan in ognjevarna posoda.

Glino, ki je močno pomešana s peskom in železovimi oksidi, imenujemo *ilovica* (Slika 1-c). Le-ta je primerna za grobo keramiko, kot so opeke in strešniki.



Slika 1: Različne vrste gline

2.1.1 Delitev

Kregar [7] Glede na prisotnost glinice glino deli na prave gline in glino vsebujoče snovi.

Prave gline deli na *plastično glino*, z večjo količino glinice, malo primesmi lusk sljude in kremenovih zrn, *skrilavo glino*, s podobno sestavo kot plastična glina, vendar je mehkejša ter s primesmi železovega kršča in bitumna, *glinasti skrilavec*, ki so trde skrilave hribine, temne od premoga ter *praskrilavec* ali filit, ki so nastale z metamorfozo glinastih skrilavcev.

Glino vsebujoče snovi deli na *lapor*, ki so hribine s približno 20 % do 60 % gline in apnencem, imenovane glinasti lapor ali apnenčev lapor, odvisno od prevladujoče snovi, *puhlico*, ki je peščena glinasta usedlina, nastala s pomočjo vetra in vsebuje neplastično glino ter zrna kremenca in živca, ter *ilovico*.

2.1.2 Lastnosti

Glino po lastnostih lahko v grobem delimo v štiri različne skupine, to je po *mineralni sestavi*, po *zrnovostni sestavi*, *kemični sestavi* in po njenih *fizikalnih lastnostih*.

Mineralna sestava

Glinam določajo njene lastnosti glavni minerali. Minerali so osnovni gradniki magmatskih in metamorfnih kamnin, ki so s procesom preperevanja prešle v gline. Glede na vsebnost glinenih mineralov jih lahko razdelimo v štiri večje skupine: *kaolinitna*, *illitna*, *montmorillonitna* in *kloritna* skupina. Vsak od istoimenskih mineralov je bistvena sestavina posamezne skupine.

Gline pa vsebujejo še mnoge druge minerale magmatskih in metamorfnih kamnin, kot so oksidi in hidrokoksidi (kremen), karbonati (kalcit, dolomit, siderit) in najbolj razširjena skupina silikati. V skupino silikatov poleg že omenjenih štirih glavnih skupin glinenih mineralov štejemo tudi sljude (muskovit), glince (ortoklaz), plagioklaze in amfibole.

V glinah so prisotni tudi težki kovinski minerali, kot so hematit, limonit, ilmenit in drugi.

Zrnovostna sestava

Zrnovostna sestava nam pove količino različno velikih zrn, prisotnih v posameznih glinah. Čistejše gline običajno vsebujejo delce, manjše od 2 μm , ilovice pa lahko vsebujejo tudi delce, večje od 20 μm . Za določanje primernosti surovine za uporabo pri različnih opekarskih izdelkih se uporablja Winklerjev diagram, ki prikazuje uporabnost surovine za posamezne opečne izdelke v odvisnosti od porazdelitve velikosti delcev [13].

Kemična struktura

Glavni elementi, ki sestavljajo gline so enaki glavnim elementom, ki sestavljajo litosfero. Med te pa štejemo kisik (O), silicij (Si), aluminij (Al), kalcij (Ca), natrij (Na), kalij (K), magnezij (Mg), železo (Fe) in druge.

Posamezni elementi nastopajo v kompleksnih strukturah osnovnih spojin gline, kot so kaolin ($\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$), kremen (SiO_2), glinica (Al_2O_3), kalcit ali kalcijev karbonat (CaCO_3), železov oksid ali hematit (Fe_2O_3), magnezijev oksid (MgO), kalcijev oksid ali živo apno (CaO), natrijev oksid (NaO), titanov dioksid (TiO_2) in drugi.

Fizikalne lastnosti

Glavna fizikalna lastnost je *plastičnost*, ki je posledica *absorpcije* vode v glinena zrna. Glina ob stiku z vodo postane plastična, kar pomeni, da jo lahko gnetemo in s tem preoblikujemo. Po končanem preoblikovanju obdrži svojo obliko. Plastičnost je posledica plastovitosti mineralov glin, ki je za različne minerale različna. Na plastičnost vpliva tudi velikost njenih delcev (<10 μm) in njihova oblika ter stopnja kristaliničnosti.

Glinam določamo mejo plastičnosti in mejo židkosti. Meja plastičnosti je količina vode, kjer glina prehaja iz plastičnega v krhko stanje. Meja židkosti pa je količina vode, kjer glina prehaja iz plastičnega v tekoče konsistenčno stanje.

Z absorpcijo vode pa glinena masa pridobiva na prostornini in se s tem razteza. Obratno ob sušenju in oddajanju vode prihaja do zmanjšanja volumna in posledično do krčenja, kar močno vpliva na kakovost izdelkov.

2.2 Opeka

2.2.1 Ilovica

Ilovica je osnovna surovina za izdelavo opek in drugih opečnih izdelkov. Je zmes peska in glin ter železovih in drugih oksidov in je najbolj razširjen naravni gradbeni material, tako rekoč prisoten na vsakem koraku. Za gradnjo jo uporabljajo že skozi tisočletja in je ob pravilni vgradnji primerna za vse vrste podnebij. Najbolj znana uporaba ilovice za gradnjo nosilnih sten je butana ilovica, najbolj razširjena v Prekmurju. Pogosto so jo uporabljali kot vezivo pri kamnitih gradnjah. Iz nje so delali tudi surove zidake, ki so jih uporabljali za zunanje in notranje nosilne in predelne stene. Pogosto je uporabljena za notranje grobe in fine omete.

Za izdelovanje zidakov so najbolj primerne ilovice, imenovane peščene glin ali laporaste glin. Vendar vsaka ilovica, izkopana na terenu, ni nujno primerna za vgradnjo ali uporabo v opekarstvu. Če vsebuje preveč glin, je zelo mastna in ob sušenju poka, zato se ji dodajajo pustila, kot so pesek, mivka, stara drobljena opeka, šamotka. Najbolj primerno pustilo je kremenov pesek, saj se apnenčev pesek pri žganju spreminja v žgano apno, le-to pa se ob stiku z vodo gasi, kar povzroči luščenje, pokanje in propadanje opeke.

Lahko pa ilovica vsebuje preveč peščenega materiala (pusta ilovica). Takšni ilovici je treba dodati glino. S tem spreminjamo njene konsistenčne meje. Preveč pusta ilovica ni primerna za vgradnjo ali izdelavo opeke, ker se nerada oblikuje in se ne sprijema. Zaradi premajhne količine glinenih zrn se v procesu žganja vsa zrna ne morejo med seboj zlit. Žgana opeka je zato bolj krhka, ima manjšo upogibno in tlačno trdnost.

Za gradbeno keramiko naj bi bila, tako Žarnič [12], najbolj primerna keramična masa z 10 – 25 % kaolina, 55 – 65 % kremenca in okrog 25 % glinenca.

Ilovici za različne namene uporabe dodajamo tudi organske primesi, kot so žaganje, slama, seno, lesni pepel, oglje, ponekod so dodajali celo hlevski gnoj. Organske primesi dajejo ilovici manjšo prostorninsko težo in boljšo toplotno izolativnost. Pomembno je, da v procesu mešanja ilovice glinena zrna dobro oblijejo zrna organskih dodatkov. S tem se zagotovi obstojnost organskih dodatkov v surovi ilovici. Če pa takšno ilovico žgemo, organski dodatki zgorejo in na njihovih mestih ostanejo praznine.

Ilovica, za razliko od glin, torej lahko že v naravnem stanju vsebuje delce, večje od 20 μm , lahko vsebuje večje količine peska, apnenec, kremen, železove in druge okside, soli ter organske primesi. Z raznimi enostavnimi tehničnimi postopki se da te sestavine ilovice med seboj ločiti in s tem pridobimo čistejšo ilovico – glino. Takšne postopke so poznali že Rimljani. Tehnološkemu procesu pravimo *plavljenje*.

2.2.2 Proces žganja

V procesu žganja gre glina skozi več faz. Žganje se pravzaprav začne s *sušenjem* glin. Glina naj bi, preden se jo žge, oddala večji del fizikalno vezane vode. Tako izdelke danes predhodno sušijo pri temperaturi do največ 105 °C [13].

Po sušenju se izdelki žgejo v pečeh. Prvi stopnji žganja pravimo *žarenje* keramične mase, kjer surovina pri temperaturi okrog 430 do 600 °C odda svojo kemično vezano vodo in otrdi [13]. Drugo stopnjo žganja imenujemo *sintranje*. Snov postane testasta in se zgosti. S sintranjem začne keramična masa postajati tekoča. Sintranje je pojav, pri katerem se pri visokih temperaturah kristalasti keramični delci delno ali v celoti talijo v amorfno steklasto zmes, ki zaliva praznine med njimi in s tem tvori neporozno strukturo [12].

Tretjo stopnjo tvori *taljenje* keramične mase. Različne glinice z različnimi dodatki imajo različne temperature taljenja. Odvisno je tudi, kakšno keramiko proizvajamo. V procesu žganja opeke temperatura taljenja ni potrebna, saj se opekarski izdelki pečejo na temperaturi približno 1000 °C. Temperature zmehčišč za različne glinice so od 1200 do 1600 °C.

Zadnja faza pri procesu žganja je *ohlajanje*.

V procesu žganja se izvaja tudi kontrola stopnje žganja posameznih izdelkov. To se izvaja s Segerjevimi stožci, ki so oblikovani iz različno čistih glin. Stožci pri določenih temperaturah začnejo spreminjati obliko, njihov vrh se začne upogibati in posedati. To se dogaja v različnih temperaturnih intervalih za posamezne stožce.

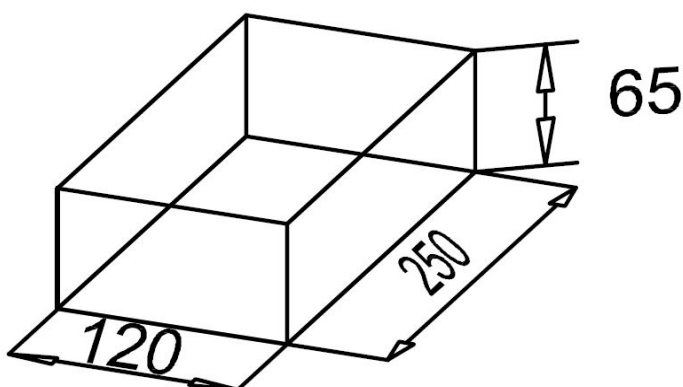
2.2.3 Izdelek

Opeka je izdelek, izdelan iz ilovice in žgan na visoki temperaturi (okrog 1000 °C). Opeka je po definiciji izdelek, ki ga lahko enostavno prestavljamo z eno roko [12].

Že skozi tisočletja je najbolj razširjen element, uporabljen v gradbeništvu. Zadnje stoletje nam je v tem smislu prineslo velik napredek v načinu oblikovanja in tehnologiji sušenja in žganja glinene opeke.

Na začetku so bile opeke polne in paralelepipedne oblike. Njen format se je skozi čas spreminjal, zato danes poznamo opeke starega rimskega formata, starega avstrijskega formata in novega standardnega formata ali normalnega formata (NF). Opeka normalnega formata ima točno predpisane dimenzije, in sicer:

dolžina:širina:višina $\approx 4:2:1 \approx 250:120:65$ [mm] (Slika 2)



Slika 2: Oblika in dimenzije NF opeke

Takšna opeka se je uporabljala za izdelavo nosilnih in nenosilnih sten. Stene so bile lahko notranje ali zunanje, lahko so bile ometane ali neometane. Uporabljali so jih za izgradnjo

obokov, peči in dimnikov. Bolj kakovostne so uporabljali tudi kot fasadne obloge, ponekod pa tudi za temelje.

Fizikalne lastnosti

Pod fizikalne lastnosti opek štejemo barvo, obliko, velikost, dimenzijsko obstojnost, teksturo in zven.

Fizikalne lastnosti opek opredeljujejo standardi ter standardizirani preizkusi. Danes veljavni standard za zahteve za opečne zidake je *SIST EN 771-1*, metode preizkušanja zidakov pa pokriva skupina standardov *SIST EN 772*. Pred temi standardi smo uporabljali JUS standarde, katerih osnovne karakteristike za dimenzije opek podaja Kregar [7].

Polne opeke ne smejo vsebovati kalcijevega oksida (živega apna) v deležu in velikosti zrn, ki bi škodljivo vplivali na trajnost opeke in povzročali razpadanje opeke. [17]

Barva opeke je odvisna od osnovne surovine, iz katere je opeka izdelana. Tako grobo delimo barve opeke na belo, iz čistih glin, bogatih z glinico in malo železa, usnjeno rjave, bogate z glinico in dodanimi železovimi oksidi, rdečo, vijoličasto rdečo ali modro črno z malo glinice ter veliko železovih in magnezijevih oksidov ter rumenkasto belo ali zeleno z malo glinice, apnencem in železom.

Zven je lastnost opeke, po katerem lahko sklepamo o gostoti in trdoti. Bolj jasen in čist je zven, bolj je opeka gosta, trdna in trda ter odporna proti mrazu, kar pomeni, da je opeka kakovostno pečena.

Inženirske lastnosti

Inženirske lastnosti opeke so gostota, trdnost, eflorescenca, koeficient toplotnega raztezka, toplotna prevodnost, kemična odpornost in požarna odpornost, vodovpojnost, poroznost in odprta poroznost, modul elastičnosti, akustične lastnosti, zmrzljinska odpornost in druge, katere se določa s standardiziranimi preizkusi.

V *Tabeli 1* so navedene bistvene inženirske lastnosti.

Tabela 1: Osnovne inženirske lastnosti opeke [12]

lastnost	vrednost
gostota	$\rho = 2250 - 2880 \text{ kg/m}^3$
tlačna trdnost	$F = 5 - 20 \text{ MPa}$
modul elastičnosti	$M = 5000 - 30000 \text{ MPa}$
eflorescenca	0,1 – 1,0 % (max. 5 %)
koef. toplotnega raztezka	$\alpha_T = 5 - 7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
toplotna prevodnost	$\lambda = 0,4 - 1,2 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
kemična odpornost	zadovoljiva
požarna odpornost	razmeroma visoka

2.2.4 Postopek izdelave opek

Postopek priprave in predelave glin, izdelave opek ter izdelave peči bo v okviru diplomske naloge bolj podrobno opisan v poglavju *3.0 Tehnologija priprave*. Tu so naštetih in kratko opisani osnovni koraki v celotnem tehnološkem postopku.

Pridobivanje glin

Pred začetkom pridobivanja glin in ilovice se običajno izvedejo preliminarne raziskave, kjer se pridobi podatke o primernosti surovine, velikosti glinokopov, ekonomičnosti odvzema, potrebni tehnologiji predelave in druge potrebne informacije.

Surovino se nato izkopava, danes strojno, še v začetku prejšnjega stoletja pa je bilo to delo večinoma opravljeno ročno.

Transport glin do obratov

Transport glin je danes povsem motoriziran, pogosto pa so v rabi tudi lokalne železnice, ki povezujejo glinokope z opekarskimi obrati oziroma opekarskim industrijskim območjem.

Pred tem so se za transport največ uporabljale samokolnice ter konjske vprege.

Deponiranje glin

Pripeljano glino se deponira v bližnji okolici obrata, kjer se jo pusti zoreti. V tem času, ko glina odleži na deponiji, spremeni svoje fizikalne lastnosti. Gline so izpostavljene atmosferskim vplivom.

Primarna predelava

Pred oblikovanjem končnih izdelkov se glino pregnete. Odvisno od tehnologije pridelave se jo lahko suši, melje in dodaja primesi. Danes je primarna predelava popolnoma avtomatizirana, včasih pa so glino gnetli ročno oziroma nožno, tako da so jo z nogami tlačili. Kasneje so uporabljali stroj na motorni pogon, ki je ilovico skozi polžast mlin pregnetel.

Oblikovanje

V industrijskem procesu gre predhodno obdelana glina skozi različne ustnike, ki dajejo glineni masi videz končnega izdelka. Pri ročni izdelavi opek je oblikovanje omejeno na spretnost ceglarskega mojstra, ki ilovico vgrajuje v modele. Pred popolno avtomatizacijo procesa je stroj na motorni pogon močno olajšal delo ceglarskega mojstra, saj je polžasti mlin pregneteno ilovico skozi ustnik že oblikoval v neskončno dolg trak opeke, katerega dve dimenziji sta že ustrezali končnemu produktu. Torej je mojster moral trak le še narezati v končno dimenzijo opeke.

Sušenje

V sušilnicah na prostem je bilo sušenje možno le do neke mere, saj so bile te odvisne od vremenskih vplivov. Takšne sušilnice so se običajno gradile na prostem, pravokotno na smer vetra. Če niso bile pokrite, je k sušenju veliko doprinesla tudi sončna toplota. Kasneje so razvili zaprte sušilnice s kontroliranim pretokom in temperaturo zraka.

Žganje

Je proces, kjer opeka dobiva svoj končni videz. Danes se uporabljajo tunelske peči, kjer se opeka premika skozi področja z različnimi temperaturami. Pred tem so se množično uporabljale krožne ali Hoffmanove peči, kjer so opeko zložili v peč krožne oblike, nato pa

kurili z različno intenziteto v različnih delih peči. Pred uporabo krožnih peči so peči izdelovali ročno. Peč je bila v celoti sestavljena iz surovih opek, ki so po žganju predstavljale končni izdelek, lahko pa je peč imela stalna kurišča, nad katera so se nalagale surove opeke. Ponekod so se uporabljale tudi stalne peči, sicer namenjene žganju apna. V njih so pravilno naložili surove opeke, jih spekli in dobili končne pečene opeke, peč pa je ostala cela.

Sortiranje, pakiranje

Zadnja koraka v procesu izdelave opek sta sortiranje, kjer se izvaja kontrola kakovosti opeke ter njihovo označevanje in pakiranje. Pri starih postopkih žganja opeke vsa opeka ni bila žgana enako kakovostno, zato je bilo sortiranje tudi pomemben del postopka, saj so opeko iste kakovosti zložili skupaj. Cena opeke se je razlikovala glede na njene lastnosti.

3 TEHNOLOGIJA IZDELAVE OPEK NA TRADICIONALEN NAČIN

V splošnem so bile pri izdelavi opek v uporabi tri različne tehnike pečenja, in sicer v *kopi*, *poljski peči* in *zidani peči* [7]. Vse peči so delovale na podoben princip. Gre za zlaganje opek v kupe, kjer se v spodnjem delu kupa pusti odprtina za vnašanje goriva.

3.1 Kopa

Značilnost kop je, da se jih postavlja na zravnem terenu in za njo niso predvideni nobeni pomožni objekti, kar pomeni, da jih lahko enostavno postavimo povsod, kjer so za to izpolnjeni pogoji, to so nahajališče ilovice, les in voda. Ko je bila opeka spečena, se je peč demontirala. Tako na mestu pečenja ni bilo več nobenih ostankov.

3.1.1 Priprava surovine in terena

Leto pred tem, ko so se odločili peči opeko, so morali že v zimskem času poskrbeti za drva, ki so jih uporabili za kurjenje peči. Les je moral biti suh in primeren za tovrstno peko.

Najprimernejši les naj bi bil mehki les, bor, vrba, topol, [8] smreka [9], nekateri pa so za kurivo uporabljali premog [10]. Trši les, kot so hrast, bukev, jablana ali trnov les naj bi bil neprimeren oziroma celo nevaren, saj se peč ni pravilno kurila. Vročino naj bi dala le na kratko, ogenj pa se v peči ni pravilno oblikoval. Zato je bila opeka zunaj »železna«, znotraj pa še surova [8].

Drugi vir [9] pa pravi, da je smreka pustila manj žerjavice in so les lažje dodajali v peč. Za kurivo so pogosto uporabili kar les stare stavbe.

Kasneje so peči kurili tudi s premogom ali s šoto. Ti dve surovini so morali dovažati iz premogovnika oziroma iz nahajališča šote.

Poleg lesa je bilo treba pripraviti rženo snopje, ki so ga uporabljali za pokrivanje zložene surove opeke, da je med sušenjem ni dobil dež. Tip strehe se je od kraja do kraja spreminjal, ponekod opeke med sušenjem sploh niso pokrivali [10].

Teren za postavljanje kope je moral biti raven. To je bila običajno kar njiva, na kateri v tistem letu, ko so žgali peč, niso imeli poljščin. Njivo so dobro zravnali, zbranalni, obdelali z motikami in pograbili (*Slika 3-b*). Prostor je moral biti popolnoma raven, sicer je opeka rada pokala. Dolg je bil tudi od 30 do 40 metrov, odvisno od oblike njive, na kateri so prostor oblikovali.

Poiskalo se je mesto za izkopavanje ilovice. Vsaka ilovica ni bila primerna za pečenje opeke. Najboljša naj bi bila rumena, saj je črna pri sušenju rada pokala, če je bilo prevroče. Nakopali so jo že pozimi, da jo je dobila zmrzal in s tem izboljšala njene lastnosti. Ker se je napojila in so jo obrnili ter zrahljali, se je s tem spremenila njena listasta struktura, večji kosi pa so razpadli. Za 5 tisoč kosov opeke so potrebovali 4 do 6 m³ ilovice [1].



a

b

Slika 3: Priprava ilovice in ravnanje terena [8]

Poleg ilovice je bilo treba izkopati tudi vodnjak za vodo, da je bila le-ta čim bližje delovnemu prostoru. Vodnjak so iz varnostnih razlogov izkopali šele spomladi. Če je bil v bližini odprti vodni vir, kopanje vodnjaka ni bilo potrebno.

Za delovni proces so potrebovali tudi mivko ali droben pesek za posipanje orodja in terena, da se surove ilovnate opeke niso prijemale.

material: les (premog, šota), snopje, ilovica, voda, mivka

3.1.2 Osebj e in orodje

Pri izdelavi opek so potrebovali malo orodja in tudi to je bilo dokaj enostavno.

