VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

UPORABA EKSPANDIRANE GLINE ZA NASUTJE POD TEMELJNIMI PLOŠČAMI V PRIMERJAVI Z XPS

Kandidat: Matej Prepelič

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Gradbeništvo

Mentor predavatelj: Vladimir Dragorajac, univ. dipl. inž. gradb.

Mentor v podjetju: Mitja Furman, mag. inž. gradb.

Lektor: Maja Špes, mag. prof. slov. j. in knj. (UN)

Maribor, 2026

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Matej Prepelič sem avtor diplomskega dela z naslovom *Uporaba ekspandirane gline za nasutje pod temeljnimi ploščami v primerjavi z XPS*, ki sem ga napisal pod mentorstvom Vladimirja Dragorajaca, univ. dipl. inž. gradb.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela;
- sem poskrbel/a, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oziroma citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor;
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oziroma misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili;
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Slovenska Bistrica, september 2026 Podpis študenta:

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem svojemu mentorju predavatelju Vladimirju Dragorajcu, univ. dipl. inž. gradb., in mentorju v podjetju Probit d.o.o, Mitji Furmanu, mag. inž. gradb., za strokovno pomoč, usmerjanje ter koristne nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi podjetju Probit, d.o.o. za posredovano projektno dokumentacijo, strokovne informacije in podporo, kar mi je omogočilo izdelavo praktičnega dela oziroma izvedbo primerjalne analize.

Posebna zahvala gre moji družini in bližnjim za razumevanje, potrpežljivost, spodbudo ter podporo med študijem in pri nastajanju diplomskega dela.

POVZETEK

Diplomsko delo obravnava možnost uporabe ekspandirane gline kot nasutja in toplotnoizolacijskega sloja pod armiranobetonskimi temeljnimi ploščami ter jo primerja z običajno izvedbo z ekstrudiranim polistirenom (v nadaljevanju XPS). Namen naloge je ugotoviti, ali lahko ekspandirana glina ob izpolnjevanju mehanskih in toplotnih zahtev predstavlja tehnično, časovno ter stroškovno smiselno alternativo XPS-u.

V teoretičnem delu so predstavljeni izvor, proizvodnja, lastnosti in področja uporabe obeh materialov. Primerjava temelji na strokovni literaturi, tehničnih listih proizvajalcev in projektni ter geomehanski dokumentaciji obravnavane stanovanjske hiše. V praktičnem delu so analizirane tri možnosti: projektirana izvedba z gramoznim nasutjem, s podložnim betonom in z XPS-om, kombinirana izvedba s kamnitim nasutjem ter z ekspandirano glino in izvedba s popolno zamenjavo nasutja ter XPS-a z ekspandirano glino.

Rezultati kažejo, da ima XPS pri enaki debelini boljšo toplotno izolativnost. Toplotna prevodnost plošč FIBRAN XPS 400-L znaša 0,035 W/(m·K), ekspandirane gline Laterlite Plus 8/20 pa približno 0,095 W/(m·K). Za doseganje toplotne upornosti 12 cm XPS-a je zato potrebnih približno 32,3 cm ekspandirane gline.

Časovna analiza je pokazala, da bi projektirana izvedba z XPS trajala približno devet delovnih dni, kombinirana izvedba (kamnito nasutje in ekspandirana glina) šest dni, popolna izvedba z ekspandirano glino pa približno pet dni. Po poenostavljenem stroškovnem modelu z upoštevano štiričlansko delovno ekipo ocenjena vrednost projektirane izvedbe z XPS znaša 25.172,75 €, kombinirana izvedba 21.636,25 €, popolna izvedba z ekspandirano glino pa 23.754,45 €. Najugodnejša je kombinirana izvedba, ki je od projektirane cenejša za približno 3.536,50 € oziroma 14,1 % vrednosti obravnavanega sklopa del.