Blatar, kot so v Prekmurju rekli ljudem, ki so kopali ilovico (Slika 3-a), je potreboval *motiko* za kopanje in obračanje ilovice. V *samokolnico*, ki je bila običajno lesena, je *vozač* nalagal z *lopato* in jo vozil od mesta kopanja pa do mesta, kjer se je oblikovala opeka. Ilovico je stresel na ceglarsko mizo tako, da je zapeljal na *brv*, leseno desko, do višine mize.

Ceglarsko mizo, to je iz lesa zbita miza, v velikosti 180 x 180 cm, je *ceglarski mojster* potreboval za izdelovanje opeke. Njegovi pripomočki so bili *opekarski model*, *ceglarski nož* za odvzem ilovice iz kupa ter *žičnati lok*, s katerim je odrezal višek ilovice.

V procesu so sodelovali še *odnašalci*, ki so opeko v modelih odnašali do prostora, kjer se je sušila.



a

b

Slika 4: Blatar [11] in vozač [8]

osebje: blatar (Slika 4–a), vozač (Slika 4–b), ceglarski mojster, odnašalci

orodje: motika, samokolnica, lopata, brv, ceglarska miza, opekarski model, ceglarski nož, žičnati lok

3.1.3 Surova opeka

Opeko so izdelovali na predpripravljenem prostoru, imenovanem *plac*. Delati so jo lahko začeli takoj, ko je postalo dovolj toplo, da je bilo možno sušenje na soncu. Blatar je dan pred začetkom pripravil ilovico tako, da jo je zmešal z vodo. Nato jo je nakladal na samokolnico in jo vozil na ceglarski stol oziroma ceglarsko mizo. Ta je bila tako velika, da so lahko nanjo navozili za tri samokolnice ilovice.

Ceglarski mojster je nato na mizi, ki je bila predhodno posuta z drobno mivko, s ceglarskim nožem odrezal primeren kos od ilovice in ga vgradil v model. Z žičnatim lokom je odrezal odvečni material, ki je gledal iz modela ter ga vrgel nazaj na kup. Model, ki je bil prav tako posut z mivko, je odnašalec, po virih [8] običajno odnašalka (Slika 5-a), odnesel na plac, pripravljen za odlaganje mokre opeke. Plac, ki je bil prej zravnin in posut z mivko, da se opeke niso prijemale na podlago, je bil blizu ceglarske mize, sicer se je opeko predaleč nosilo.

Opeko se je nato iz modelov polagalo eno poleg druge na večjo površino, kjer se je sušila na soncu od enega do dveh dni. Po dveh dneh so opeko obrnili okrog daljše stranice, da je stala pokonci (Slika 5-b). Tako so jo, ob lepem vremenu, pustili sušiti še nekaj ur.



a

b

Slika 5: Odnašalka in obračanje opeke [11]

Nato se je opeka začela zlagati v sušilne kupe (Slika 6-a), v Prekmurju imenovane *oslice* (Slika 6-b). Oslice so bile dolge tudi do 30 metrov, visoke pa 12 vrst oziroma šar. Vrste so med seboj povezovali, da se oslica ni prevrnila. V takšno oslico naj bi šlo do 10 tisoč opek. Oslico so pokrili z snopjem, da je surovo opeko branilo pred dežjem. Pravilno postavljena oslica naj bi bila z daljšo stranico obrnjena pravokotno na smer vetra. S tem se je pridobilo na času sušenja opeke, ki je običajno trajalo mesec dni. Opeka je morala biti kakovostno posušena, to pomeni, tako z zunanje strani kot v notranjosti. To se je preverjalo tako, da so opeko prelomili in ugotovili njeno suhost tudi v notranjosti.



a

b

Slika 6: Zlaganje opeke in oslica [11]

Kasneje se je v tem procesu začel uveljavljati dizelski stroj, ki je ilovico mešal ter skozi šobe delal trak opeke. Takšen trak so nato le še razrezali na dimenzije opek. V tem primeru je bilo več ljudi za kopanje in dovažanje ilovice, saj je proces tekel hitreje.

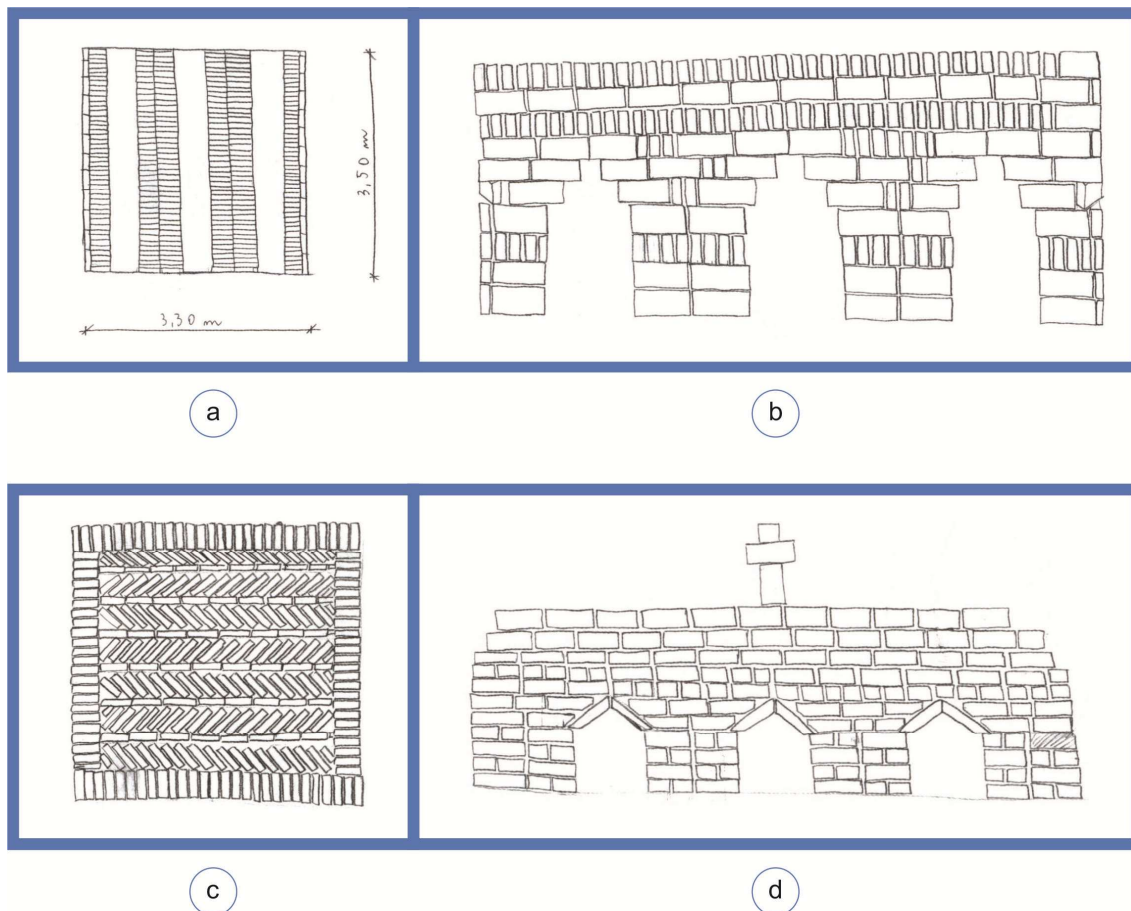
3.1.4 Postavljanje peči

Pri postavljanju peči je običajno sodelovalo veliko število ljudi. Peč se je postavljala na istem prostoru, kjer so opeko delali, v neposredni bližini sušilnice. Tako so opeko prinašali iz sušilnice in jo zlagali. Polagala se je na manjšo ploskev po daljši stranici.

Najprej se je postavila v višino štirih opek, in sicer v štiri različne vrste. Med vrstami je nastajal prostor za vlaganje drv, kurišče (*Slika 7-a in Slika 7-b*). Tako so nastala tri kurišča. Za večjo peč se je oblikovalo večje število kurišč. Za 20 tisoč opek naj bi bila peč dolga pet metrov.

Ko so zložili četrto vrsto v višino, se je v naslednjih treh vrstah ali šarah začel oblikovati obok z zamikanjem opek za tretjino njene dolžine proti središču kurišča. Tudi med posameznimi oboki se je vlagala opeka, da je dajala oporo oboku.

Osma vrsta se je zapolnila polno, torej po vsej površini. Nad to vrsto pa se je začela opeka zlagati v rožo (*Slika 7-c*). Na zunanjem robu so opeko zložili v vrsto eno poleg druge, v sredini pa so jo zamikali v horizontalni smeri za približno 45° ter jo ločili s po eno zaporedno vrsto opek. Naslednja šara rože je bila enaka, le obrnjena za 90° v horizontalni smeri. V roži je bila opeka zložena bolj na redko, da se je lahko dobro zažgala/spekla. V višino se je peč zlagala za 22 šar. Zadnja vrsta se je ponovno zložila na gosto.



Slika 7: Tlorisi in pogledi peči [8]

Pred in za pečjo se je postavilo kurišče, *jestije* (Slika 7-d), kot nek vhod v kurišče, ki je bilo v celotni širini peči. Jestije se je zidalo v višini enajstih šar in debelini ene opeke po dolgem.

Ob stranicah peči se je postavil lesen opaž (Slika 9-c) do višine zgornjega robu peči. Opaž je služil zasipanju peči z zemljo, ko je le-ta dogorevala.

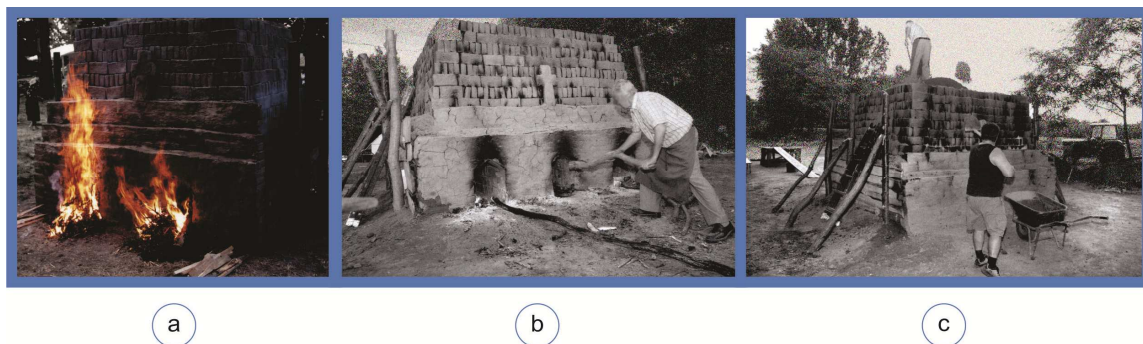


Slika 8: Zložena in naložena peč [11]

3.1.5 Žganje in demontaža peči

Peč se je zakurila v kuriščih s šibjem (*Slika 8* in *Slika 9-a*), nato so začeli dodajati bolj mehka drva, kot so borova, vrbova, topolova in smrekova (*Slika 9-b*). Zakurili so z ene strani peči in so kurili dva dni, nato pa kurišče z ene strani zaprli in kurili še dan do dva z druge strani. Potem so kurišče zaprli še z druge strani. Hkrati, ko se je ogenj selil proti vrhu peči, so zasipali tudi opaž ob robovih peči, vendar vedno le do višine peči, kjer je ogenj že uhajal. Kdaj je peč dovolj segreti, so vedeli, ko fuge peči postanejo žareče in skozi njih začnejo uhajati ognjeni jeziki. Takrat so peč z vrha in od kraja dokončno zasuli z zemljo (*Slika 9-c*) in ilovico ter jo pustili, da se ohladi. Ob pravilni peki peči, je kurjenje trajalo od dva do tri dni.

Kasneje so v peč kot gorivo dodajali premog. Tega so vstavljali v odprtine med opeke med zlaganjem peči. Premog je bil droben, zato vstavljanje ni bilo problem. Tako peč so zakurili z drvni, nato pa so dodajali premog [10], dokler se celotna peč ni vžgala. Nato so luknje zadelali in peč pustili, da se je skurila.



Slika 9: Žganje peči [11]

Hlajenje peči je trajalo od 14 dni do enega meseca. Prej je niso smeli podreti, sicer bi opeka pokala in ne bi bila dobre kakovosti.

Po ohladitvi je bila demontaža peči enostavna. Očistili so jo vse zemlje in ilovice, s katero so jo zasipali, tako da je ostala samo pečena opeka (*Slika 10*). Podirali so jo z vrha navzdol in pri tem opeko sortirali v tri kakovostne kategorije. Kategorija 1. razreda je bila opeka najboljše kakovosti, torej najlepše žgana. Ta opeka se je običajno odvezemala iz jedra peči. V 2. in 3. razred pa so zlagali opeko, pobrano iz robov peči. Opeka iz zunanjega robu peči je bila žgana premalo, zato ni bila uporabna za nosilne stene. Opeka ob kurišču pa je bila žgana preveč, zato je postala »železna«. Takšno opeko naj bi uporabljali za temelje.



Slika 10: Pečena opeka, po demontaži peči [11]

3.2 Poljska peč

Poljske opekarne so bile v času pred in takoj po drugi svetovni vojni verjetno najbolj razširjena tehnologija izdelave opeke. Poljske peči so običajno imele kmetije za dodatno dejavnost. V okolici Ljubečne je v tem času delovalo preko 50 poljskih opekarn. Značilnost poljskih opekarn je, da so bile peči stalno postavljene in pokrite z lesenim gospodarskim objektom. Zraven je stala posebna uta, tako imenovana sušilnica. V bližini pa so imeli tudi lokalne glinokope.

3.2.1 Delovni objekti

Poljske opekarne so sestavljali trije glavni objekti, to so ceglarska peč, sušilnica in glinokop.

Ceglarska peč je bila pravokotnih tlorisnih dimenzij 6,5 x 6,5 m. Visoka je bila približno tri metre. Pozidana je bila s pečeno opeko ter dodatno obložena s surovo opeko, da toplota med kurjenjem peči ni uhajala. Debelina stene je merila 36 cm [15].

V spodnjem delu peči so bila postavljena kurišča (*Slika 11-b*), ki so segala skozi celotno dolžino peči. Kurišča so bila visoka približno 90 cm in široka 40 cm. V peči so tako bila štiri kurišča, če pa je bila peč večjih dimenzij, jih je bilo lahko tudi več (od 3 do 6). Vhod v kurišča je bil le z ene strani peči in je bil slab meter globoko obokan, globlje v peč pa je bilo kurišče brez stropa. Tega so kasneje zgradili s surovo opeko, ki se je v peči pekla. Kurišča so zapirala kovinska vrata.

Ob strani je bil vhod (*Slika 11-a*), skozi katerega so nosili surovo opeko, ki so jo zlagali v peč. Zgornja ploskev peči ni bila pokrita.

Okrog peči so bili razporejeni štirje leseni stebri, po eden na vsakem vogalu peči, med seboj so bili povezani s horizontalnimi lesenimi nosilci. Ti so držali peč stabilno, hkrati pa podpirali leseno streho, ki se je v osrednjem delu, kjer leži peč, dvigala 6 m visoko. Peč je bila pokrita z lesenim gospodarskim objektom, ki pa je služil le opekarski dejavnosti, torej pečenju in shranjevanju opeke. Njegove približne tlorisne dimenzije so bile 10 x 15 m.

V neposredni bližini ceglarske peči je stala sušilnica. To je lesen gospodarski objekt, pravokotne tlorisne oblike, postavljen na številnih stebrih. Njena tlorisna velikost je bila približno 20 x 15 m. Sušilnica ni imela nobenih sten, da se je lahko zrak menjal in prosto krožil. Kljub temu pa sta bila v sušilnici v uporabi dva različna prostora. Spodnji, ki je na tleh,

je bil namenjen izdelovanju surove opeke in sušenju opek, ter zgornji, tik pod streho, ki je bil namenjen sušenju strešne opeke. Tla sušilnice so bila iz ilovice in so bila popolnoma zravnanata.

Vsaka poljska opekarna je imela lasten glinokop. Ta se je nahajal na lastniški zemlji kmetije, ki je opeko izdelovala, in lasten vodnjak, od koder so črpali vodo za pripravo ilovice. Vodnjak je bil izkopen v globino do 8 m.



Slika 11: Ceglarska peč iz dveh pogledov

3.2.2 Osebjje, orodje, material

Včasih je bilo pri procesu izdelave opeke prisotnih več ljudi, danes, ko dejavnost odhaja v pozabo, ceglarsko ekipo sestavljajo najmanj trije ljudje, *vozač*, *modelar* in *odnašalec*. Naloga vozača je pripeljati ilovico iz deponije na ceglarsko mizo, kjer jo modelar oblikuje v model in jo pripravi odnašalcu. Le-ta surovo opeko od ceglarske mize nese na mesto sušenja. Pripravo ilovice izvaja bodisi vozač ali modelar.

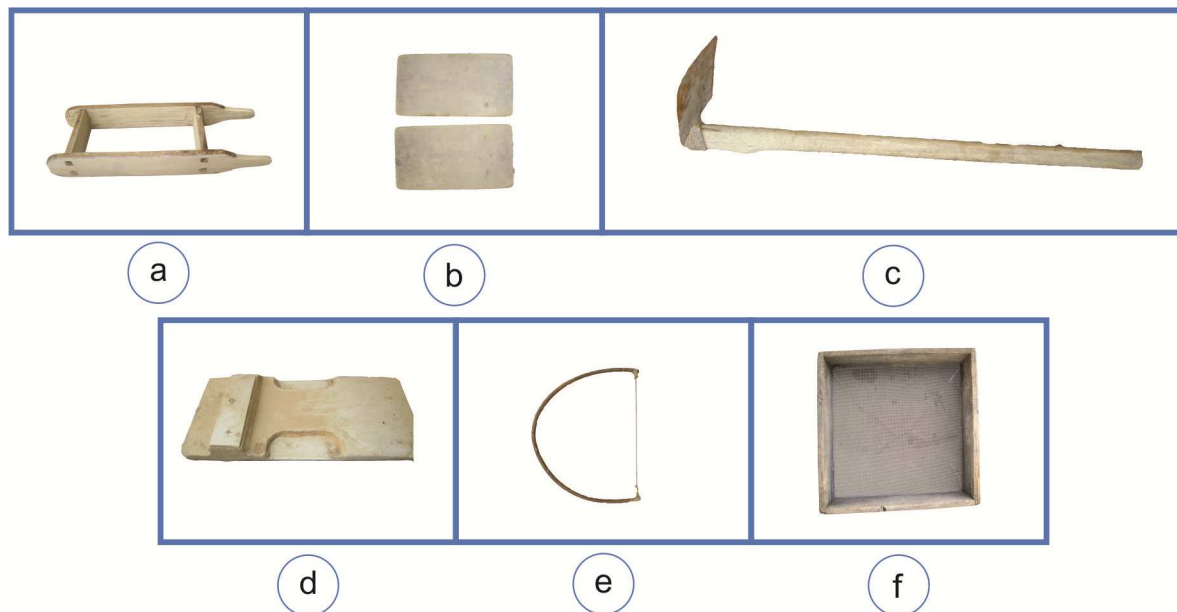
Glavna orodja, ki jih ceglarji uporabljajo pri svojem delu, so dokaj enostavna. Za kopanje ilovice uporabljajo *lopate* in *motike* (Slika 12-c) ter *samokolnico* za dovažanje. Pri oblikovanju surovih opek, ki se izvaja na ceglarski mizi, uporabljajo *model* (Slika 12-a), *nož* za odvzem ilovice iz kupa ter *žičnati lok ali locen* (Slika 12-e), s katerim se odreže višek ilovice, ki gleda iz modela. Model se postavi na *podložno desko* (Slika 12-d) ali desko za odnašanje surove opeke (Slika 12-b), v Ljubecni imenovano »*šinklc*«.

Za izdelavo opeke ceglarji potrebujejo poleg ilovice še vodo, ki jo črpajo iz domačega vodnjaka, in mivko, ki služi posipanju orodja, da se ilovica ne prijema nanj. Les, primeren za žganje opeke, je lahko mehek, kot je npr. smreka, ali trd, kot sta bukev in hrast. Ta je bil na kmetiji včasih stalno na zalogi. Pogosto so kurili tudi z lesom, ostankom od starih podrtih objektov.

osebje: vozač, modelar, odnašalec

orodje: lopata, motika (Slika 12-c), samokolnica, model (Slika 12-a), nož, žičnati lok (Slika 12-e), podložna deska – šinklc (Slika 12-d), odnašalni deski (Slika 12-b), sito za mivko (Slika 12-f)

material: ilovica, voda, les, mivka



Slika 12: Ceglarsko orodje

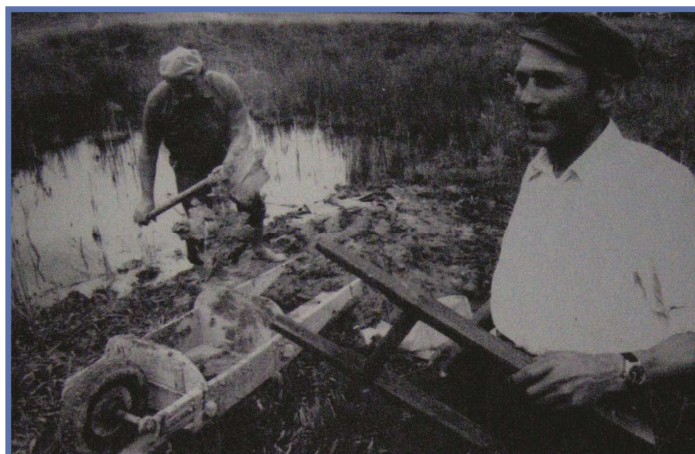
3.2.3 Priprava ilovice

Ilovica, primerna za oblikovanje opek, je morala biti sive barve. Če je bila presvetla, ni bila dobra. Vir [14] pravi, da je za 1.000 kosov opeke potrebne 3 m³ ilovice.

Začeli so jo kopati že pozno jeseni, da je čez zimo večkrat pomrznila (Slika 13). S tem so razpadali večji kosi in ilovica je spreminjala strukturo. Najprej so odstranili zgornjo plast humusa, nato pa ilovico spodkopavali, in sicer v obliki zagozde, v globini 40 cm. Z vrha so naredili luknje ter vanje vlili vodo in pustili čez noč. Voda je ilovico prepojila, da se je spodkopani del sam prevrnil. Tega so nato premetali na kup ter spodkopali novo plast ilovice [15]. Čez zimo so ilovico hranili na deponiji.

Spomladi so ilovico ponovno prekopali in jo prepojili z vodo. Prekopati so jo morali trikrat, potem so jo z bosimi nogami pregnetli, da je postala dovolj gosta za obdelavo. Za gnetenje glin so kasneje uporabljali tudi stroje. Ilovici, dobljeni po predelavi, so v Ljubečni rekli *mort*.

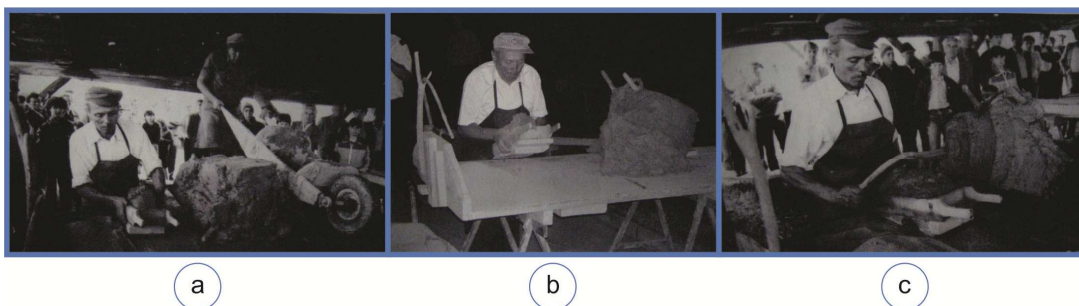
Tako predelano ilovico so nato s konji in vozovi, kasneje s traktorji, vozili v bližino sušilnice, kjer so jo uporabili za izdelovanje opeke.



Slika 13: Priprava ilovice v glinokopu [15]

3.2.4 Surova opeka

Opeko so izdelovali v sušilnici, da je bila pot odnašalca, ki jo je nosil na končno mesto, kjer se je sušila, čim krajša. Ilovico so po leseni deski s samokolnicami vozili na ceglarsko mizo, kjer so naredili kup (*Slika 14-a*). Modelar je s ceglarskim nožem odrezal kos z velikega kupa ter ga vgradil v model za opeko. Model in mizo je pred tem posul s kremenčevim peskom, da se ilovica ni prijemala. Model je napolnil z ilovico, ga potolkel ob mizo, da je ilovica lepo sedla vanj ter z žičnatim lokom odstranil odvečno ilovico (*Slika 14-b* in *Slika 14-c*). Nato je poln model predal naprej odnašalcu, ki je surovo opeko previdno vzel iz modela, ter jo položil na mizo. Opeko je z dvema posebnima deskama, imenovanima *šinklc*, prijel in nesel na končno mesto, kjer se je začela sušiti.



Slika 14: Proces izdelave surove opeke [15]

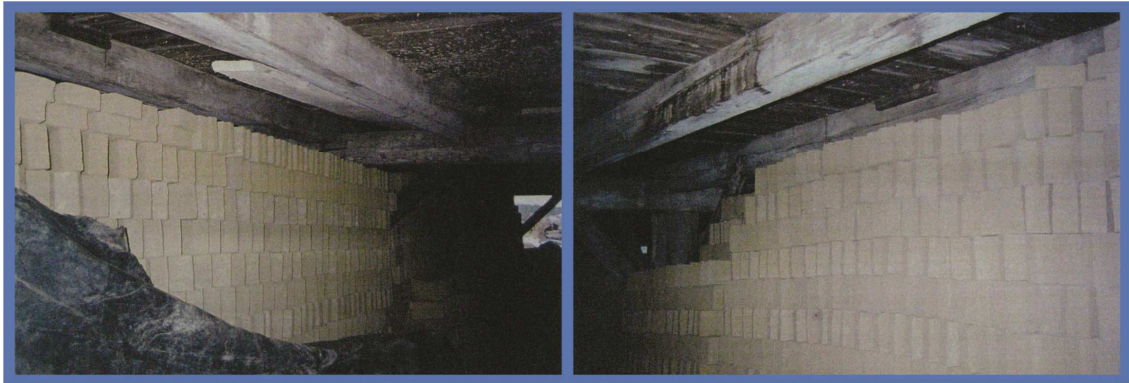
Opeko so postavljali v vrste, eno poleg druge, in sicer na manjšo stranico po podolžni strani (*Slika 15-a*). Nastalo je polno dolgih vrst surove opeke, ki so jih ob zlaganju tudi označevali, in sicer, s po eno piko na vsako stoto opeko. Tako je imela stota opeka eno piko, dvestota dve piki in tako do devet pik, deseti znak pa je bil križec, ki je pomenil tisočo opeko. Takšno označevanje jim je lajšalo štetje opek (*Slika 15-b*). Tako so jih pustili sušiti tri tedne. Po treh tednih, ko je bila že delno suha, so jo preložili eno na drugo tako, da je bila opeka prve vrste obrnjena v eno stran, druga vrsta pa zamaknjena v nasprotno smer. Tako so zlagali opeko do višine treh oziroma štirih vrst in jo pustili sušiti.



Slika 15: Zlaganje in štetje opek [15]

Po štirinajstih dneh so vso opeko začeli zlagati v skladovnice, visoke do stropa sušilnic, približno 16 vrst (*Slika 16-a* in *Slika 16-b*). Opeko so izdelovali toliko časa, dokler se je ni

nabralo za eno peč, to je bilo 18 do 25 tisoč kosov opeke. Hojnik [14] pravi, da trije delavci, ki imajo ilovico že pripravljeno, potrebujejo 5 ur, da naredijo 1.000 kosov surove opeke. Torej za eno peč, z 20 tisoč kosi opek, so trije delavci potrebovali 100 ur.



a

b

Slika 16: Sušenje surove opeke v sušilnici [16]

3.2.5 Polnjene peči

Ko se je vsa opeka posušila, so jo s samokolnicami vozili v pečnico. Če želimo doseči kakovostno žganje opeke, jo je treba pravilno zlagati v peč. V spodnjem delu peči, kjer so kurišča, se opeko začneja zlagati na stene med kurišči, in sicer tako, da se jih zamika za približno tretjino opeke proti središču. Tako dobimo obok iz surove opeke nad vsakim ognjiščem (Slika 18-a). Opeke se zлага tudi med oboke ter nato gradi vrste med seboj v različne smeri zamaknjenih opek do končne višine pečnice. Zlaga se jo vedno tako, da se med opekami pušča za prst debelo odprtino (Slika 17-a in Slika 17-b). To omogoča ognju, da lahko zaobjame vse opeke.

Ko je bila peč popolnoma zapolnjena, so vrata, skozi katera so peč polnili, zazidali. Na vrh peči so naložili že pečeno opeko. To so polagali eno zraven druge, da je bila celotna površina zaprta, a je še vedno prepuščala zrak.



a

b

Slika 17: Zlaganje opeke v pečnico – tloris in pogled

3.2.6 Žganje

Ko je bila peč zložena in zaprta, se je v kuriščih začelo kuriti. Prvega pol dneva so kurili z majhnim ognjem, da se opeka ni zažgala in stekla, nato pa so ga počasi vedno bolj večali. Prvih petdeset ur so kurili s trdimi drvimi, hrastovimi in bukovimi. Za tem so vrh peči zaprli z zemljo ali pločevino, vendar so z zadnje strani meter do stene pustili odprto, da se je lahko zrak pretakal in spodbujal ogenj. Nato so petdeset ur kurili z mehkiimi drvimi, kot je na primer smreka [14]. Že med kurjenjem, ko se je opeka začela beliti, so kurišča začeli delno zapirati, ko pa so s kurjenjem končali, so kurišča popolnoma zaprli. Zazidali so jih z opeko in zamazali z ilovico. Za kurjenje so porabili 12 klafter drv, to je 48 m³ [15].

Naslednjih 100 ur so peč pustili hladiti.



Slika 18: Pogled v kurišče in pečena opeka

3.3 Zidana peč

Zidane peči so bile za razliko od kop in poljskih peči postavljene na nagnjenem terenu, vkopane v zemljo, kurišče pa je bilo dostopno z nižje ležeče terase. Običajno so bile zidane s kamnom ter obložene s šamotno opeko.

Primarno so bile postavljene za žganje apna, a so bile uporabne tudi za pečenje opek. Tudi za ta postopek izdelave opeke je morala biti dodatno postavljena sušilnica za sušenje opek.

Peč je bila ovalne oblike, njena notranjost je bila oblikovana v obliki soda. Premer v dnu in na vrhu peči je bil približno 3,5 m, na srednji višini pa okrog 4,5 m. Višina peči je merila 5,5 m.

Preračunana okvirna vrednost pokaže, da bi v peči takšnih dimenzij lahko spekli okrog 15 do 20 tisoč opek v eni peki.

V spodnjem delu so bila vrata širine okrog 1,2 m in višine 2 m, skozi katera se je med kurjenjem peči vstavljalo drva. Starejše peči so imele nad vrati kamniti obok, novejše pa poševno armiranobetonsko ploščo. Vrh peči je bil odprt, tako da peč ni imela stropa.

Spodnje slike prikazujejo notranjost peči (Slika 19-a) s šamotno opeko po obodu peči (Slika 19-b) in obokan vhod v peč (Slika 19-c).



Slika 19: Notranjost zidane peči

Pred pečjo je bil pokrit manipulacijski prostor (*Slika 20-a* in *Slika 20-b*).

V slovenskem prostoru je bilo tovrstnih peči ogromno, saj je bilo žganje apna, ravno tako kot žganje opeke, nekoč zelo donosen posel. Danes še najdemo apnenice, kjer žgejo apno, tradicija žganja opeke v teh pečeh pa ni več v uporabi, zato tehnika zlaganja surove opeke ni opisana, niti postopek izdelave surove opeke.

Ceglarski mojstri, ki poznajo tehniko žganja opeke v kopi ali v poljski peči, bi najverjetneje znali pravilno napolniti tudi to peč.



Slika 20: Zunanost zidane peči

4 LABORATORIJSKE PREISKAVE

4.1 Splošno o preiskavah opek

Preiskave so namenjene testiranju opečnih proizvodov pred dajanjem le-teh na trg ter kontroli proizvodnje. S tem se določi fizikalne in mehanske karakteristike posameznih vrst opek. Pogoje, katerim mora opeka ustrezati za pridobitev certifikatov o skladnosti, navaja standard *SIST EN 771-1:2011: Specifikacija za zidake – 1. Opečni zidaki*. Standard podaja zahteve za opečne izdelke, proizvedene iz gline, namenjene izdelavi zidanih konstrukcij.

Ta standard navaja dva tipa žgane opeke, to so LD opečni izdelki z bruto suho gostoto $\leq 1.000 \text{ kg/m}^3$ ter HD opečni izdelki z bruto suho gostoto $> 1.000 \text{ kg/m}^3$. Polna opeka normalnega formata se obravnava pod HD opečne izdelke.

4.1.1 Dimenzije in tolerance

Dimenzije za dolžino, širino in višino so podane v milimetrih in jih podaja proizvajalec. Meritve morajo biti opravljene v skladu s *SIST EN 772-16*, upoštevajoč *Annex A* standarda *SIST EN 771-1*.

Toleranca srednje vrednosti

Toleranco srednje vrednosti posamezne dimenzije zidaka definira razlika med deklarirano vrednostjo proizvajalca in srednjo vrednostjo, dobljeno z meritvami na vzorcu in ne sme biti večja kot ena od vrednosti, podana v *Tabeli 2*.

Tabela 2: Dovoljeno odstopanje dimenzij

kategorija	odstopanje
T_1	$\max \left\{ \begin{array}{l} \pm 0,40 \sqrt{\text{delovna dimenzija [mm]}} \\ \pm 3 \text{ [mm]} \end{array} \right.$
T_2	$\max \left\{ \begin{array}{l} \pm 0,25 \sqrt{\text{delovna dimenzija [mm]}} \\ \pm 2 \text{ [mm]} \end{array} \right.$
T_m	odklon, podan v mm s strani proizvajalca (lahko je širše ali ožje od drugih kategorij)

Toleranca območja dimenzije

Opeko se razdeli v tri različne kategorije (*Tabela 3*) glede na razliko med maksimalno in minimalno vrednostjo za posamezno dimenzijo, izmerjeno na vzorcu opek, v skladu s *SIST EN 772-16*, upoštevajoč *Annex A* standarda *SIST EN 771-1*.

Tabela 3: Dovoljena razlika za posamezno dimenzijo

kategorija	maksimalno območje
R ₁	$\{0,6 \sqrt{\text{delovna dimenzija [mm]}}$
R ₂	$\{0,3 \sqrt{\text{delovna dimenzija [mm]}}$
R _m	Območje, podano v mm s strani proizvajalca (lahko je širše ali ožje od drugih kategorij)

4.1.2 Ravnost in vzporednost površin

Odklon od ravnosti površin se določi v skladu s *SIST EN 772-20*, vzporednost površin pa v skladu s *SIST EN 772-16*, upoštevajoč *Annex A* standarda *SIST EN 771-1*.

4.1.3 Oblika

Opeko je treba deklarirati po standardu *SIST EN 1996-1 (EC6)* in/ali mora vključevati naslednje karakteristike izdelka: obliko, delež in smer lukenj; volumen lukenj v razmerju do celotnega volumna; volumen največje luknje v razmerju do celotnega volumna; volumen središčnih lukenj v razmerju do celotnega volumna; debeline sten; površina lukenj posamezne ploskve.

4.1.4 Gostota

Določa se bruto in neto suha gostota v skladu s *SIST EN 772-13* in upoštevajoč *Annex A* standarda *SIST EN 771-1*, kjer srednja bruto in neto gostota, dobljena z meritvami, ne sme odstopati od deklarirane suhe gostote več, kot je določeno v spodnji *Tabeli 4*.

Tabela 4: Kategorije odstopanja pri določanju bruto in neto suhe gostote

kategorija	odstopanje
D1	10 %
D2	5 %
Dm	odklon v %, deklariran kot celo število s strani proizvajalca (lahko je širše ali ožje od drugih kategorij)

4.1.5 Tlačna trdnost

Tlačno trdnost opek določamo v skladu s *SIST EN 772-1* in upoštevajoč *Annex A* standarda *SIST EN 771-1*. Opeko se na podlagi rezultatov preiskav razporedi v dve kategoriji: *kategorijo I*, kjer je možnost, da srednja tlačna trdnost opeke ne ustreza deklarirani tlačni trdnosti proizvajalca, manjša od 5 %, ter *kategorijo II*, ki tem pogojem ne ustreza. Tlačna trdnost posameznega vzorca ne sme biti manjša od 80 % deklarirane tlačne trdnosti.

4.1.6 Trajnost

Zmrzljinska odpornost opeke se določa v skladu s *SIST-TS CEN/TS 772-22* in upoštevajoč *Annex A* standarda *SIST EN 771-1*. Na podlagi dobljenih rezultatov opeko razvrstimo v eno od treh kategorij v *Tabeli 5*.

Tabela 5: Kategorije izpostavljenosti pri določanju zmrzljinske odpornosti

kategorija	pogoji
F0	pasivna izpostavljenost
F1	srednja izpostavljenost
F2	močna izpostavljenost

4.1.7 Termalne lastnosti in absorpcija vode

Če se opeko uporablja v sklopih, kjer se zahteva toplotna izolativnost, mora proizvajalec določiti termalne lastnosti opeke po standardu *EN 1745*.

Vodovpojnost se preizkuša z metodo vpivanja hladne vode po *SIST EN 772-21*, z namakanjem opek v vreli vodi po *SIST EN 772-7* ter z določanjem začetne vodovpojnosti po *SIST EN 772-11*, z upoštevanjem *Annexa A* *SIST EN 771-1*, na opekah, ki so namenjene za uporabo v zunanjih elementih.

4.1.8 Prisotnost aktivnih vodotopnih soli

Prisotnost aktivnih vodotopnih soli v opeki se določa v skladu s *SIST EN 772-5*, upoštevajoč *Annex A* *SIST EN 771-1*. Na podlagi dobljenih rezultatov razvrstimo opeko v tri različne kategorije, podane v *Tabeli 6*.

Tabela 6: Prisotnost vodotopnih snovi v opeki

kategorija	skupni masni % naj ne presega	
	Na ⁺ + K ⁺	Mg ²⁺
S0	ni zahtev	ni zahtev
S1	0,17	0,08
S2	0,06	0,03

4.1.9 Tabela standardov

Poleg že naštetih lastnosti se opekam določa še druge lastnosti, s katerimi opisujemo karakteristike opeke in jih razvrščamo v različne kategorije odpornosti.

V *Tabeli 7* so podane posamezne lastnosti opek ter sklic na standarde, ki podajajo metode določanja te lastnosti.

Tabela 7: Standardi, ki podajajo metode določanja posamezne lastnosti opek

lastnost	metoda testiranja
dimenzije	SIST EN 772-16
ravnost površin	SIST EN 772-20
vzporednost ploskev	SIST EN 772-16
oblika	SIST EN 772-16 SIST EN 772-3 SIST EN 772-9
bruto suha gostota	SIST EN 772-13
neto suha gostota	SIST EN 772-13
tlačna trdnost	SIST EN 772-1
toplotne lastnosti	SIST EN 1745
prepustnost za vodno paro	SIST EN 1745 ali EN ISO 12572
zmrzljinska odpornost	SIST-TS CEN/TS 772-22
vodovpojnost	SIST EN 772-21 SIST EN 772-7
začetna vodovpojnost	SIST EN 772-11
prehajanje vlage	
prisotnost aktivnih topnih soli	SIST EN 772-5
reakcija na ogenj	SIST EN 13501-1
strižna trdnost	SIST EN 1052-3

4.1.10 Opis, označevanje in klasifikacija opečnih izdelkov

Pri opisu opečnih izdelkov mora proizvajalec podati sledeče lastnosti:

- številka in datum izdaje veljavnega evropskega standarda,
- tip enote (HD ali LD),
- dimenzije in tolerance (srednje vrednosti),
- zmrzljinska odpornost in njena osnova.

Če je relevantno glede na potrebe izdelka, opis in označevanje vsebujeta še:

tlačno trdnost, obliko, tolerance, bruto in neto suho gostoto s tolerancami, začetno vodovpojnost, toplotne lastnosti, kategorijo aktivnih vodotopnih soli, prehod vlage, požarno odpornost (reakcija na ogenj), prepustnost za vodno paro, strižno trdnost.

4.1.11 Annex A

Annex A (normativen) – Vzorčenje za začetni tip testiranja in za neodvisno testiranje pošiljk

Proces vzorčenja:

- *proces reprezentativnega vzorčenja*: se uporablja, ko je naključno vzorčenje nepraktično ali neprimerno, ko je velika količina vzorcev z omejeno možnostjo dostopa;
- *vzorčenje kope*: serija mora biti razdeljena na vsaj šest približno enako velikih imaginarnih sektorjev, z vsakega sektorja se naključno vzame ne več kot štiri vzorce, ne glede na njihovo kakovost, razen poškodovanih vzorcev;
- *vzorčenje iz paketov*: naključno se izbere vsaj šest paketov, nato se iz vsakega naključno izbere po ne več kot štiri vzorce, ne glede na njihovo kakovost, razen poškodovanih vzorcev;
- če se vzorce pobere za več kot eno testiranje, se vse vzorce odvzame hkrati in nato naključno loči iz celote nove podvzorčne skupine;
- posamezni standard določa število vzorcev v testiranjih.

V spodnjih tabelah so osnovni podatki odvzema in označevanja vzorcev s terena za potrebe laboratorijskega testiranja.

Tabela 8: Podatki vzorca V.I, nova opeka, izdelana po starem postopku

Opekarna – Ljubečna	V.I (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
Leto izdelave	2014
Lokacija odvzema	Opekarna Hojnik Cesta na Ljubečno 3000 Celje
Odvzel	Kozelj, J.
Čas odvzema	10. februar 2015
Posebnosti	

Tabela 9: Podatki vzorca V.II, nova opeka, izdelana po starem postopku

TD Brod – Melinci	V.II (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
Leto izdelave	2010
Lokacija odvzema	Ciglarska vas Melinci 9231 Beltinci
Odvzel	Koštric, J.
Čas odvzema	18. februar 2015
Posebnosti	

Tabela 10: Podatki vzorca X, stara opeka, odvzeta iz hiše

Privatna hiša	X (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)
Leto izdelave	1880
Lokacija odvzema	Veliko Mlačevo 1290 Grosuplje
Odvzel	Matjažič, B.
Čas odvzema	2014
Posebnosti	

4.1.12 Fizikalne lastnosti opeke po JUS standardu

Pred uveljavitvijo SIST standardov smo v Sloveniji uporabljali jugoslovanske JUS standarde.

V tem standardu so nekatere lastnosti opek normalnega formata bolje definirane, kot to navaja nov standard.