Ekspandirana glina je trajen mineralni material naravnega izvora, ki je odporen proti vlagi in zmrzovanju ter ga je v nevezanem stanju mogoče ponovno uporabiti. Kombinirana rešitev lahko tako prispeva k hitrejši, stroškovno učinkovitejši in trajnostno naravnani gradnji. Prihranek se nanaša samo na obravnavani sklop temeljenja, vendar lahko pri ponavljajoči se stanovanjski gradnji v omejenem obsegu prispeva tudi k izboljšanju cenovne dostopnosti stanovanj.

Ključne besede: *ekspandirana glina, XPS, temeljna plošča, toplotna izolacija, stroški gradnje*

ABSTRACT

THE USE OF EXPANDED CLAY AS FILL BENEATH FOUNDATION SLABS IN COMPARISON WITH XPS

The diploma thesis examines the possibility of using expanded clay as a fill and thermal insulation layer beneath reinforced concrete foundation slabs and compares it with the conventional solution using extruded polystyrene (XPS). The purpose of the thesis is to determine whether expanded clay can represent a technically, time-efficient and economically viable alternative to XPS while meeting the required mechanical and thermal requirements.

The theoretical part presents the origin, production, properties and fields of application of both materials. The comparison is based on professional literature, manufacturers' technical data sheets, and the design and geotechnical documentation of the residential building under consideration. The practical part analyses three solutions: the designed solution consisting of gravel fill, lean concrete and XPS; a combined solution consisting of stone aggregate fill and expanded clay; and a solution in which both the fill and XPS are completely replaced with expanded clay.

The results show that XPS provides better thermal insulation at the same thickness. The thermal conductivity of FIBRAN XPS 400-L boards is 0.035 W/(m·K), while that of Laterlite Plus 8/20 expanded clay is approximately 0.095 W/(m·K). Therefore, approximately 32.3 cm of expanded clay is required to achieve the same thermal resistance as 12 cm of XPS.

The time analysis showed that the designed solution would take approximately nine working days to complete, the combined solution six working days, and the solution using expanded clay throughout approximately five working days. According to a simplified cost model that takes into account a four-person work crew, the estimated value of the designed solution is €25,172.75, the combined solution €21,636.25, and the solution using expanded clay throughout €23,754.45. The combined solution is the most cost-effective, as it is approximately €3,536.50 cheaper than the designed solution, representing a saving of 14.1% of the value of the construction works considered.

Expanded clay is a durable mineral material of natural origin that is resistant to moisture and frost and can be reused when installed in an unbound state. The combined solution can therefore contribute to faster, more cost-effective and more sustainable construction. The estimated

saving relates only to the foundation works considered; however, when repeatedly applied in residential construction, this solution could also contribute, to a limited extent, to improving housing affordability.

Keywords: *expanded clay, XPS, foundation slab, thermal insulation, construction costs.*

KAZALO VSEBINE

1 UVOD 9

1.1 Opis področja in opredelitev problema 9
1.2 Namen, cilji in osnovne trditve 9
1.3 Predpostavke in omejitve 10
1.4 Uporabljane raziskovalne metode 10

2 DELO V PROJEKTNI SKUPINI 12

2.1 Varstvo pri delu in organizacija gradbišča 15
2.1.1 Varstvo pri delu 15
2.1.2 Organizacija gradbišča 17

3 TEORETIČNI DEL 19

3.1 Lastnosti ekspandirane gline 19
3.2 Uporaba ekspandirane gline v gradbeništvu 20
3.3 Značilnosti, pridobivanje in proizvodnja ekspandirane gline 22
3.4 Značilnosti, pridobivanje in proizvodnja XPS 25
3.5 Primerjava osnovnih lastnosti ekspandirane gline in XPS 27