Obliko, velikost, dimenzijsko obstojnost in teksturo, za polno opeko, po teh standardih določajo naslednje tehnične zahteve [17]:

- opeka ima lahko votline, vendar morajo biti te enakomerno razporejene in njih skupni preseki smejo znašati največ 15 % od celotne površine opeke;
- opeka mora imeti obliko pravokotnega paralelepipeda s pravokotnimi robovi in z ravnimi ploskvami, robovi so lahko zaokroženi, vendar sme znašati polmer zaokroževanja največ 5 mm;
- opeka mora imeti mere: dolžina 250 mm \pm 10 mm, širina 120 mm \pm 5 mm in višina 65 mm \pm 4 mm;
- če ima opeka votlinice, ne sme biti presek posamezne votlinice večji od 15 x 15 mm ali premer večji od 20 mm;
- površina opeke je lahko gladka ali izbrazdana, vendar sme biti globina brazde največ 3 mm;
- odstopanje od pravega kota daljših robov pri vogalu sme znašati največ 5 mm;
- robovi in vogali smejo biti okrušeni do globine 20 mm, vendar največ na štirih mestih;
- razpoke v smeri debeline opeke si ne smejo biti nasproti;
- dovoljeno je največ 5 % polomljenih opek pri eni nabavi;
- površine smejo biti skrivljene največ do 5 mm;
- opeka sme vsebovati samo toliko soli, da pride do zmerne cvetenja, vodotopnih soli sme biti največ 2 ‰;
- opeke ne smejo vsebovati prostega apna v množini in velikosti zrna, ki bi škodljivo vplivala na trajnost opeke in povzročala razpadanje opeke.

4.2 Opis in potek preiskav, povprečni rezultati

4.2.1 Določevanje tlačne trdnosti

SIST EN 772-1:2011

Izbor in priprava vzorcev

Standard predvideva izbor minimalno šestih vzorcev za testiranje. Odvzema se jih po postopku, opisanem v standardu *SIST EN 771-1*.

Pred pričetkom izvajanja preizkusov se določi smer obremenjevanja vzorca in izravna površine, če le-te niso ravne:

- površine morajo biti ravne, tako da je spodnja ploskev paralelna zgornji z natančnostjo $1\text{ mm}/100\text{ mm}$,
- če dimenzije ne ustrezajo zahtevam, se jih izravna z brušenjem ali z izravnavo površine s cementno malto.

Izravnane površine s cementno malto

- Tlačna trdnost cementne malte mora biti vsaj tolikšna, kot je pričakovana tlačna trdnost opeke ali vsaj 30 N/mm^2 ,
- vzorec se predhodno navlaži ter podlago za izravnavo premaže z oljem,
- nanos malte v debelini 5 mm (*min* 3 mm) na eno stran opeke,
- opeko z malto se pokrije z vlažno krpo, le-to se ohranja vlažno,
- nanos malte na nasprotno ploskev opeke, ko se prvi sloj posuši, pokrivanje z vlažno krpo.

Opremljanje vzorcev

Vzorci pred testiranjem kondicioniramo v konstantnih pogojih. Poznamo več načinov kondicioniranja:

- zračno suhi pogoji: 14 dni pri pogojih $T \geq 15\text{ °C}$ in relativni vlažnosti $\leq 65\%$,
- sušenje v peči: vzorec posušimo pri temperaturi $105 \pm 5\text{ °C}$ ali pri $70 \pm 5\text{ °C}$ do konstantne mase,
- potapljanje: vzorec potopimo v vodo pri temperaturi $20 \pm 5\text{ °C}$ za 15 ur .

Potek preiskave

- Vstavljanje vzorcev v napravo, ki jo predhodno očistimo vseh nečistoč; vzorec se centrično namesti v napravo,
- nanašanje obtežbe: hitrost obteževanja je odvisna od pričakovane nosilnosti vzorca (*Tabela 11*):

Tabela 11: Hitrost nanašanja obtežbe

Pričakovana obtežba (N/mm ²)	Hitrost nanašanja obtežbe ((N/mm ²)/s)
< 10	0,05
11 do 20	0,15
21 do 40	0,3
41 do 80	0,6
> 80	1,0

Račun, podajanje in ovrednotenje rezultatov

- Preračun tlačne trdnosti vsakega vzorca z deljenjem maksimalne obtežbe z bruto površino vzorca po izrazu *En 1*:

$$f_b = \frac{F_b}{A_b} \text{ (MPa)} \quad \text{En 1}$$

simbol [enota]	opis
f_b [MPa]	tlačna trdnost preizkušanca
F_b [N]	porušna sila mokrega vzorca
A_b [mm ²]	bruto površina vzorca

- podajanje rezultatov na $0,1 \text{ N/mm}^2$ ($= 0,1 \text{ MPa}$) natančno,
- preračun dobljenih rezultatov na povprečno vrednost z natančnostjo $0,1 \text{ N/mm}^2$ po izrazu *En 2*:

$$\bar{f}_b = \sum_{i=1}^n \frac{f_{b,i}}{n} \quad (i = 1, 2, 3 \dots 6) \quad \text{En 2}$$

simbol [enota]	opis
\bar{f}_b [MPa]	povprečna tlačna trdnost vseh preizkušancev
$f_{b,i}$ [MPa]	tlačna trdnost i-tega preizkušanca
n []	število preizkušancev

- preračun koeficienta odstopanja k [] za vsak vzorec po izrazu *En 3*:

$$k = \begin{cases} \left(1 - \frac{\bar{f}_b}{f_{b,i}}\right); \text{ za } \bar{f}_b < f_{b,i}; (i = 1, 2, 3 \dots 6) \\ \left(1 - \frac{f_{b,i}}{\bar{f}_b}\right); \text{ za } \bar{f}_b > f_{b,i}; (i = 1, 2, 3 \dots 6) \end{cases} \quad \text{En 3}$$

- preračun normirane tlačne trdnosti in povprečne normirane tlačne trdnosti po izrazih *En 4* in *En 5*:

$$f_{b,nor} = f_{b,i} \cdot \delta \quad \text{En 4}$$

$$\overline{f_{b,nor}} = \sum_{i=1}^n \frac{f_{b,nor,i}}{n} \quad (i = 1, 2, 3 \dots 6) \quad \text{En 5}$$

simbol [enota]	opis
$\overline{f_{b,nor}}$	povprečna normirana tlačna trdnost vseh preizkušancev
$f_{b,nor,i}$ [MPa]	normirana tlačna trdnost i-tega preizkušanca
δ	faktor oblike, podan v <i>Tabeli 12</i>
n []	število preizkušancev

Tabela 12: Faktor δ za določanje normirane tlačne trdnosti

višina/širina	50	100	125	150	200	250
40	0,80	0,70	-	-	-	-
50	0,85	0,75	0,73	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,81	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,96	0,90	0,80	0,75
150	1,23	1,20	1,16	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,31	1,25	1,15	1,10
250	1,55	1,45	1,41	1,35	1,25	1,15

Poročilo preiskave

Standard:	SIST EN 772-1:2011 (1.7.2011): Metode preizkušanja zidakov – 1. del: Določevanje tlačne trdnosti
Organizacija:	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij
Opis:	Polna opeka normalnega formata (NF) dimenzij: 250 x 120 x 65 [mm]
Vzorčenje:	<i>SIST EN 771-1:2011: Specifikacija za zidake – 1. del: Opečni zidaki; Annex A (normativen):</i> Vzorčenje za začetni tip testiranja in za neodvisno testiranje pošiljk; vzorčenje kope: serija mora biti razdeljena na vsaj šest približno enako velikih imaginarnih sektorjev; z vsakega sektorja se naključno vzame ne več kot štiri vzorce ne glede na njihovo kakovost, razen poškodovanih vzorcev.
Datum prejema:	V.I: 10. 2. 2015 V.II: 18. 2. 2015 X: 8. april 2015
Datum prejema v laboratorij:	7. 4. 2015 (V.I, V.II) 9. 4. 2015 (X)
Datum testiranja:	V.I: 5. 5. 2015 V.II: 5. 5. 2015 X: 5. 5. 2015
Št. vzorcev v testu:	6
Skica testiranja:	<i>Slika 21</i>
Metoda kondicioniranja:	Moker vzorec zračno posušen, nanos cementne paste in sušenje cementne paste 15 dni.
Metoda priprave površin:	Izmera paralelnosti in ravnosti površin po <i>SIST EN 772-20</i> in priprava površin vzorcev po <i>SIST EN 772-1</i> : izravnavanje površin s cementno malto.
Rezultati merjenja:	<i>Tabela 13</i>
Opombe:	specificirani rezultati v <i>Prilogi A</i> za izravnavanje površine je bila uporabljena cementna pasta

Tabela 13: Rezultati preiskave po SIST EN 772-1

SIST EN 772-1	Rezultati preiskav – povprečne vrednosti				
	Ime	F_{max} [kN]	f_b [MPa]	k	f_{nor} [MPa]
Porušna sila, tlačna trdnost, koef. odstopanja, normirana tlačna trdnost	V.I	795,6	28,0	4 %	22,6
	V.II	295,6	9,2	41 %	7,5
	X	1048,9	30,6	5 %	24,8

4.2.2 Ugotavljanja vpijanja vode z namakanjem opečnih zidakov za zidove, neprepustne za vlago (obloge), v vreli vodi

SIST EN 772-7:1999

Vzorčenje in aparature

Standard predvideva izbor minimalno šestih vzorcev za testiranje. Odvzema se jih po postopku, opisanem v standardu *SIST EN 771-1*.

Aparature, potrebne za izvedbo preiskave, so:

- sušilna peč z ventilatorjem,
- tehtnica natančnosti 1 g,
- posoda za vodo z zadostno kapaciteto za potopitev vzorcev in zmožnostjo cirkulacije vode okrog vseh vzorcev.

Priprava vzorcev

Vzorci se suši v ventilacijski peči pri temperaturi $105 \pm 5^\circ\text{C}$ do konstantne mase. Konstantna masa je dosežena, ko v dveh zaporednih tehtanjih v času 24 ur izguba mase ne presega 0,2 % celotne mase.

Potek preiskave

- Tehtanje vzorca po sušenju in beleženje rezultatov,
- vstavljanje vzorca v vodo takoj po merjenju,
- vodo se v času 1 ure zavre, nato vre še 5 ur,
- po preteku časa se vzorce v vodi pusti, da se ohladijo, in sicer ne prej kot v 16 urah,
- vzorce vzamemo iz posode, obrišemo s cunjjo in stehtamo.

Račun, podajanje in ovrednotenje rezultatov

- Opiše se vpijanje vode vsakega vzorca kot razlika mas saturiranega in suhega vzorca, deljeno z maso suhega vzorca po izrazu *En 6*:

$$w_s = \frac{m_m - m_s}{m_s} \times 100 \%$$

En 6

simbol [enota]	Opis
w_s [%]	vodovpojnost vzorca
m_m [g]	masa mokrega (Sr=1)* vzorca
m_s [g]	masa suhega vzorca

*Sr: Stopnja saturacije vzorca (100 %)

- preračun povprečne vodovpojnosti vseh vzorcev na 0,1 % natančno.

Poročilo preiskave

Standard:	SIST EN 772-7:1999: Metode preizkušanja opečnih zidakov – 7. del: Ugotavljanja vpijanja vode z namakanjem opečnih zidakov za zidove, neprepustne za vlago (obloge), v vreli vodi
Organizacija:	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij
Opis:	Polna opeka normalnega formata (NF) dimenzij: 250 x 120 x 65 [mm]
Vzorčenje:	<i>SIST EN 771-1:2011: Specifikacija za zidake – 1. del: Opečni zidaki; Annex A (normativen):</i> Vzorčenje za začetni tip testiranja in za neodvisno testiranje pošiljk; vzorčenje kope: serija mora biti razdeljena na vsaj šest približno enako velikih imaginarnih sektorjev; z vsakega sektorja se naključno vzame ne več kot štiri vzorce ne glede na njihovo kakovost, razen poškodovanih vzorcev.
Datum prejema:	V.I: 10. 2. 2015 V.II: 18. 2. 2015 X: 8. april 2015
Datum prejema v laboratorij:	7. 4. 2015 (V.I, V.II) 9. 4. 2015 (X)
Datum testiranja:	V.I: 7. 4. 2015 V.II: 7. 4. 2015 X: 13. 4. 2015
Št. vzorcev v testu:	6
Opis merilne naprave:	tehnica max. 4.200 g, min 0,5 g; METTLER TOLEDO; ± 0,1g tehnica max. 12 kg; GSC; ± 2g
Rezultati merjenja:	Tabela 14
Opombe:	specificirani rezultati v Prilogi B

Tabela 14: Rezultati preiskave po SIST EN 772-7

SIST EN 772-7	Rezultati preiskav – povprečne vrednosti	
	preizkušane	w _s
Vpianje vode	V.I	19,0 %
	V.II	27,7 %
	X	18,6 %

4.2.3 Ugotavljanje začetne stopnje vpivanja vode opečnih zidakov

SIST EN 772-11:2011

Vzorčenje in aparature

Standard predvideva izbor minimalno šestih vzorcev za testiranje. Odvzema se jih po postopku, opisanem v standardu *SIST EN 771-1*.

Aparature, potrebne za izvedbo preiskave, so:

- večji pladenj ali posoda za potapljanje vzorcev,
- podstavek, ki ločuje vzorce od dna pladnja,
- merilnik časa,
- ventilacijska peč z doseganjem temperature 105 ± 5 °C,
- tehtnica natančnosti 1 g.

Priprava vzorcev

Vzorci se suši v ventilacijski peči pri temperaturi 105 ± 5 °C do konstantne mase. Konstantna masa je dosežena, ko v dveh zaporednih tehtanjih v času 24 ur izguba mase ne presega 0,2 % celotne mase. Vzorec pustimo na sobni temperaturi, da se shladi.

Potek preiskave

- merjenje bruto površine, ki bo potopljena v vodo, po *SIST EN 772-16*,
- vzorec postavimo na podstavek, ki je na pladnju, tako, da se večja površina prilega podstavku in se ne prilega dnu pladnja,
- v pladenj nalijemo vodo tako, da je vzorec, v času testiranja, potopljen do višine 5 ± 1 mm,
- aktiviranje merilnika časa in ohranjanje nivoja vode v pladnju,
- po preteku časa, navedenega v *SIST EN 771-1*, *SIST EN 771-3*, *SIST EN 771-4*, *SIST EN 771-5*, *SIST EN 771-6*, se vzorec iz vode odstrani, obriše površinsko vodo in se ga stehta.

Tabela 15: Časi namakanja različnih zidakov

standard	opis	Čas
<i>SIST EN 771-1</i>	Opečni zidaki	60 ± 2 s
<i>SIST EN 771-3</i>	Betonski zidaki	$10 \pm 0,2$ min
<i>SIST EN 771-4</i>	Avtoklavirani celični beton	10 min, 30 min, 90 min
<i>SIST EN 771-5</i>	Zidaki iz umetnega kamna	$10 \pm 0,2$ min
<i>SIST EN 771-6</i>	Naravni kamen: visokovpojni	1 min, 3 min, 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 60 min, 480 min, 1440 min
<i>SIST EN 771-6</i>	Naravni kamen: nizkovpojni	30 min, 60 min, 180 min, 480 min, 1440 min, 2280 min, 4320 min

Račun, podajanje in ovrednotenje rezultatov

Preračun koeficienta začetne stopnje vpijanja vode vsakega vzorca na $0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ min})$ po izrazu *En 7*:

$$c_w = \frac{m_m - m_s}{A_b t_i} \times 10^3 [\text{kg}/(\text{m}^2 \times \text{min})] \quad \text{En 7}$$

simbol [enota]	opis
c_w [kg/m ² xmin]	koeficient začetne stopnje vpijanja vode
m_m [g]	masa mokrega vzorca
m_s [g]	masa suhega vzorca
A_b [mm ²]	bruto površina vzorca, potopljenega v vodo
t_i [min]	čas potapljanja po intervalu i

Poročilo preiskave

Standard:	SIST EN 772-11:2011: Metode preizkušanja zidakov – 11. del: Ugotavljanje kapilarnega vpivanja vode betonskih zidakov, zidakov iz avtoklaviranega celičastega betona ter zidakov iz umetnega in naravnega kamna in začetna stopnja vpivanja vode opečnih zidakov
Organizacija:	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij
Opis:	Polna opeka normalnega formata (NF) dimenzij: 250 x 120 x 65 [mm]
Vzorčenje:	<i>SIST EN 771-1:2011: Specifikacija za zidake – 1. del: Opečni zidaki; Annex A (normativen):</i> Vzorčenje za začetni tip testiranja in za neodvisno testiranje pošiljk; vzorčenje kope: serija mora biti razdeljena na vsaj šest približno enako velikih imaginarnih sektorjev; z vsakega sektorja se naključno vzame ne več kot štiri vzorce ne glede na njihovo kakovost, razen poškodovanih vzorcev.
Datum prejema:	V.I: 10. 2. 2015 V.II: 18. 2. 2015 X: 8. april 2015
Datum prejema v laboratorij:	7. 4. 2015 (V.I, V.II) 9. 4. 2015 (X)
Datum testiranja:	V.I: 13. 4. 2015 V.II: 13. 4. 2015 X: 15. 4. 2015
Št. vzorcev v testu:	6
Rezultati merjenja:	<i>Tabela 16</i>
Opombe:	specificirani rezultati v <i>Prilogi C</i>

Tabela 16: Rezultati preiskave po SIST EN 772-11

SIST EN 772-11	Rezultati preiskav – povprečne vrednosti [kg/(m ² min)]				
	preizkušanec	vrednost			
		c _w (t=1)	c _w (t=10)	c _w (t=30)	c _w (t=90)
Kapilarno vpivanje vode	V.I	1,8	0,3	0,1	0,0
	V.II	4,7	0,7	0,2	0,0
	X	2,3	0,4	0,1	0,0

4.2.4 Določevanje neto in bruto gostote suhih zidakov

SIST EN 772-13:2002

Definicije

bruto suha teža = masa na enoto bruto volumna po sušenju do konstantne mase,

bruto volumen = volumen iz dolžine, širine in višine vzorca, dobljen po *SIST EN 772-16*,

neto suha teža = masa na enoto volumna po sušenju do konstantne mase,

neto volumen = bruto volumen, zmanjšan za volumen lukenj in praznin, ki ne bodo zaprte z malto.

Vzorčenje in aparature

Standard predvideva izbor minimalno šestih vzorcev za testiranje. Odvzema se jih po postopku, opisanem v standardu *SIST EN 771-1*.

Aparature, potrebne za izvedbo preiskave, so:

- ventilacijska peč z doseganjem temperature $105 \pm 5^\circ\text{C}$,
- tehtnica natančnosti $0,1 \%$ mase tehtanih vzorcev.

Priprava vzorcev

Vzorci se suši v ventilacijski peči pri temperaturi $105 \pm 5^\circ\text{C}$ do konstantne mase. Konstantna masa je dosežena, ko v dveh zaporednih tehtanjih v času 24 ur izguba mase ne presega $0,2 \%$ celotne mase.

Potek preiskave

Neto suha gostota

- Določanje volumna s tehtanjem v vodi po postopku opisanem, v *SIST EN 772-3*
- določanje neto suhe gostote vzorca po izrazu *En 8*:

$$\rho_n = \frac{m_s}{V_n} \times 10^6 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad \text{En 8}$$

simbol [enota]	opis
m_s [g]	masa suhega vzorca
V_n [mm ³]	neto volumen vzorca
ρ_n [kg/m ³]	neto suha gostota

Bruto suha gostota

- Izračun bruto volumna vzorca po metodi, opisani v *SIST EN 772-16*,
- določanje bruto suhe gostote vzorca po izrazu *En 9*:

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_b} \times 10^6 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

En 9

<i>simbol [enota]</i>	<i>opis</i>
m_s [g]	masa suhega vzorca
V_b [mm ³]	bruto volumen vzorca
ρ_b [kg/m ³]	bruto suha gostota

Račun, podajanje in ovrednotenje rezultatov

- Izračun neto in bruto suhe gostote za vsak vzorec do natančnosti 5 kg/m^3 za vzorce z gostoto do 1.000 kg/m^3 in do natančnosti 10 kg/m^3 za vzorce z gostoto nad 1.000 kg/m^3 ,
- izračun povprečne vrednosti neto in bruto suhe gostote vseh vzorcev.

Poročilo preiskave

Standard:	SIST EN 772-13:2002: Metode preizkušanja zidakov – 13. del: Določevanje neto in bruto gostote suhih zidakov (razen za naravni kamen)
Organizacija:	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij
Opis:	Polna opeka normalnega formata (NF) dimenzij: 250 x 120 x 65 [mm]
Vzorčenje:	<i>SIST EN 771-1:2011: Specifikacija za zidake – 1. del: Opečni zidaki; Annex A (normativen):</i> Vzorčenje za začetni tip testiranja in za neodvisno testiranje pošiljk; vzorčenje kope: serija mora biti razdeljena na vsaj šest približno enako velikih imaginarnih sektorjev; z vsakega sektorja se naključno vzame ne več kot štiri vzorce ne glede na njihovo kakovost, razen poškodovanih vzorcev.
Datum prejema:	V.I: 10. 2. 2015 V.II: 18. 2. 2015 X: 8. april 2015
Datum prejema v laboratorij:	7. 4. 2015 (V.I, V.II) 9. 4. 2015 (X)
Datum testiranja:	V.I: 10. 4. 2015 V.II: 10. 4. 2015 X: 10. 4. 2015
Št. vzorcev v testu:	6
Opis merilne naprave:	tehnica <i>max 4.200 g, min. 0,5 g</i> ; METTLER TOLEDO; $\pm 0,1 g$
Rezultati merjenja:	<i>Tabela 17</i>
Opombe:	v testiranjih so se uporabili vsi vzorci specificirani rezultati v <i>Prilogi D</i>

Tabela 17: Rezultati preiskave po SIST EN 772-13

SIST EN 772-13	Rezultati preiskav – povprečne vrednosti	
	preizkušanec	ρ_b [kg/m ³]
Bruto gostota	V.I	1660
	V.II	1510
	X	1740

4.2.5 Določevanje mer

SIST EN 772-16:2011

Vzorčenje

Standard predvideva izbor minimalno šestih vzorcev za testiranje. Odvzema se jih po postopku, opisanem v standardu *SIST EN 771-1*.