4 UPORABA IZBRANIH MATERIALOV POD TEMELJNIMI PLOŠČAMI 29

4.1 Zahteve za materiale pod temeljnimi ploščami 29
4.2 Uporaba ekspandirane gline kot nasutja pod temeljno ploščo 31
4.3 Uporaba XPS plošč pod temeljno ploščo 33
4.4 Primerjava prednosti in slabosti uporabe ekspandirane gline in XPS plošč 34

5 PRIMERJALNA ANALIZA EKSPANDIRANE GLINE IN XPS POD TEMELJNIMI PLOŠČAMI 36

5.1 Predstavitev obravnavanega objekta 36
5.2 Mehanske in toplotne lastnosti ekspandirane gline in XPS 38
5.2.1 Mehanske lastnosti 38
5.2.2 Toplotne lastnosti 39
5.2.3 Časovna primerjava izvedbe temeljenja 40
Projektirana izvedba z XPS-om 41
5.2.4 Stroškovna primerjava obravnavanih načinov izvedbe temeljenja 44

6 VPLIV IZBRANIH REŠITEV NA CENOVNO DOSTOPNOST STANOVANJ 48

7 SKLEP 50

8 VIRI IN LITERATURA 53

KAZALO SLIK

SLIKA 1: TEMELJNA PLOŠČA IZBRANEGA OBJEKTA 13
SLIKA 2 : OSEBNA VAROVALNA OPREMA DELAVCA NA GRADBIŠČU 16
SLIKA 3: OBRAVNAVANI STANOVANJSKI OBJEKT 17
SLIKA 4: ORGANIZACIJA GRADBIŠČA OBRAVNAVANEGA STANOVANJSKEGA OBJEKTA 18
SLIKA 5: AGREGATNA OBLIKA EKSPANDIRANE GLINE 19
SLIKA 6: SPLOŠNE LASTNOSTI LAHKEGA AGREGATA EKSPANDIRANE GLINE 19
SLIKA 7: PRIMER UPORABE EKSPANDIRANE GLINE 21
SLIKA 8: SHEMATSKI PRIKAZ PRIDOBIVANJA EKSPANDIRANE GLINE 22
SLIKA 9: PRIMER ROTACIJSKE PEČI 23
SLIKA 10: SHEMATSKI PRIKAZ PRIDOBIVANJA POLISTIRENSKEGA GRANULATA 25
SLIKA 11: INDUSTRIJSKI PROCES PROIZVODNJE XPS PLOŠČ 25
SLIKA 12: XPS PLOŠČA 26
SLIKA 13: KOMPENZIRANI TEMELJI 29
SLIKA 14: NAPRAVA ZA IZVEDBO PROCTORJEVEGA PRESKUSA 30
SLIKA 15: DETAJL TEMELJNE PLOŠČE Z NASUTJEM IZ EKSPANDIRANE GLINE 31
SLIKA 16: IZRAVNAVA EKSPANDIRANE GLINE 32
SLIKA 17: DETAJL PRIKAZA POLAGANJA XPS PLOŠČ 33
SLIKA 18: PREREZ OBRAVNAVNEGA STANOVANJSKEGA OBJEKTA 37

KAZALO TABEL

TABELA 1: FRAKCIJE EKSPANDIRANE GLINE 24
TABELA 2: PRIMERJAVA OSNOVNIH, FIZIKALNIH IN KEMIJSKIH LASTNOSTI EKSPANDIRANE GLINE IN XPS PLOŠČ 27
TABELA 3: PRIMERJAVA PREDNOSTI IN SLABOSTI EKSPANDIRANE GLINE IN XPS PLOŠČ 35
TABELA 4: PRIMERJAVA TOPLOTNIH LASTNOSTI MATERIALOV NA OBRAVNAVANEM OBJEKTU 40
TABELA 5: PRIMERJAVA OCENJENEGA ČASA IZVEDBE TEMELJENJA 43
TABELA 6: PODROBNA STROŠKOVNA PRIMERJAVA TREH NAČINOV IZVEDBE TEMELJENJA 45

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Temeljna armiranobetonska plošča je eden najpomembnejših konstrukcijskih elementov pri izgradnji stavbe. Predstavlja nosilno, stabilizacijsko in zaščitno vlogo objekta. Kljub njenim prednostim pa njena uporaba prinaša tudi določene pomanjkljivosti. Beton kot material ima visoko toplotno prevodnost, zato lahko temeljna plošča brez ustrezne toplotne izolacije predstavlja izrazit toplotni most med ogrevanim objektom in hladnimi tlemi. Zato sta izbira ustreznega izolacijskega materiala in pravilna priprava temeljne podlage ključni za dolgoročno učinkovitost armiranobetonske temeljne plošče, saj lahko napačna izolacija ali neenakomerno utrjena podlaga povzročita toplotne izgube, kondenzacijo, mikrobiološke poškodbe ter razpoke v betonu.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je predstaviti prednosti in slabosti uporabe ekspandirane gline kot nasutja pod temeljno ploščo v primerjavi z uporabo XPS plošč. Pri primerjavi se bom osredotočil na pridobivanje, proizvodnjo in uporabo ekspandirane gline ter ocenil primernost ekspandirane gline kot nasutje pod temeljno ploščo. Raziskal in primerjal bom tehnične ter stroškovne vidike uporabe ekspandirane gline z XPS.

Cilj diplomskega dela je potrditi predpostavljene trditve, ki so:

- **H1** – Uporaba ekspandirane gline kot nasutja pod temeljnimi ploščami je za približno 10 % dražja od izvedbe z XPS ploščami.
- **H2** – Izvedba nasutja z ekspandirano glino ima 10 % boljšo toplotno izolativnost od izvedbe z XPS.
- **H3** – dodatna hipoteza – BTEC 2025 »Dostopna stanovanja«.
- **H4** – Uporaba ekspandirane gline nima nobenega vpliva na dostopnost stanovanj.

1.3 Predpostavke in omejitve

V diplomskem delu se bom omejil predvsem na primerjavo toplotnoizolacijskih materialov in nasutja pod temeljno ploščo stanovanjskega objekta (sodobna lesena montažna gradnja). Trenutno je v uporabi XPS, ki zahteva še dodatno nasutje. Uporaba ekspandirane gline lahko hkrati predstavlja tako nasutje kot izolacijski element.

Omejitveni dejavniki, ki jih lahko pričakujem pri izdelavi diplomskega dela, so predvsem:

– slaba razširjenost uporabe ekspandirane gline v Sloveniji;

– omejena literatura;

– pomanjkanje lastnih izkušenj.

Pri izdelavi diplomskega dela bom uporabil dostopno strokovno literaturo i spletne vire. Povezal se bom s podjetji, ki se ukvarjajo z uporabo ekspandirane gline in XPS toplotnih izolacij.

1.4 Uporabljane raziskovalne metode

Izbral bom kombiniran raziskovalni pristop, ki hkrati uporablja več različnih metod raziskovanja, da bi pridobil celovitejše in zanesljivejše rezultate. Raziskovanje bo vključevalo pregled strokovne literature in tehnične dokumentacije, analizo obravnavanega primera ter primerjalno analizo tehničnih lastnosti ekspandirane gline in XPS-a. Takšen pristop bo omogočil boljše razumevanje obeh materialov, preverjanje postavljenih hipotez in pripravo praktičnih ugotovitev za uporabo pri stanovanjski gradnji.

V praktičnem delu bo uporabljena metoda študije primera stanovanjske hiše. Projektna dokumentacija, geomehansko poročilo in popis del so bili pridobljeni v okviru sodelovanja s podjetjem Probit, d.o.o. Na njihovi podlagi bodo določene količine posameznih materialov in obseg del, potrebnih za izvedbo temeljenja.