Priprava vzorcev

Vzorci se očisti vseh nepravilnosti, ki nastanejo v procesu proizvodnje, da so površine ravne.

Potek preiskave

Dolžina, višina, širina

- Dve meritvi blizu vogalov vsakega vzorca (*Priloga E3, Slika 23 a, b in c*),
- ena meritev v sredinskem delu vzorca.

Vzporednost ploskev

- Kjer to določa standard *SIST EN 771*, se meri vzporednost ploskev,
- postavitev vzorca v stabilen položaj na ravni površini,
- merjenje dimenzij od spodnje do zgornje ploskve na vseh vogalih.

Račun, podajanje in ovrednotenje rezultatov

- Pri merjenju dolžine, širine in višine je tolerance merjenja dimenzij $<1\text{ mm}$ z napako merila $0,1\text{ mm}$,
- podajanje rezultatov na $0,2\text{ mm}$ natančno,
- preračun povprečne vrednosti posameznih dimenzij vseh vzorcev,
- podajanje odstopanja vzporednosti ploskev posameznih vzorcev.

Poročilo preiskave

Standard:	SIST EN 772-16:2011: Metode preizkušanja zidakov – 16. del: Določevanje mer
Organizacija:	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij
Opis:	Polna opeka normalnega formata (NF) dimenzij: 250 x 120 x 65 [mm]
Vzorčenje:	<i>SIST EN 771-1:2011: Specifikacija za zidake – 1. del: Opečni zidaki; Annex A (normativen):</i> Vzorčenje za začetni tip testiranja in za neodvisno testiranje pošiljk;-vzorčenje kope: serija mora biti razdeljena na vsaj šest približno enako velikih imaginarnih sektorjev; z vsakega sektorja se naključno vzame ne več kot štiri vzorce ne glede na njihovo kakovost, razen poškodovanih vzorcev.
Datum prejema:	V.I: 10. 2. 2015 V.II: 18. 2. 2015 X: 8. april 2015
Datum prejema v laboratorij:	7. 4. 2015 (V.I, V.II) 9. 4. 2015 (X)
Datum testiranja:	V.I: 7. 4. 2015 V.II: 7. 4. 2015 X: 10. 4. 2015
Št. vzorcev v testu:	10
Opis merilne naprave:	kljunasto merilo $d = 320 \text{ mm}$; MEBA; $\pm 0,02 \text{ mm}$ kljunasto merilo $d = 150 \text{ mm}$; MITUTOYO; $\pm 0,05 \text{ mm}$ kljunasto merilo $d = 150 \text{ mm}$; MITUTOYO; $\pm 0,01 \text{ mm}$
Metoda merjenja:	<i>SIST EN 772-16: Metoda a</i> za dolžino, širino in višino, metoda <i>f</i> za vzporednost površin.
Rezultati merjenja:	Tabela 18,
Opombe:	merjeno pri temperaturi zraka $T = 13 \text{ °C}$ specificirani rezultati v <i>Prilogi E1, Prilogi E2</i>

Tabela 18: Rezultati preiskave po SIST EN 772-16

SIST EN 772-16	Rezultati preiskav – povprečne vrednosti			
	Ime	Vrednost		
		l [mm]	b [mm]	h [mm]
Dolžina, širina, višina	V.I	235,8	120,8	61,9
	V.II	250,2	128,6	65,3
	X	263,5	130,1	66,2

4.2.6 Ugotavljanje ravnosti površin zidakov

SIST EN 772-20:2000/A1:2005

Vzorčenje

Standard predvideva izbor minimalno šestih vzorcev za testiranje. Odvzema se jih po postopku, opisanem v standardu *SIST EN 771-1*.

Priprava vzorcev

Vzorce se očisti vseh nepravilnosti, ki nastanejo v procesu proizvodnje, da so površine ravne.

Potek preiskave

- Postavitev vzorca v stabilen položaj na ravni površini,
- merjenje diagonal: za vsako ploskev, definirano kot ravno, se odmeri dolžina dveh diagonal,
- merjenje odklona: merilo se postavi iz enega vogala preko diagonal v drugega; če je ploskev konkavna, se meri največjo oddaljenost od merila; če je konveksna, se merilo nastavi enako oddaljeno od obeh vogalov po diagonalah in se zabeleži oddaljenost.

Račun, podajanje in ovrednotenje rezultatov

- Merjenje diagonal na *0,5 mm* natančno,
- merjenje odklona na *0,05 mm* natančno,
- za vsako ploskev se podaja povprečna vrednost diagonal,
- za odklon se vzame srednja vrednost odstopanja diagonale iz ravnine,
- povprečna vrednost diagonal se določa na *1 mm* natančno, odklona pa na *0,1 mm* natančno.

Poročilo preiskave

Standard:	SIST EN 772-20:2000/A1:2005 Metode preizkušanja zidakov – 20. del: Ugotavljanje ravnosti površin zidakov
Organizacija:	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij
Opis:	Polna opeka normalnega formata (NF) dimenzij: 250 x 120 x 65 [mm]
Vzorčenje:	<i>SIST EN 771-1:2011: Specifikacija za zidake – 1. del: Opečni zidaki; Annex A (normativen):</i> Vzorčenje za začetni tip testiranja in za neodvisno testiranje pošiljk; vzorčenje kope: serija mora biti razdeljena na vsaj šest približno enako velikih imaginarnih sektorjev; z vsakega sektorja se naključno vzame ne več kot štiri vzorce ne glede na njihovo kakovost, razen poškodovanih vzorcev
Datum prejema:	V.I: 10. 2. 2015 V.II: 18. 2. 2015 X: 8. april 2015
Datum prejema v laboratorij:	7. 4. 2015 (V.I, V.II) 9. 4. 2015 (X)
Datum testiranja:	V.I: 7. 4. 2015 V.II: 7. 4. 2015 X: 10. 4. 2015
Št. vzorcev v testu:	10
Opis merilne naprave:	kljunasto merilo $d = 320 \text{ mm}$; MEBA; $\pm 0,02 \text{ mm}$ kljunasto merilo $d = 150 \text{ mm}$; MITUTOYO; $\pm 0,05 \text{ mm}$ kljunasto merilo $d = 150 \text{ mm}$; MITUTOYO; $\pm 0,01 \text{ mm}$
Metoda merjenja:	<i>SIST EN 772-16:</i> Metoda f za vzporednost površin <i>SIST EN 772-20:2000/A1:2005:</i> Metoda merjenje diagonal
Rezultati merjenja:	<i>Tabela 19, Tabela 20</i> <i>Opis odstopanja ploskev v Prilogi E4 in Prilogi E5: Slika 24, Slika 25, Slika 26, Slika 27, Slika 28 in Slika 29</i>
Opombe:	merjeno pri temperaturi zraka $T = 13 \text{ °C}$ specificirani rezultati v <i>Prilogi F</i>

Tabela 19: Rezultati preiskave po SIST EN 772-20

SIST EN 772-20	Rezultati preiskav – povprečne vrednosti			
	ime	povprečna vrednost		
		l_d [mm]	b_d [mm]	h_d [mm]
Povprečne dolžine diagonal	V.I	260,53	242,64	134,08
	V.II	276,17	256,78	140,50
	X	289,82	270,08	142,55

Tabela 20: Rezultati preiskave po SIST EN 772-20.

SIST EN 772-20	ime	Rezultati preiskav – povprečne vrednosti [mm]					
		Zgornja stran			spodnja stran		
		odstop.	smer	št. vzorc.	odstop.	smer	št. vzorc.
Odklon k stranice A	V.I	2,4	konkavno	2	1,2	konkavno	5
		1,6	konveksno	6	1,6	konveksno	1
		3,1	konv./konk.	2	2,1	konv./konk.	4
	V.II	1,9	konkavno	3	2,8	konkavno	2
		3,2	konveksno	5	2,1	konveksno	4
		2,6	konv./konk.	2	2,8	konv./konk.	4
	X	1,7	konkavno	2	2,1	konkavno	5
		1,4	konveksno	3	2,9	konveksno	2
		2,9	konv./konk.	5	1,9	konv./konk.	3

4.2.7 Ugotavljanje vpijanja hladne vode

SIST EN 772-21:2011

Vzorčenje in aparature

Standard predvideva izbor minimalno šestih vzorcev za testiranje. Odvzema se jih po postopku, opisanem v standardu *SIST EN 771-1*.

Aparature, potrebne za izvedbo preiskave, so:

- posoda za potapljanje vzorcev,
- podstavek, ki ločuje vzorce od dna posode,
- ventilacijska peč z doseganjem temperature $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$,
- tehtnica natančnosti $0,1 \%$ mase tehtanih vzorcev.

Priprava vzorcev

Vzorci se suši v ventilacijski peči pri temperaturi $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ do konstantne mase. Konstantna masa je dosežena, ko v dveh zaporednih tehtanjih v času *24 ur* izguba mase ne presega $0,2 \%$ celotne mase. Vzorce se ohladi na sobno temperaturo.

Potek preiskave

- Vzorec se postavi v posodo z vodo na podstavek, tako da se površina vzorca ne dotika dna posode,
- vzorce se pusti potopljene v vodi za $24 \pm 0,5h$,
- vzorec se vzame iz vode in z gobico ali cunjjo odstrani površinsko vodo,
- vzorec se stehta in zabeleži maso.

Račun, podajanje in ovrednotenje rezultatov

- Preračun absorpcije vode w_s posameznega vzorca po izrazu *En 10*:

$$w_s = \frac{m_m - m_s}{m_s} \times 100 \% \quad \text{En 10}$$

simbol [enota]	Opis
m_s [g]	masa suhega vzorca
m_m [g]	masa mokrega vzorca ($Sr = 1$)*
w_s [%]	vodovpojnost vzorca

*Sr: Stopnja saturacije vzorca (100 %)

- izračun povprečne vodovpojnosti na 1% natančno

Poročilo preiskave

Standard:	SIST EN 772-21:2011: Metode preskušanja zidakov – 21. del: Ugotavljanje vpijanja hladne vode opečnih in apneno-peščenih zidakov
Organizacija:	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij
Opis:	Polna opeka normalnega formata (NF) dimenzij: 250 x 120 x 65 [mm]
Vzorčenje:	<i>SIST EN 771-1:2011: Specifikacija za zidake – 1. del: Opečni zidaki; Annex A (normativen):</i> Vzorčenje za začetni tip testiranja in za neodvisno testiranje pošiljk; vzorčenje kope: serija mora biti razdeljena na vsaj šest približno enako velikih imaginarnih sektorjev; z vsakega sektorja se naključno vzame ne več kot štiri vzorce ne glede na njihovo kakovost, razen poškodovanih vzorcev.
Datum prejema:	V.I: 10. 2. 2015 V.II: 18. 2. 2015 X: 8. april 2015
Datum prejema v laboratorij:	7. 4. 2015 (V.I, V.II) 9. 4. 2015 (X)
Datum testiranja:	V.I: 15. 4. 2015 V.II: 15. 4. 2015 X: 17. 4. 2015
Št. vzorcev v testu:	6
Rezultati merjenja:	<i>Tabela 21</i>
Opombe:	specificirani rezultati v <i>Prilogi G</i>

Tabela 21: Rezultati preiskave po SIST EN 772-21

SIST EN 772-21	Rezultati preiskav – povprečne vrednosti	
	Preizkušanec	w _s [%]
Vpijanje hladne vode	V.I	17,4 %
	V.II	22,5 %
	X	15,1 %

4.3 Rezultati preiskav in analize

4.3.1 Mere in ravnosti površin

Osnovne dimenzije NF opek so 250 x 120 x 65 mm, kot prikazuje *Slika 2*. Pri preverjanju dimenzij preizkušanih opek je bilo ugotovljeno veliko odstopanje od nazivnih dimenzij, kar lahko pomeni, da opek ne moremo smatrati kot opeke normalnega formata.

Tabela 22 določa dovoljeno odstopanja dimenzij za NF opeko, *Tabela 23* pa dejansko odstopanje povprečnih dimenzij od osnovnih dimenzij NF.

Tabela 22: Dovoljeno odstopanje dimenzij

Odstopanje	l [mm]	b [mm]	h [mm]
T ₁	± 6,3	± 4,4	± 3,2
T ₂	± 4	± 2,7	± 2
T _m	podano od proizvajalca		

Tabela 23: Odstopanje posameznih dimenzij vzorcev

Odstopanje	l [mm]	b [mm]	h [mm]
V.I	14,2	4,2	3,1
V.II	-0,2	-3,6	-0,3
X	-13,5	-5,1	-1,2

Iz zgornjih tabel lahko sklepamo, da vzorci iz Melincev (V.II) ustrezajo skupini T₁, vzorci iz Ljubečne (V.I) in stara opeka (X) pa skupini T_m, kjer odstopanje dimenzij določa proizvajalec.

Tabela 24 prikazuje pogoje za uvrščanje opek v različna območja dimenzij. *Tabela 25* pa prikazuje povprečni obseg odstopanja posamezne skupine.

Preizkušanci iz Ljubečne (V.I) spadajo v R₁, preizkušancev drugih dveh skupin pa ne moremo uvrstiti v definirani dve območji, saj nekatere dimenzije preveč odstopajo in jih lahko uvrstimo le pod R_m, kjer proizvajalec določa odstopanja.

Tabela 24: Pogoji za določanje ranga

Območje	l [mm]	b [mm]	h [mm]
R ₁	9,5	6,6	4,8
R ₂	4,7	3,3	2,4
R _m	podano od proizvajalca		

Tabela 25: Določanje ranga posameznih skupin vzorcev

Območje	l [mm]	b [mm]	h [mm]
V.I	5,0	5,4	3,4
V.II	16,2	7,0	5,0
X	35,0	11,3	4,1

Tabela 26 prikazuje povprečna odstopanja od vzporednosti vseh ploskev vsakega preizkušanca, tako imenovani odstotek ukrivljenosti ploskev, ki pove, za koliko posamezni preizkušanci odstopajo od popolnega paralelepipeda. V *Prilogi E2 Preglednici 6*, *Prilogi E3*, *E4* in *E5* so podani rezultati odstopanja posameznih ploskev s prikazom smeri odstopanja ploskev.

Tabela 26: Analiza rezultatov preiskave SIST EN 772-16

Analiza	ΔABC	1	2	3	4	5
Odstopanja vzporednosti ploskev posameznih vzorcev	V.I	0,4 %	1,2 %	0,9 %	2,2 %	1,6 %
	V.II	1,3 %	1,8 %	1,6 %	1,5 %	1,6 %
	X	0,6 %	1,3 %	1,7 %	1,2 %	1,9 %
	ΔABC	6	7	8	9	10
	V.I	1,4 %	1,0 %	1,4 %	2,1 %	0,6 %
	V.II	1,4 %	1,0 %	1,4 %	2,1 %	0,6 %
	X	1,0 %	0,7 %	1,4 %	1,8 %	1,0 %

Primerjava diagonal je razvidna iz *Tabele 19* ter konveksnost in konkavnost iz *Tabele 20*, iz kjer se da določiti povprečen odklik od vodoravne smeri posameznih skupin vzorcev. Vzorci skupine V.I povprečno odstopajo od ravnosti površine za 2,0 mm, vzorci skupine V.II v povprečju za 2,6 mm in vzorci skupine X za 2,2 mm.

4.3.2 Bruto gostota, neto in bruto prostornine in prostornine por

Tabela 17 prikazuje bruto gostote suhih zidakov. Bruto gostota različnih preizkušancev odstopa, saj je odvisna od bruto volumna opek, ki pa so za posamezne skupine preizkušancev različne.

Iz *Preglednice 9 v Prilogi H* lahko vidimo, da je volumen por preizkušancev skupine V.I in V.II nekoliko večji kot volumen por skupine preizkušancev X. Na to lastnost vpliva več dejavnikov, kot so kakovost osnovne surovine, način gnetenja in vgrajevanja surovine, čas gnetenja, način priprave surovine, čas žganja in temperature žganja, gorivo, ki je bilo uporabljeno pri žganju.

Volumen por nam pove, koliko zraka vsebuje opeka glede na celotno prostornino opeke. S tem pa nam tudi pove, koliko vode je sposobna sprejeti.

Bruto volumen dobimo z množenjem dolžine, širine in višine preizkušancev. Volumen por je definiran kot razlika mase mokrega in suhega preizkušanca, deljeno z gostoto vode, kot prikazuje izraz *En 11*:

$$V_n = \frac{m_m - m_s}{\rho_v} \quad \text{En 11}$$

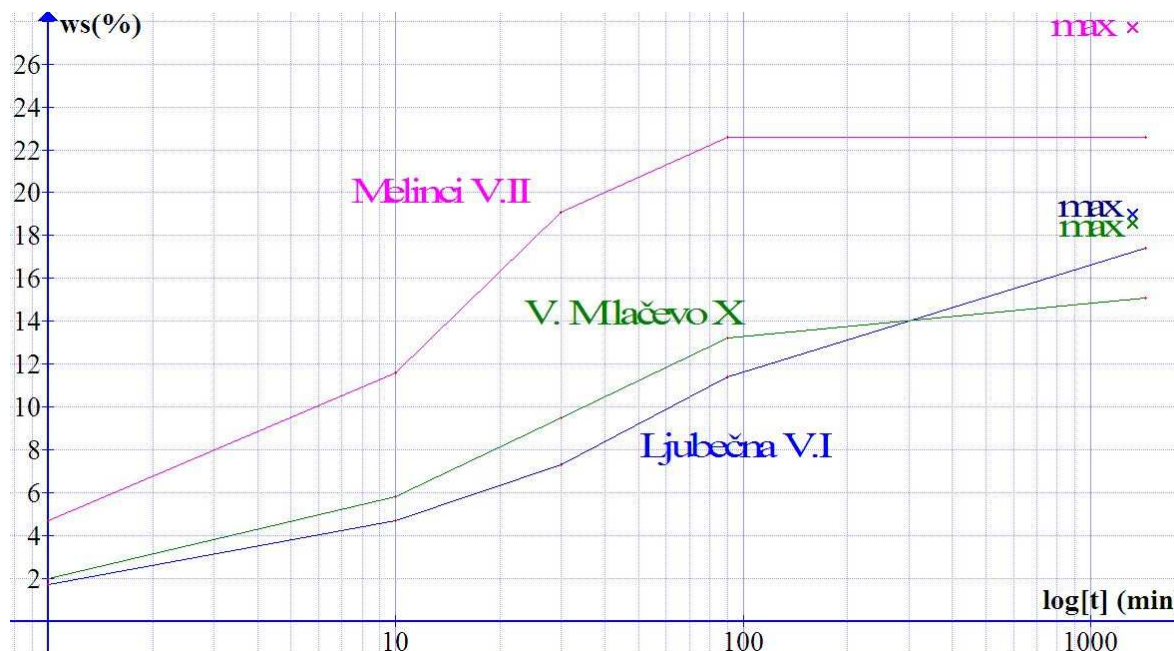
simbol [enota]	opis
m_s [g]	masa suhega vzorca
m_m [g]	masa mokrega vzorca ($Sr = 1$)*
ρ_v [g/cm ³]	gostota vode

Neto volumen dobimo kot razliko bruto volumna in volumna por, pri tem pa predpostavimo, da je v 24 urah voda zapolnila vse pore v opekah.

Primerjava bruto gostote z neto gostoto nam da podatek o volumnu por in je primerljiv z dobljenim volumnom por.

4.3.3 Vpijanje vode in začetna stopnja vpijanja vode

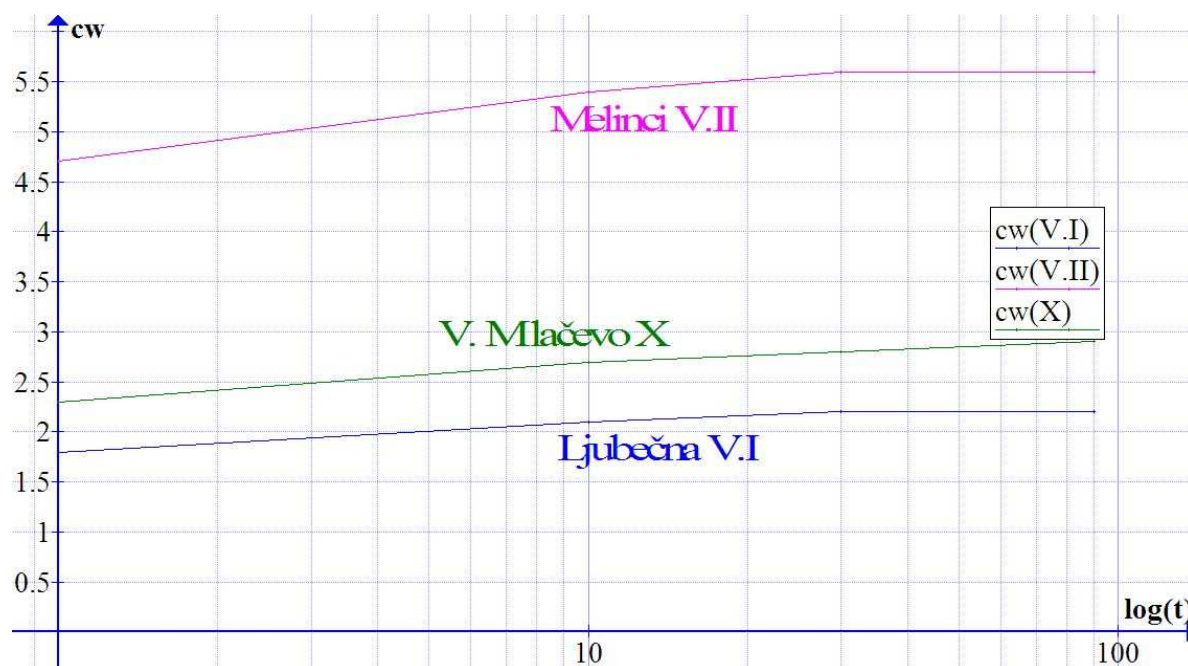
Iz podatkov začetne stopnje vpijanja vode, vpijanja vode z namakanjem v vreli vodi in vpijanem hladne vode dobimo celotno sliko vpijanja vode. *Grafikon 1* prikazuje vpijanje vode v odvisnosti od časa.



Grafikon 1: Vpijanje vode v časovnih intervalih

Iz *Grafikona 1* je razvidno, da opeka V.II vpije največ vode in vodo vpija najhitreje, opeki V.I in X pa vpijeta približno enako količino vode s približno enako intenziteto vpijanja.

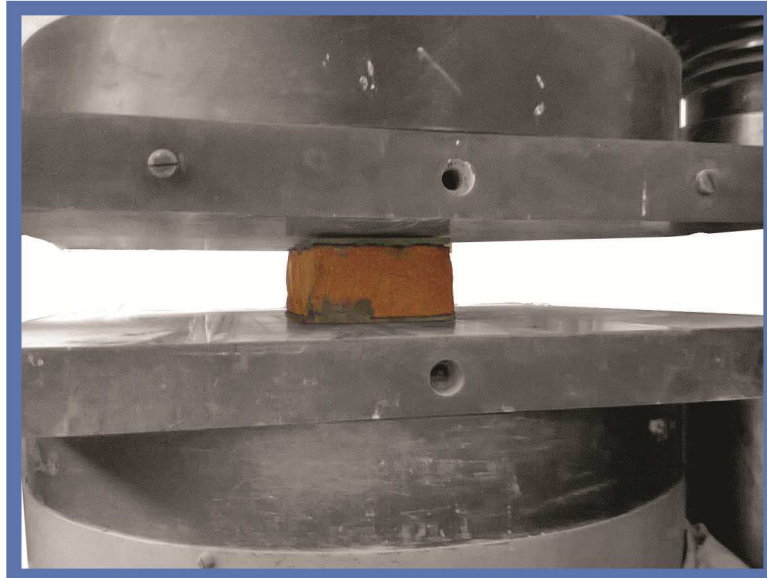
Grafikon 2 prikazuje začetno stopnjo vpijanja vode opek, ki smo jo dobili s testom *SIST EN 772-11*.



Grafikon 2: Prikaz začetnega vpijanja vode

4.3.4 Tlačna trdnost

Iz *Tabele 13* je razvidno, da ima najvišjo tlačno trdnost opeka X. Za približno 9 % nižjo nosilnost imajo opeke V.I, opeke V.II pa imajo trikrat nižjo nosilnost. Opeka je bila obremenjena le pravokotno na ploskev A (*Slika 22*). Način obremenjevanja je prikazan na *Sliki 21*.



Slika 21: Smer tlačnega obremenjevanja

4.4 Preiskave zemljine

Na zemljinah so bile izvedene štiri preiskave za osnovno geotehnično poimenovanje zemljine. Na zemljinah iz Ljubečne (V.I) in Melincev (V.II) smo ugotavljali zrnastostno sestavo (*SIST/ISO/TS 17892-4:2004*), določili smo vlažnost posamezne zemljine, ki je bila odvzeta iz deponije ter določili meje plastičnosti (*SIST/ISO/TS 17892-12:2004*).

Opis zemljin

Ljubečna (V.I)

Mastna glina, CH; 95,1 % finih delcev; 43,0 % glinastih delcev (< 0,002 mm); $w_0 = 34,2$ %; $w_l = 67$ %; $w_p = 18$ %; $w_s = 18$ %; $I_p = 49$ %; $I_c = 0,66$; težko gnetno konsistenčno stanje ob odvzemu; svetlejša, rahlo rumenkasta barva.

Melinci (V.II)

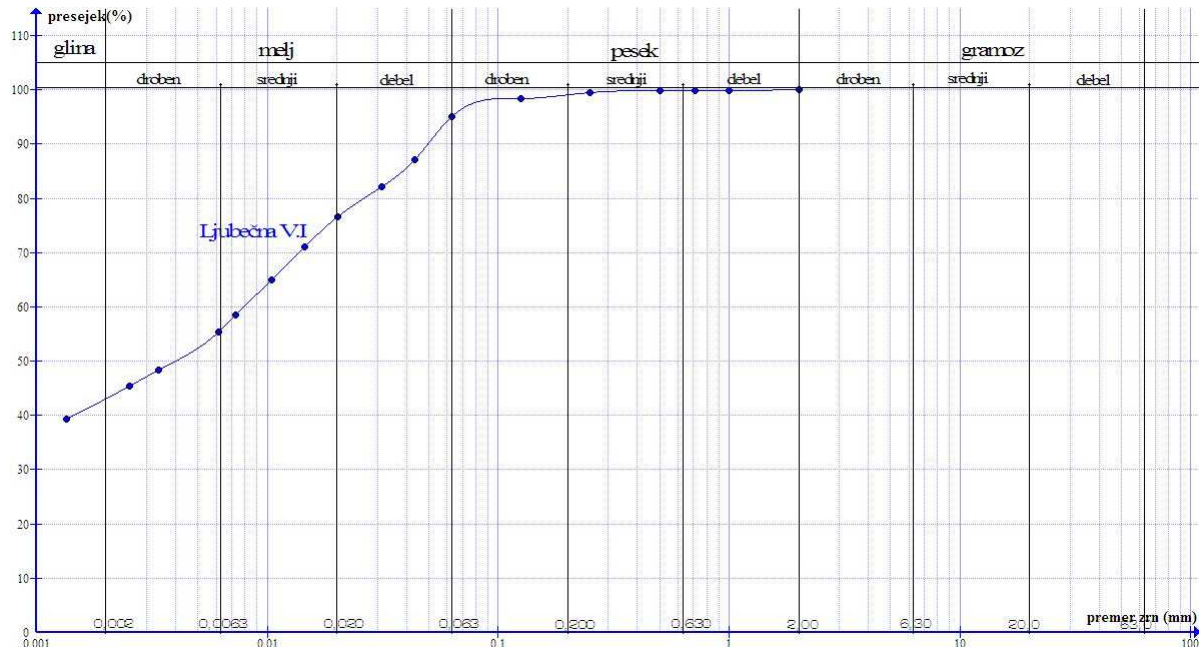
Pusta glina – peščena, CL; 68,8 % finih delcev; 9,2 % glinastih delcev (< 0,002 mm); 30,7 % peščenih delcev; $w_0 = 28,2$ %; $w_l = 40$ %; $w_p = 23$ %; $w_s = 21$ %; $I_p = 17$ %; $I_c = 0,70$; težko gnetno konsistenčno stanje od odvzemu; temnejša rjavkasta barva; prisotnost organskih primesi.

4.4.1 Določanje zrnastostne sestave zemljine

Zemljini sta bili identificirani po USCS klasifikaciji, ki se uporablja v geotehnikih. Zemljini smo z mokro sejalno analizo najprej ločili na velikost zrn nad in pod $63 \mu\text{m}$. Ostanek na situ smo

posušili in na njem izvedli še suho sejalno analizo na sitih 4,0; 2,0; 1,0; 0,710; 0,500; 0,250; 0,125; 0,063 mm. Na presejku sita 63 μm smo izvedli še aerometriko preiskavo za določanje zrnastostne sestave finih delcev.

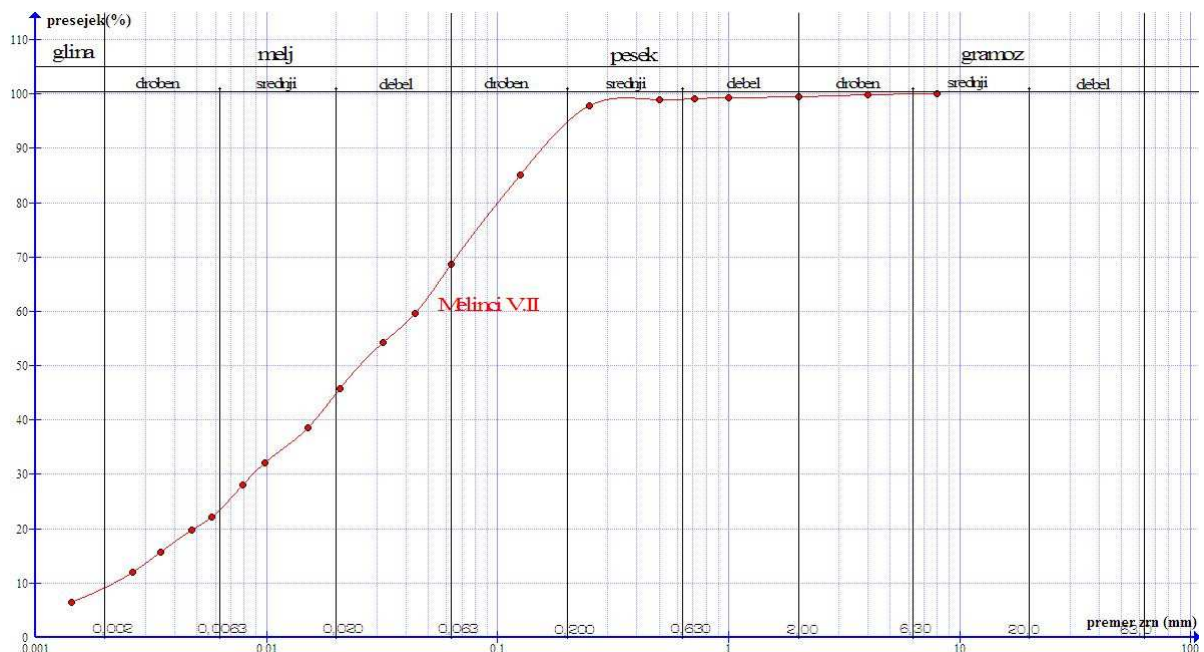
Prikaz rezultatov za določanje zrnastostne sestave zemljine je podan na *Grafikonu 3* in *Grafikonu 4*. Krivulji prikazujeta delež prisotnosti zrn različnih debelin v zemljini.



Grafikon 3: Krivulja zrnastosti zemljine iz Ljubečne (V.I)

Ljubečna (V.I)

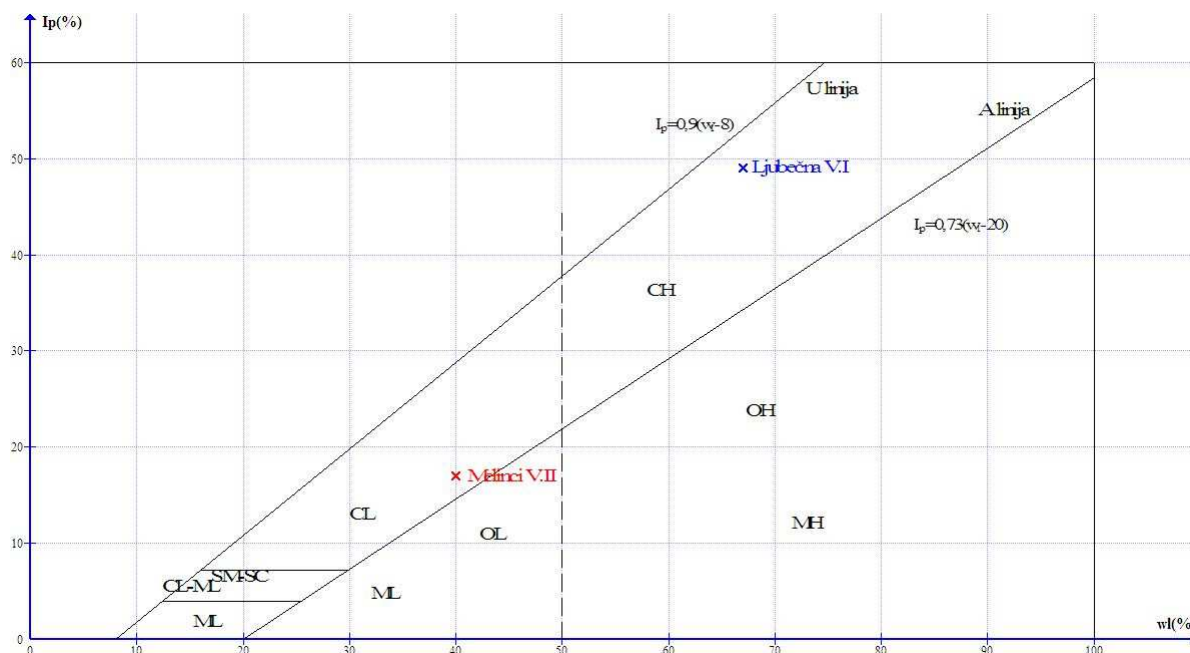
Mastna glina, CH; 95,1 % finih delcev; 43,0 % glinastih delcev (< 0,002 mm);



Grafikon 4: Krivulja zrnastosti zemljine iz Melincev (V.II)

Melinci (V.II)

Pusta peščena glina, CL; 68,8 % finih delcev; 9,2 % glinastih delcev (< 0,002 mm); 30,7 % peščenih delcev;



Grafikon 5: Identifikacija zemljine in prikaz na Cassagrandovem grafu za obe zemljini

4.4.2 Določanje Attenbergovih meja plastičnosti

V zemljinah Ljubečna (V.I) in Melinci (V.II) so prisotni minerali glin, ki imajo sposobnost absorpcije vode. Posledica te lastnosti je, da se zemljina, ki ima prisotna glinena zrna, ne razpusti, vendar začne, ob dodajanju vode, prehajati iz trdega stanja v poltrdno, plastično in nato v tekoče stanje [19]. To pomeni, da količina prisotne vode v zemljini določa konsistenčno stanje v zemljini. Ob prehajanju zemljine iz enega konsistenčnega stanja v drugega, se določa vlažnost zemljine in nato preračuna v posamezne meje plastičnosti.

Tako zemljini določamo pet različnih meja, pri katerih prehajajo v različna konsistenčna stanja. To so meja kohezije, meja lepljenja, meja krčenja, meja plastičnosti in meja židkosti [19].

Pri določevanju lastnosti zemljin smo se omejili na mejo plastičnosti, mejo židkosti in mejo krčenja. Preizkusi so sledili standardu *SIST/ISO/TS 17892-12:2004*.

Meja plastičnosti

Meja plastičnosti je definirana kot vlaga zemljine, pri kateri prehaja zemljina iz gnetnega, plastičnega stanja, v krhko stanje [19].

Rezultat te preiskave nam pove, kakšna mora biti minimalna vlaga zemljine, da je še primerna za obdelovanje, to je gnetenje in vgrajevanje v model. Če vlaga zemljine pade pod to mejo, se zemljina strdi, ni več primerna za uporabo in ji je treba dodajati vodo.

Standardna preiskava predvideva svaljkanje primerno suhe zemljine do točke razpada svaljka, kjer se nato določa vlažnost zemljine. Vlažnosti smo določili tako, da smo na vsaki zemljini pridobili po dva rezultata in rezultat izračunali kot povprečno vrednost.

Tabela 27: Meja plastičnosti posamezne preiskane zemljine

zemljina	meja plastičnosti
Ljubečna (V.I)	18 %
Melinci (V.II)	23 %

Meja židkosti

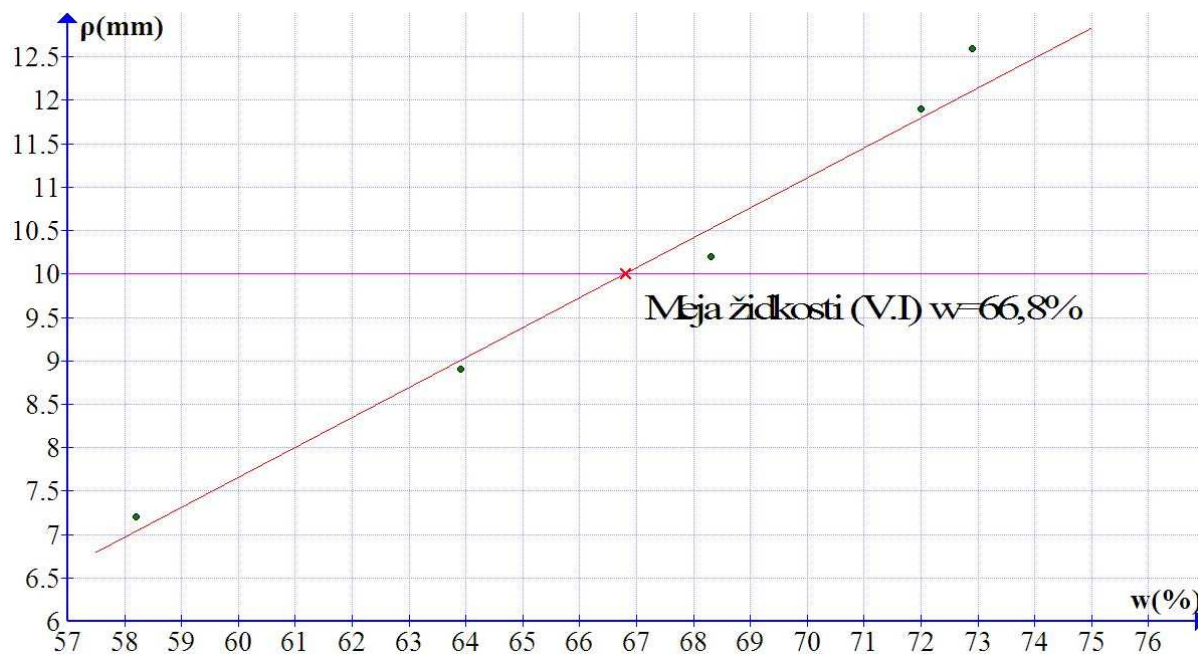
Meja židkosti je definirana kot vlaga zemljine, kjer prehaja zemljina iz plastičnega v tekoče konsistenčno stanje [19].

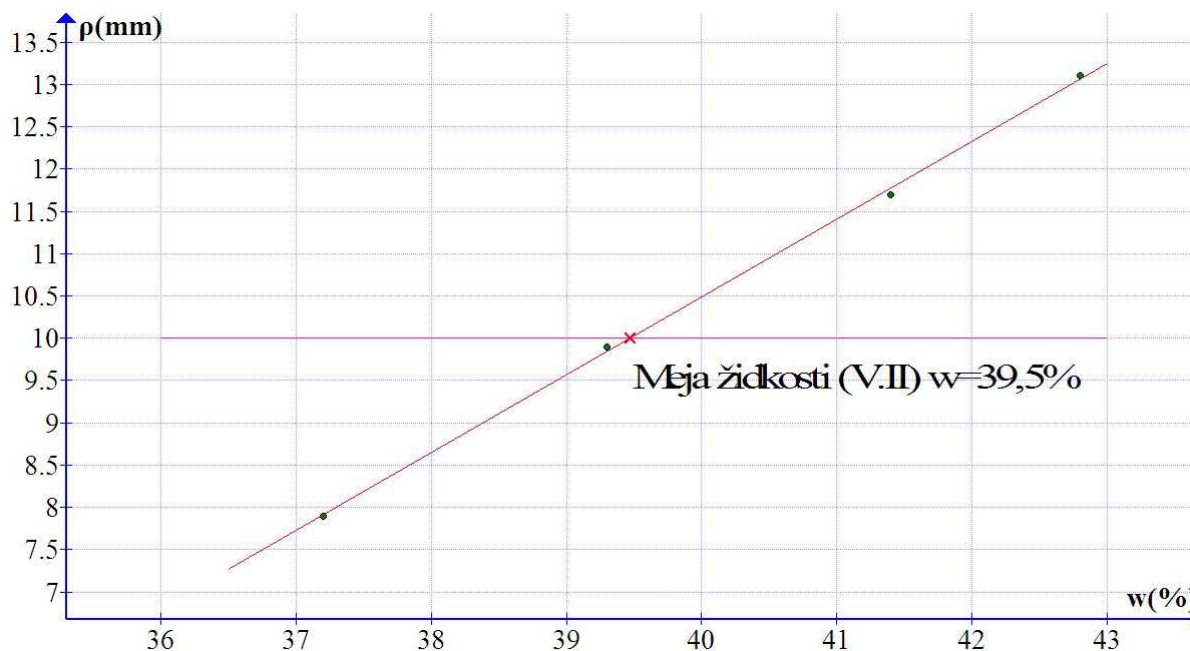
Ta meja nam pove, pri kako visoki vlagi je zemljino še mogoče obdelovati, da nam zemljina ne steče. Če vlaga presega mejo židkosti, zemljina izgubi lastnost obdelovalnosti.

Za določitev meje židkosti se, po standardu, odčitava različne pogrezke konusa pri različnih vlažnostih zemljine. Mejo židkosti pa se določi iz *Grafikona 6* in *Grafikona 7*, ki ga dobimo iz meritev pogreza konusa in vlage zemljine, pri pogrezku 10 mm. Večja, kot je meja židkosti, več vlage zemljina lahko sprejme, preden preide v tekoče stanje.

Tabela 28: Meja židkosti posamezne preiskane zemljine

zemljina	meja židkosti
Ljubečna (V.I)	67 %
Melinci (V.II)	40 %

**Grafikon 6: Določitev meje židkosti zemljine V.I**



Grafikon 7: Določitev meje židkosti zemljine V.II

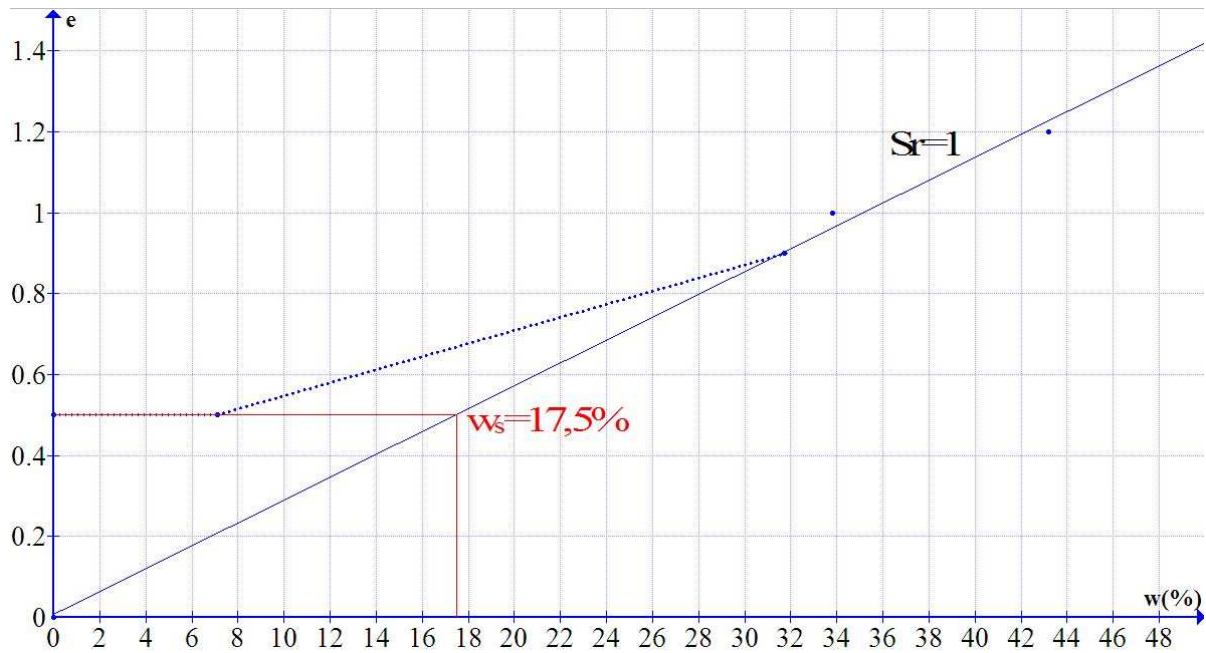
Meja krčenja

Meja krčenja je vlaga, pod katero se zemljina ob sušenju ne krči več [19], oziroma je vlaga, pri kateri se gostota zemljine z nadaljnjim sušenjem ne povečuje več.

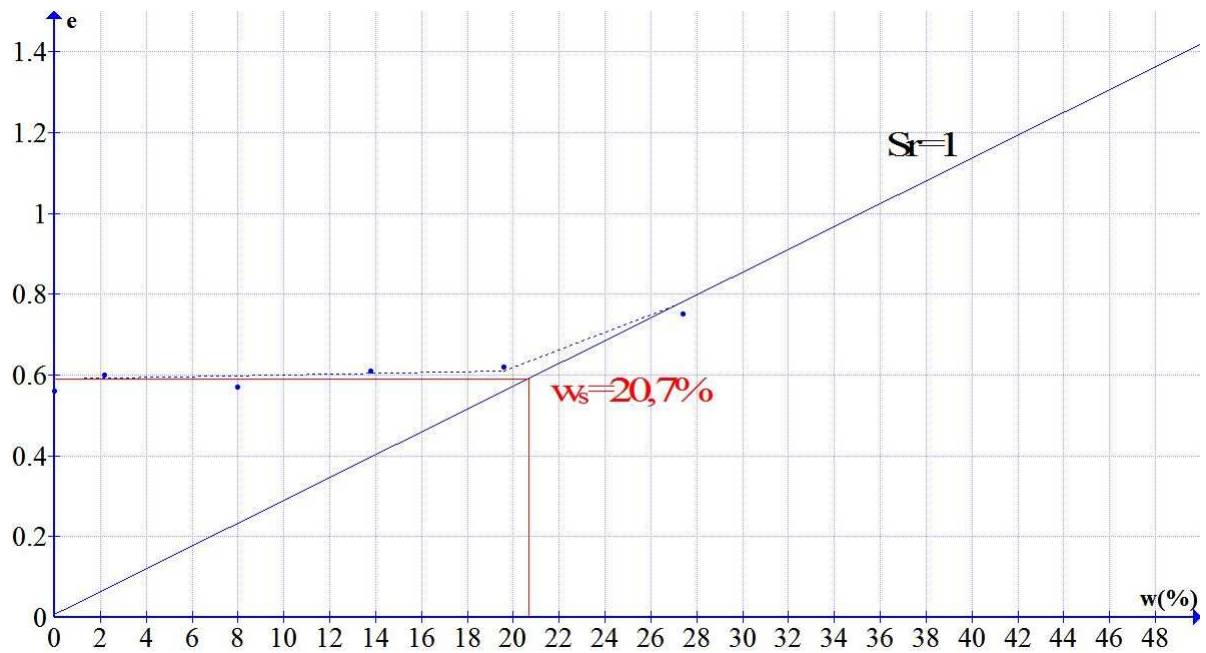
Karakteristike zemljine so bile določene v laboratoriju po standardu *ASTM D 4943-02*. Zemljini se določi volumen po metodi izpodrinjene vode ter iz volumna določa gostoto pri različnih vlažnostih. Iz pridobljenih podatkov lahko izračunamo količnike por zemljine pri različni vlažnosti ter iz grafa odčitamo mejo krčenja. Meja krčenja je vlaga, ki ustreza popolnoma zasičeni zemljini ($S_r = 100\%$) popolnoma posušenega preizkušanca ($w = 0\%$), kot prikazujeta *Grafikon 8* in *Grafikon 9*.

Tabela 29: Meja krčenja posamezne preiskane zemljine

zemljina	meja krčenja
Ljubečna (V.I)	18 %
Melinci (V.II)	21 %



Grafikon 8: Določitev meje krčenja zemljine V.I



Grafikon 9: Določitev meje krčenja zemljine V.II

Indeks plastičnosti in indeks konsistence

Pri geotehničnem opisu zemljin si pomagamo še z dvema parametroma, to sta indeks plastičnosti in indeks konsistence.

Indeks plastičnosti je vrednost, izražena v odstotkih, dobljena kot razlika meje plastičnosti od meje židkosti. Rezultat nam pomaga pri določanju lege zemljine na Cassagrandejevem grafu, kot prikazuje *Grafikon 5*.

Indeks konsistence nam pove konsistenčno stanje zemljine ob določeni vlagi. Konsistenčno stanje je lahko židko ali tekoče, lahko gnetno, srednje gnetno, težko gnetno ali poltrdo.

Tabela 30: Indeksi in stanje zemljin, odvzetih iz deponije

	Ljubečna V.I	Melinci V.II
indeks plastičnosti	49 %	17 %
indeks konsistence	0,66	0,70
konsistenčno stanje	težko gnetno	težko gnetno

5 ZAKLJUČEK

5.1 Namen in pogoji za uporabo

Preiskave so pokazale, da je večina karakteristik opek, proizvedenih po starih metodah, primerljiva s karakteristikami starih opek, ki so bile proizvedene po podobnih postopkih. Največja odstopanja so bila ugotovljena pri tlačnih trdnostih opek. Tlačna trdnost opeke iz Melincev (V.II) je bistveno manjša od tlačne trdnosti stare opeke (X) in opeke iz Ljubečne (V.I), ki pa sta med seboj primerljivi. Zato so opeke V.II primernejše za nenosilne predelne stene, opeke V.I pa so ob pravilni izvedbi primerne tudi za nosilne stene.

Opeka V.I ima nizko odprto poroznost, na kar kaže podatek počasnega začetnega vpijanja vode, medtem ko opeka V.II vodo vpije zelo hitro, to je celotno sposobnost v prej kot 90 minutah. Za uravnavanje vlage v prostoru je zato opeka V.II bolj primerna, saj se hitro odzove na spremembo vlage. Ima torej zelo podobno funkcijo uravnavanja vlage v prostoru kot glineni ometi. Opeka V.I je zaradi počasnega vpijanja vode bolj primerna za zunanje površine, temelje, če so le-ti pravilno izvedeni.

Preizkusi vpliva visoke temperature in toplotne akumulativnosti niso bili izvedeni, vendar proizvajalec iz Ljubečne trdi, da je opeka V.I zaradi njenih majhnih por primerna za oblaganje peči.

Opeka je zelo uporabna tudi v nekonstrukcijske namene. Zaradi svoje visoke vodovpojnosti, ki je v povprečju 30 % njene mase, je primerna za uporabo pri trajnostnih vrtovih, kjer jo lahko uporabimo v gredici kot akumulator vode. Opeka se ob dežju in zalivanju prepoji z vodo in jo počasi oddaja v času suhega vremena. Treba je le poskrbeti, da ni izpostavljena direktnemu soncu.

5.2 Komentar k tezi

5.2.1 Opis postopka

Skozi proces terenskih raziskav je bilo ugotovljeno, da gre večino znanja o opekarstvu na Slovenskem v pozabo, če upoštevamo faktor, da so še po drugi svetovni vojni to obrt poznali v vsaki vasi, saj je bilo opekarstvo postranska dejavnost kmetij. Na to kažejo mnoge vasi z imenom ali vzdevkom Cegelnica, Cigelnica, Cigonca in podobno, mnoge jame, ki so služile za izkopavanje glin in ilovice, danes pa so zasute ali jih je zapolnila voda. Prav tako sem nemalokrat naletel na starejše občane posameznih vasi, ki se živo spominjajo, kako so opeko izdelovali kot mladi fantje in dekleta.

Znanje o izdelavi opek se je tako začelo nabirati v industrializirani proizvodnji, kjer so postopki tehnološko dovršeni ter izdelki spremenjeni. Obstaja pa nekaj skupin in posameznikov, ki se s tem še aktivno ukvarjajo. Nekaterim to še vedno predstavlja delni vir dohodka, a ti so redki, drugi pa se ukvarjajo zgolj s prikazom postopkov izdelave turistom in domačinom, z namenom ohranjanja kulturne dediščine in prenašanja znanja na mlajše rodove.

Postopki so opisani tudi v raznih lokalnih knjižnicah, z njimi so se ukvarjali tako osnovnošolci kot srednješolci.

Ugotovljeno pa je bilo, da če želimo dobiti kakovostno opeko, moramo pravilno izbrati material in dosledno slediti postopkom obdelave in žganja, sicer kaj hitro pride do napak, ki

zmanjšujejo kakovost opek. Zasedil sem primer, kjer so bila v opekah apnena zrna, kar je posledica strojnega izkopa gline oziroma ilovice. Le-ta ima lahko pri različnih namenih uporabe negativne vplive na kakovost opeke.

Na kakovost vpivanja vode in vgrajevanja v model vpliva tudi izbira surovine in način gnetenja surovine. Slabo gnetene opeke so manj homogene, kar pa vpliva na več mehanskih lastnosti opek.

Ugotovljeno je bilo tudi, da so naši predniki postopke izdelave opeke, izbiro surovine in način žganja res dobro poznali, saj so njene lastnosti, glede na to, da je bilo vse izdelano ročno, primerljive oziroma mnogokrat boljše kot lastnosti novih opek, izdelanih po starem postopku.

5.2.2 Uporaba opeke v kulturno zaščitenih objektih

O uporabi nove opeke, izdelane po starih postopkih, v objektih kulturne dediščine, ki so običajno spomeniško zaščiteni, sem poizvedoval tudi na Zavodu za varstvo kulturne dediščine Slovenije (ZVKDS). Povprašal sem jih po pogojih uporabe opek pri obnovi objektov in v odgovor dobil, da ni specifičnih smernic glede uporabe opek ob obnavljanju, predvsem ko gre za zidove, ki so zaprti s fasado. Ohraniti se skuša čim večji del originalnega zidu, uporaba nove opeke pa se dovoljuje. O načinih uporabe in obnovi opek pa govorijo tudi različni viri, na primer Blumenau.

5.2.3 Zemljina

Skozi raziskovanje postopka pridelave opeke sem se srečeval z različnimi izrazi poimenovanja zemljine, ki se uporablja za izdelavo opeke. Tako ponekod pravijo zemljini blato, drugje ilovica in spet drugje glina.

V vseh primerih ima zemljina visoko vsebnost glinenih mineralov. To lahko ugotovimo po njenih lastnostih plastičnosti, ki so značilne za zemljine z glinenimi minerali, saj so le-ti sposobni na sebe vezati velike količine vode.

Geotehnični opis zemljine pa je pokazal, da je zemljina, primerna za izdelavo opek, glina, ki pa se od kraja do kraja močno razlikuje in s tem opeki daje različne karakteristike.

VIRI

- [1] Blumenau, I., et. al. 1974. Priročnik o uporabi opeke. Ljubljana, Gospodarska zbornica Slovenije, Biro gradbeništva Slovenije: 430 str.
- [2] Nemeč, N. 1989. Bilje: kronika cit. po Lipicer, A. 2011. Opekarne in trgovina z opečnimi izdelki v spodnji vipavski dolini. Raziskovalna naloga. Renče, Osnovna šola Lucijana Bratkoviča Bratuše, (samozaložba N. Nemeč): 118 str.
- [3] Slokar, I. 1961. Zgodovina ljubljanskih opekarn od XVI. stoletja do leta 1731. Kronika, časopis za slovensko krajevno zgodovino 9: 157–160.
- [4] Slokar, I. 1960. Zgodovina ljubljanskih opekarn od leta 1732 do leta 1860. Kronika, časopis za slovensko krajevno zgodovino 8: 40–50.
- [5] Brodribb, G. 1987. Roman brick and tile cit po. Lazar, I. et al. 2006. Ilovica na Vranskem. Ljubljana, Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenija: 270 str.
- [6] Stružnik, L. 1988. Zapiranje opekarn se nadaljuje. Gospodarski vestnik 37, 4, 13.
- [7] Kregar, R. 1947. Naš kamen II. del Žgani kamen apno – opeka. Ljubljana, "Naš dom" – gradbena strokovna založba v Ljubljani: 131 str.
- [8] Pšajd, J. 2012. Ciglarstvo na Melincih, pa smo delali opeko. Beltinci, Ekomuzej Mura, Zavod za turizem in kulturo Beltinci: 48 str.
- [9] Klemenčič, F. 2014. Ročna izdelava opeke in peči za opeko. Osebna komunikacija. (15. 12. 2014.)
- [10] Zavrl, J., Zavrl, M. 2014. Ročna izdelava opeke in tehnološki postopek pridelave opeke. Osebna komunikacija. (21. 10. 2014.)
- [11] Koštric, J. 2015. Postopek pridobivanja opeke v kopah v besedi in sliki. Osebna komunikacija. (6. 1. 2015.)
- [12] Žarnič, R. 2005. Lastnosti gradiv. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preizkušanje materialov in konstrukcij: 351 str.
- [13] Senegačnik, A. (ur.). 2014. Mineralne surovine v letu 2013. Geološki zavod Slovenije, 10, 1, 197 str.
- [14] Hojnik, E. 2015. Pridobivanje opeke v poljskih pečeh. Osebna komunikacija. (10. 2. 2015.)
- [15] Rezar, P., ment. Ledl, A. 2004. Ročna izdelava opeke na Ljubečni. Raziskovalno delo. Celje, ŠC Celje, Poklicna in tehniška gradbena šola, samozaložba P. Rezar): 40 str.
- [16] Daugul, R., Federnsberg, N., Godec, N., Platovšek, P., Potočnik T., ment. Hvizdak, H., 1999. Opekarstvo v Ljubečni. Škofja vas, OŠ Ljubečna, f. 32 str.
- [17] Premerl, F. 1983. Gradiva v gradbeništvu. Ljubljana, Zavod RS Slovenije za šolstvo: 319 str.
- [18] Žarnič, R., Bosiljkov, V., Bokan-Bosiljkov, V., Dujič, B. 2005. Gradiva vaje. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preizkušanje materialov in konstrukcij: 140 str.
- [19] Petkovšek A., 2014. Osnove mehanike tal, 2. letnik OGR – laboratorijske vaje. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem: 47 str.

»Prazna stran.«

»Prazna stran.«

Kazalo prilog

PRILOGA A	ii
PRILOGA B	iii
PRILOGA C	iv
PRILOGA D	vi
PRILOGA E1	vii
PRILOGA E2	viii
PRILOGA E3	ix
PRILOGA E4	x
PRILOGA E5	xi
PRILOGA F	xii
PRILOGA G	xiii
PRILOGA H	xiv

PRILOGA A

Preglednica 1: Rezultati preiskav po SIST EN 772-1

SIST EN 772-1	Rezultati preiskav					
	ime	št.	vrednosti			
			F_{max} [kN]	f_b [MPa]	K	f_{nor} [MPa]
Porušna sila, tlačna trdnost, koeficient odstopanja, normirana tlačna trdnost	V.I	1	893,9	30,9	10 %	25,0
	V.I	2	759,6	26,4	6 %	21,4
	V.I	5	768,3	27,3	2 %	22,1
	V.I	6	799,0	28,2	1 %	22,8
	V.I	9	759,6	27,4	2 %	22,2
	V.I	10	793,3	27,6	1 %	22,3
	Povprečje		795,6	28,0	4 %	22,6
	ime	št.	F_{max} [kN]	f_b [MPa]	K	f_{nor} [MPa]
	V.II	1	620,5	19,8	53 %	16,1
	V.II	2	101,0	3,1	67 %	2,5
	V.II	3	109,8	3,5	62 %	2,8
	V.II	6	267,3	8,2	12 %	6,6
	V.II	7	242,4	7,3	21 %	5,9
	V.II	8	432,3	13,6	32 %	11,0
	Povprečje		295,6	9,2	41 %	7,5
	ime	št.	F_{max} [kN]	f_b [MPa]	K	f_{nor} [MPa]
	X	1	1065,0	31,2	2 %	25,3
	X	2	976,1	28,3	8 %	22,9
	X	4	938,4	27,8	9 %	22,5
	X	6	1220,0	33,3	8 %	27,0
	X	8	1051,0	31,0	1 %	25,1
X	10	1043,0	32,2	5 %	26,1	
Povprečje		1048,9	30,6	5 %	24,8	

PRILOGA B

Preglednica 2: Rezultati preiskav po SIST EN 772-7

SIST EN 772-7	Rezultati preiskav				
	ime	št.	Vrednost		
			m_s [g]	m_m [g]	w_s [%]
Vpijanje vode v vreli vodi: w_s	V.I	1	2992,10	3573,69	19,4 %
	V.I	2	2934,65	3474,35	18,4 %
	V.I	3	2866,71	3411,56	19,0 %
	V.I	4	2925,77	3484,46	19,1 %
	V.I	5	2891,28	3441,92	19,0 %
	V.I	6	2894,03	3441,92	18,9 %
	Povprečje		2917,42	3471,32	19,0 %
	ime	št.	m_s [g]	m_m [g]	w_s [%]
	V.II	1	3214,06	4007,80	24,7 %
	V.II	2	3111,37	4012,12	29,0 %
	V.II	3	3191,56	4114,00	28,9 %
	V.II	4	3104,75	3968,20	27,8 %
	V.II	5	3303,16	4260,00	29,0 %
	V.II	6	3183,29	4031,10	26,6 %
	Povprečje		3184,70	4065,54	27,7 %
	ime	št.	m_s [g]	m_m [g]	w_s [%]
	X	1	4053,63	4760,00	17,4 %
	X	2	4045,19	4796,00	18,6 %
	X	4	4118,80	4784,00	16,2 %
	X	6	4001,29	4830,00	20,7 %
	X	8	3892,29	4596,00	18,1 %
X	10	3555,69	4284,00	20,5 %	
Povprečje		3944,48	4675,00	18,6 %	

PRILOGA C

Preglednica 3: Rezultati preiskav po SIST EN 772-11

SIST EN 772-11	Rezultati preiskav												
	ime	št.	A _s [mm ²]	m _s [g]	m _m (t=1) [g]	C _w (t=1) [kg/(m ² min)]	m _m (t=10) [g]	C _w (t=10) [kg/(m ² min)]	m _m (t=30) [g]	C _w (t=30) [kg/(m ² min)]	m _m (t=90) [g]	C _w (t=90) [kg/(m ² min)]	
Kapilarno vpijanje vode: C _w	V.I	1	28995,33	2994,64	3045,83	1,8	3119,37	0,3	3193,56	0,1	3308,97	0,0	
	V.I	2	28525,32	2936,51	2981,69	1,6	3064,33	0,3	3143,42	0,1	3265,01	0,0	
	V.I	5	27866,16	2868,56	2913,09	1,6	2993,58	0,3	3070,30	0,1	3188,96	0,0	
	V.I	6	28835,80	2927,65	2982,45	1,9	3065,99	0,3	3141,14	0,1	3255,41	0,0	
	V.I	9	27304,57	2892,72	2950,35	2,1	3047,93	0,4	3132,02	0,1	3251,88	0,0	
	V.I	10	29005,30	2895,27	2943,92	1,7	3038,62	0,3	3118,99	0,1	3232,61	0,0	
	Povprečje			28422,08	2919,23	2969,56	1,8	3054,97	0,3	3133,24	0,1	3250,47	0,0
	ime	št.	A _s [mm ²]	m _s [g]	m _m (t=1) [g]	C _w (t=1) [kg/(m ² min)]	m _m (t=10) [g]	C _w (t=10) [kg/(m ² min)]	m _m (t=30) [g]	C _w (t=30) [kg/(m ² min)]	m _m (t=90) [g]	C _w (t=90) [kg/(m ² min)]	
	V.II	1	30450,62	3214,61	3416,91	6,6	3476,12	0,2	3812,78	0,4	3817,19	0,0	
	V.II	2	33474,94	3109,43	3193,85	2,5	3367,80	0,5	3564,66	0,2	3858,37	0,1	
	V.II	3	31715,29	3192,21	3305,52	3,6	3508,62	0,6	3717,90	0,2	3964,74	0,1	
	V.II	6	33048,73	3105,34	3254,33	4,5	3514,37	0,8	3790,94	0,3	3845,11	0,0	
	V.II	7	33430,47	3304,07	3465,98	4,8	3756,77	0,9	4016,42	0,3	4090,35	0,0	
	V.II	8	32461,87	3185,03	3380,89	6,0	3706,12	1,0	3857,95	0,2	3859,44	0,0	
	Povprečje			32430,32	3185,12	3336,25	4,7	3554,97	0,7	3793,44	0,2	3905,87	0,0
	ime	št.	A _s [mm ²]	m _s [g]	m _m (t=1) [g]	C _w (t=1) [kg/(m ² min)]	m _m (t=10) [g]	C _w (t=10) [kg/(m ² min)]	m _m (t=30) [g]	C _w (t=30) [kg/(m ² min)]	m _m (t=90) [g]	C _w (t=90) [kg/(m ² min)]	
	X	1	33943,02	4043,53	4133,26	2,6	4280,00	0,4	4440,00	0,2	4524,00	0,0	
	X	2	34604,15	4047,68	4084,81	1,1	4186,70	0,3	4322,00	0,1	4584,00	0,1	
	X	4	33908,78	4089,62	4181,33	2,7	4316,00	0,4	4452,00	0,1	4568,00	0,0	
	X	6	36084,76	4004,71	4162,02	4,4	4474,00	0,9	4658,00	0,2	4666,00	0,0	
X	8	33967,95	3891,97	3937,12	1,3	4040,48	0,3	4160,12	0,1	4326,00	0,1		

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 3

	X	10	32313,81	3559,40	3605,25	1,4	3712,98	0,3	3850,80	0,1	4084,71	0,1
	Povprečje		34137,08	3939,49	4017,30	2,3	4168,36	0,4	4313,82	0,1	4458,79	0,0

PRILOGA D

Preglednica 4: Rezultati preiskav po SIST EN 772-13

SIST EN 772-13	Rezultati preiskav		
	ime	št.	ρ_b [kg/m ³]
Bruto gostota: ρ_b	V.I	1	1690
	V.I	2	1660
	V.I	5	1660
	V.I	6	1630
	V.I	9	1660
	V.I	10	1640
	Povprečje		1660
	ime	št.	ρ_b [kg/m ³]
	V.II	1	1570
	V.II	2	1470
	V.II	3	1500
	V.II	6	1460
	V.II	7	1540
	V.II	8	1510
	Povprečje		1510
	ime	št.	ρ_b [kg/m ³]
	X	1	1810
	X	2	1760
	X	4	1810
	X	6	1680
X	8	1710	
X	10	1690	
Povprečje		1740	

PRILOGA E1

Preglednica 5: Rezultati preiskav po SIST EN 772-16(a)

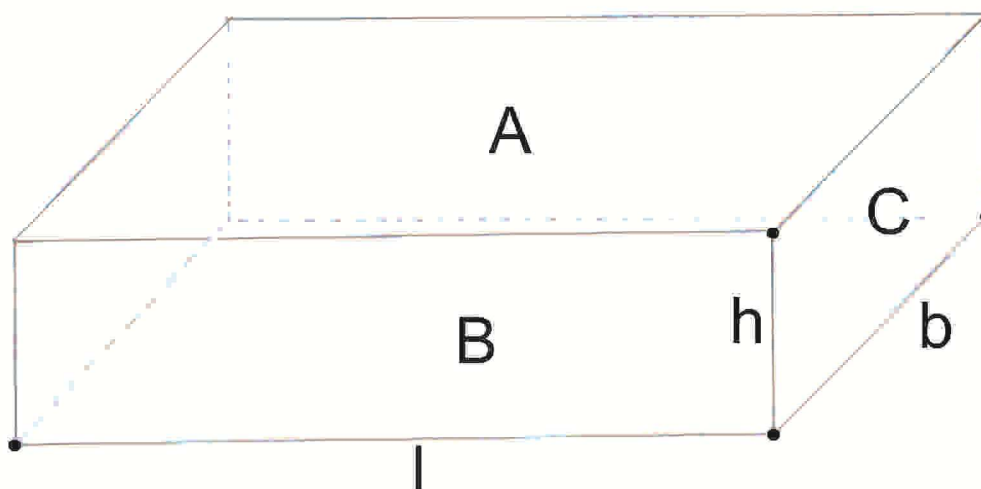
SIST EN 772-16	Izmere preizkušanca				
	ime	št.	Vrednost		
			l [mm]	b [mm]	h [mm]
Dolžina, širina, višina	V.I	1	236,4	122,4	61,1
	V.I	2	235,1	122,5	61,2
	V.I	3	234,1	122,5	62,1
	V.I	4	239,1	117,4	60,0
	V.I	5	234,3	120,0	61,3
	V.I	6	235,1	120,7	63,2
	V.I	7	236,1	122,0	62,3
	V.I	8	235,4	121,1	63,4
	V.I	9	237,0	117,1	62,7
	V.I	10	235,4	122,2	61,3
	Povprečje		235,8	120,8	61,9
	ime	št.	l [mm]	b [mm]	h [mm]
	V.II	1	247,0	126,8	65,6
	V.II	2	253,6	129,8	64,3
	V.II	3	246,9	128,4	67,1
	V.II	4	258,9	132,4	63,5
	V.II	5	246,0	126,4	68,5
	V.II	6	251,7	130,0	65,0
	V.II	7	256,7	129,7	64,3
	V.II	8	247,9	128,2	66,3
	V.II	9	250,6	129,6	64,6
	V.II	10	242,7	125,3	64,0
	Povprečje		250,2	128,6	65,3
	ime	št.	l [mm]	b [mm]	h [mm]
	X	1	261,2	130,8	65,7
	X	2	263,4	131,1	66,8
	X	3	268,0	136,6	67,9
	X	4	261,5	129,0	67,5
	X	5	254,7	128,0	65,3
	X	6	277,7	132,0	65,2
	X	7	261,1	131,0	66,0
	X	8	261,7	129,5	68,1
	X	9	267,0	127,5	64,0
X	10	258,7	125,2	65,1	
Povprečje		263,5	130,1	66,2	

PRILOGA E2

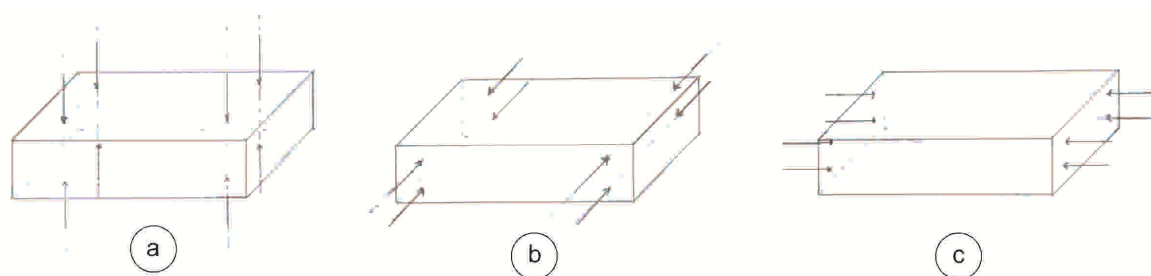
Preglednica 6: Rezultati preiskav po SIST EN 772-16 (b)

Analiza	ime	št.	ΔA		ΔB		ΔC		
			Δb	Δl	Δh	Δl	Δh	Δb	
Odstopanja od vzporednosti ploskev	V.I	1	0,6 %	0,1 %	0,6 %	0,3 %	0,1 %	1,1 %	
	V.I	2	2,7 %	1,4 %	0,2 %	1,8 %	0,6 %	0,7 %	
	V.I	3	0,3 %	1,8 %	0,2 %	0,6 %	0,2 %	2,4 %	
	V.I	4	4,2 %	3,4 %	0,1 %	1,3 %	0,2 %	3,6 %	
	V.I	5	1,4 %	2,0 %	0,4 %	1,1 %	0,8 %	4,1 %	
	V.I	6	1,1 %	2,0 %	0,8 %	0,5 %	0,3 %	3,5 %	
	V.I	7	1,3 %	1,0 %	0,3 %	0,7 %	0,1 %	2,7 %	
	V.I	8	1,6 %	3,2 %	2,0 %	0,5 %	0,8 %	0,1 %	
	V.I	9	0,8 %	4,4 %	0,5 %	3,2 %	0,6 %	3,4 %	
	V.I	10	0,7 %	0,1 %	0,7 %	0,1 %	0,0 %	1,9 %	
	Povprečje			1,5 %	1,9 %	0,6 %	1,0 %	0,4 %	2,3 %
	V.II	1	3,6 %	2,5 %	0,9 %	0,6 %	0,1 %	0,5 %	
	V.II	2	3,7 %	3,9 %	1,3 %	1,3 %	0,5 %	0,1 %	
	V.II	3	3,0 %	3,4 %	0,6 %	1,2 %	0,6 %	0,9 %	
	V.II	4	1,6 %	3,5 %	1,7 %	1,2 %	0,0 %	0,8 %	
	V.II	5	5,0 %	7,2 %	4,2 %	2,3 %	1,0 %	2,1 %	
	V.II	6	7,2 %	3,2 %	1,9 %	0,0 %	0,7 %	1,6 %	
	V.II	7	0,9 %	3,3 %	0,2 %	2,9 %	0,2 %	2,1 %	
	V.II	8	1,3 %	1,3 %	0,7 %	1,0 %	1,1 %	2,3 %	
	V.II	9	4,2 %	18,9 %	1,5 %	8,6 %	1,0 %	0,6 %	
	V.II	10	12,5 %	4,2 %	1,7 %	3,7 %	1,9 %	4,0 %	
	Povprečje			4,3 %	5,1 %	1,5 %	2,3 %	0,7 %	1,5 %
	X	1	1,6 %	0,0 %	0,2 %	1,8 %	0,0 %	0,2 %	
	X	2	3,4 %	2,6 %	1,1 %	0,4 %	0,0 %	0,1 %	
	X	3	2,1 %	3,1 %	0,1 %	2,9 %	0,1 %	1,8 %	
	X	4	3,8 %	2,5 %	0,1 %	0,0 %	0,3 %	0,2 %	
	X	5	1,0 %	8,1 %	0,2 %	1,6 %	0,4 %	0,0 %	
	X	6	1,1 %	1,8 %	0,3 %	1,2 %	0,5 %	1,1 %	
	X	7	1,3 %	0,8 %	0,3 %	1,3 %	0,3 %	0,4 %	
	X	8	2,7 %	1,5 %	1,2 %	2,6 %	0,1 %	0,3 %	
	X	9	2,6 %	3,8 %	0,4 %	0,5 %	1,0 %	2,3 %	
	X	10	1,2 %	2,5 %	1,3 %	0,4 %	0,1 %	0,3 %	
	Povprečje			2,1 %	2,7 %	0,5 %	1,3 %	0,3 %	0,7 %

PRILOGA E3

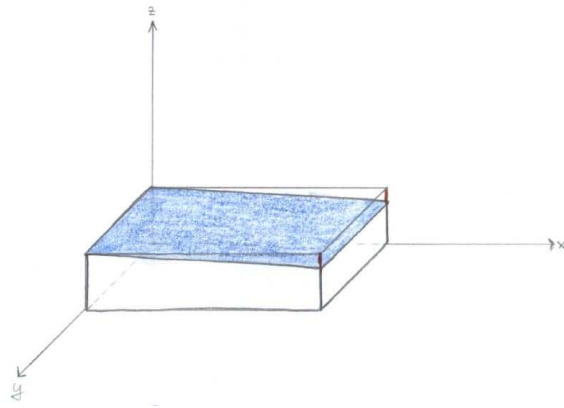


Slika 22: Definiranje osnovnih ploskev in stranic



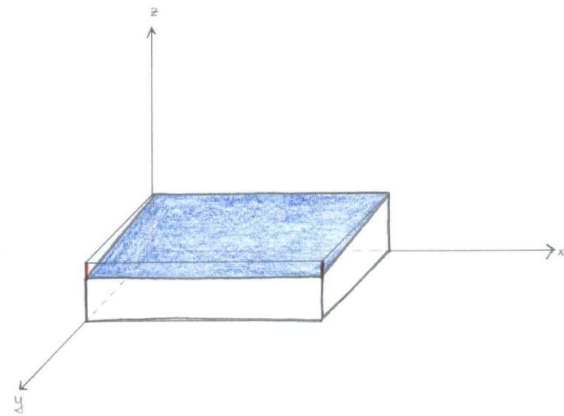
Slika 23: Preverjanje dimenzij

PRILOGA E4



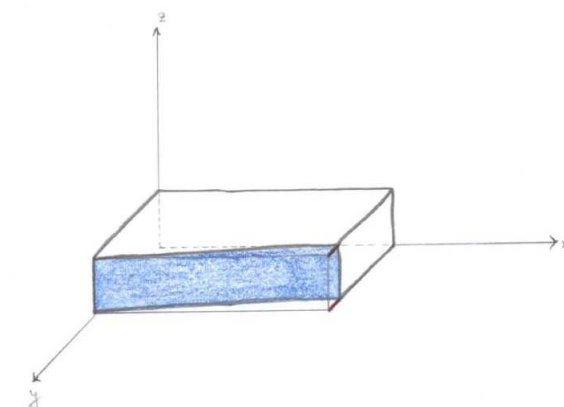
Slika 24: Odstopanje od vzporednosti ploskve A

$\Delta A \Delta b$: Sprememba ploskve A zaradi premika stranice b.

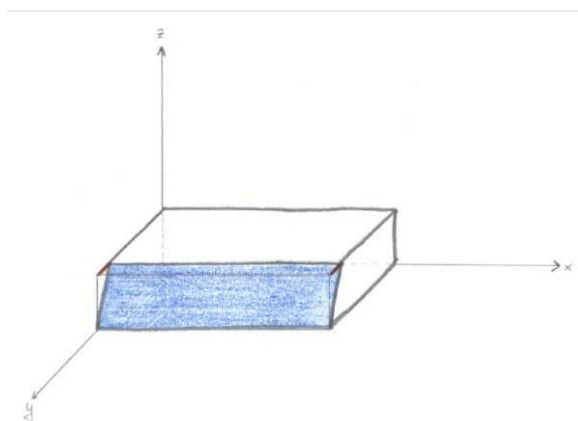
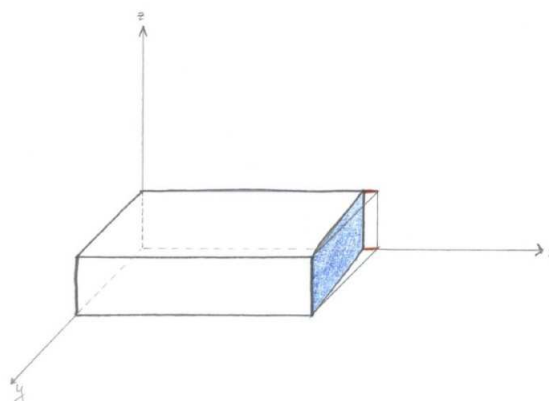
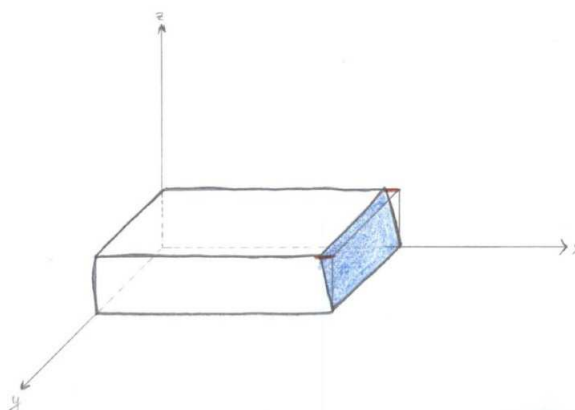


Slika 25: Odstopanje od vzporednosti ploskve A

$\Delta A \Delta l$: Sprememba ploskve A zaradi premika stranice l.



Slika 26: Odstopanje od vzporednosti ploskve B

PRILOGA E5 **$\Delta B \Delta h$** : Sprememba ploskve B zaradi premika stranice h.**Slika 27: Odstopanje od vzporednosti ploskve B** **$\Delta B \Delta l$** : Sprememba ploskve B zaradi premika stranice l.**Slika 28: Odstopanje od vzporednosti ploskve C** **$\Delta C \Delta h$** : Sprememba ploskve C zaradi premika stranice h.**Slika 29: Odstopanje od vzporednosti ploskve C** **$\Delta C \Delta b$** : Sprememba ploskve C zaradi premika stranice b.

PRILOGA F

Preglednica 7: Rezultati preiskav po SIST EN 772-20

SIST EN 772-20	Izmere preizkušanca					
	ime	št.	povprečna vrednost			
			l _d [mm]	b _d [mm]	h _d [mm]	
Povprečne dolžine diagonal	V.I	1	258,90	244,00	137,60	
	V.I	2	261,30	241,98	135,78	
	V.I	3	259,45	241,88	135,95	
	V.I	4	261,63	245,18	129,33	
	V.I	5	258,55	239,98	132,83	
	V.I	6	259,35	241,58	134,20	
	V.I	7	262,25	242,88	135,20	
	V.I	8	262,80	242,95	133,96	
	V.I	9	260,38	243,70	130,55	
	V.I	10	260,70	242,25	135,46	
	Povprečje		260,53	242,64	134,08	
		ime	št.	l _d [mm]	b _d [mm]	h _d [mm]
	V.II	1	272,10	252,38	141,03	
	V.II	2	278,13	261,08	139,65	
	V.II	3	271,80	252,90	142,68	
	V.II	4	280,47	262,03	141,11	
	V.II	5	270,95	252,63	139,95	
	V.II	6	277,03	257,45	141,10	
	V.II	7	284,55	264,28	141,17	
	V.II	8	276,67	254,60	140,99	
	V.II	9	277,28	258,35	140,85	
	V.II	10	272,78	252,10	136,50	
	Povprečje		276,17	256,78	140,50	
		ime	št.	l _d [mm]	b _d [mm]	h _d [mm]
	X	1	289,63	267,75	143,29	
	X	2	290,13	269,38	143,70	
	X	3	293,93	272,75	144,92	
	X	4	287,75	268,43	143,60	
	X	5	281,78	262,15	141,59	
	X	6	303,40	282,75	145,03	
	X	7	288,08	268,43	145,18	
	X	8	288,23	269,08	141,96	
	X	9	289,93	275,35	138,44	
X	10	285,40	264,73	137,79		
Povprečje		289,82	270,08	142,55		

PRILOGA G

Preglednica 8: Rezultati preiskav po SIST EN 772-21

SIST EN 772-21	Rezultati preiskav				
	ime	št.	vrednost		
			m_s [g]	m_m [g]	w_s [%]
Vpijanje hladne vode: w_s	V.I	1	2995,98	3520,00	17,5 %
	V.I	2	2938,26	3440,80	17,1 %
	V.I	3	2870,13	3368,79	17,4 %
	V.I	4	2929,48	3444,06	17,6 %
	V.I	5	2894,26	3400,11	17,5 %
	V.I	6	2896,65	3406,93	17,6 %
	Povprečje		2920,79	3430,12	17,4 %
	ime	št.	m_s [g]	m_m [g]	w_s [%]
	V.II	1	3214,71	3819,54	18,8 %
	V.II	2	3111,32	3848,86	23,7 %
	V.II	3	3192,41	3956,71	23,9 %
	V.II	4	3105,65	3837,59	23,6 %
	V.II	5	3304,25	4089,31	23,8 %
	V.II	6	3185,33	3863,40	21,3 %
	Povprečje		3185,61	3902,57	22,5 %
	ime	št.	m_s [g]	m_m [g]	w_s [%]
	X	1	4043,96	4574,00	13,1 %
	X	2	4048,12	4656,00	15,0 %
	X	4	4089,18	4608,00	12,7 %
	X	6	4005,76	4670,00	16,6 %
	X	8	3898,68	4508,00	15,6 %
X	10	3560,84	4186,00	17,6 %	
Povprečje		3941,09	4533,667	15,1 %	

PRILOGA H

Preglednica 9: Rezultati izračuna volumnov iz dobljenih rezultatov dimenzij in mas

Izračun	Rezultati preiskav					
	ime	št.	vrednosti			
			V _b [mm ³]	V _p [mm ³]	V _n [mm ³]	V _p [%]
Neto in bruto volumen, volumen por; V _n , V _b , V _p	V.I	1	1770000	522000	1250000	30 %
	V.I	2	1760000	505000	1260000	29 %
	V.I	5	1720000	496000	1230000	29 %
	V.I	6	1790000	513000	1280000	29 %
	V.I	9	1740000	502000	1240000	29 %
	V.I	10	1760000	506000	1260000	29 %
	Povprečje		1760000	507000	1250000	29 %
	ime	št.	V _b [mm ³]	V _p [mm ³]	V _n [mm ³]	V _p [%]
	V.II	1	2050000	591000	1460000	29 %
	V.II	2	2120000	703000	1410000	33 %
	V.II	3	2130000	742000	1380000	35 %
	V.II	6	2130000	715000	1410000	34 %
	V.II	7	2140000	759000	1380000	35 %
	V.II	8	2110000	657000	1450000	31 %
	Povprečje		2110000	695000	1420000	33 %
	ime	št.	V _b [mm ³]	V _p [mm ³]	V _n [mm ³]	V _p [%]
	X	1	2240000	402000	1840000	18 %
	X	2	2310000	508000	1800000	22 %
	X	4	2280000	382000	1900000	17 %
	X	6	2390000	640000	1750000	27 %
	X	8	2310000	412000	1900000	18 %
	X	10	2110000	578000	1530000	27 %
Povprečje		2270000	487000	1780000	21 %	