Uporabljeni bodo primarni in sekundarni podatki. Med primarne podatke bodo vključene informacije, neposredno pridobljene od podjetij Probit, d.o.o. in Laterlite, med sekundarne pa podatki iz projektne dokumentacije, tehničnih listov proizvajalcev, strokovne literature, člankov, knjižničnega gradiva, prospektov ter spletnih virov.

Pomembna bo predvsem primerjalna metoda, s katero bodo primerjane mehanske in toplotne lastnosti obeh materialov, način njune vgradnje ter njun vpliv na potek gradnje. Z osnovnimi

računskimi postopki bo določena potrebna debelina ekspandirane gline za doseganje primerljive toplotne upornosti kot pri projektirani izvedbi z XPS-om.

Na podlagi količin iz popisa del bosta izdelani tudi okvirna časovna in poenostavljena stroškovna analiza treh obravnavanih načinov izvedbe. Primerjane bodo projektirana izvedba z XPS-om, kombinirana izvedba s kamnitim nasutjem in z ekspandirano glino ter teoretična izvedba s popolno zamenjavo nasutja in XPS-a z ekspandirano glino. Rezultati bodo uporabljeni za preverjanje postavljenih hipotez in oceno tehnične, časovne, stroškovne ter trajnostne primernosti posamezne rešitve.

2 DELO V PROJEKTNI SKUPINI

V okviru priprave na izdelavo diplomskega dela smo na Academii na uvodnem srečanju opravili Belbinov test timskih vlog in osebnostni test. Namen testov je bil prepoznati naše značilnosti, prednosti in možne slabosti ter na tej podlagi določiti najprimernejše vloge v projektni skupini.

Rezultat Belbinovega testa je pokazal, da mi najbolj ustreza vloga RA – Rastlina. Za to vlogo so značilni ustvarjalnost, izvirnost, neodvisno razmišljanje in iskanje novih rešitev. Rastline pogosto oblikujejo drzne predloge in na projektih pustijo svoj pečat kot ustvarjalci novih zamisli. Njihove prednosti so razum, domišljija, znanje in sposobnost reševanja zahtevnejših problemov. Pogosto najraje delajo samostojno in se močno odzivajo na kritiko ali pohvalo. Med dovoljene slabosti spada nagnjenost k neupoštevanju ustaljenih postopkov in protokolov.

Osebnostni test je dodatno pokazal, da sem dober organizator, cenim urejenost in jasno razdelitev dela ter se zavedam odgovornosti, ki jo ima vodja. Pri delu poskušam voditi z zgledom, naloge dokončati v dogovorjenem roku in preverjati pravilnost pridobljenih rezultatov. Kombinacija organizacijskih lastnosti in vloge Rastline je bila primerna za obravnavano temo, saj je bilo treba poleg urejanja dokumentacije oblikovati tudi alternativno rešitev temeljenja.

Ker je ena od možnih slabosti vloge Rastline manjše upoštevanje protokolov, sem pri delu posebno pozornost namenil sistematičnemu preverjanju podatkov. Pri izračunih sem uporabljal kontrolne sezname, tehnične podatke sem primerjal z dokumentacijo proizvajalcev, količine pa s projektnim popisom del. Tako sem ustvarjalni pristop dopolnil z urejenim in s preverljivim postopkom dela.

Po opravljenih testih smo se razdelili v projektne skupine in določili naloge posameznih članov. V skupini so bile zastopane naloge vodenja, projektiranja, priprave del, zbiranja podatkov, izdelave kalkulacij in preverjanja varnosti ter tehnične ustreznosti rešitev. Sam sem prevzel predvsem organizacijo svojega dela, zbiranje projektne dokumentacije, raziskovanje lastnosti materialov in pripravo primerjalne analize.

Na prvem srečanju projektne skupine sem predstavil temo diplomskega dela, ki obravnava uporabo ekspandirane gline kot nasutja in toplotnoizolacijskega sloja pod armiranobetonsko temeljno ploščo v primerjavi s ploščami XPS. Glavni razlog za izbiro teme je bil raziskati, ali

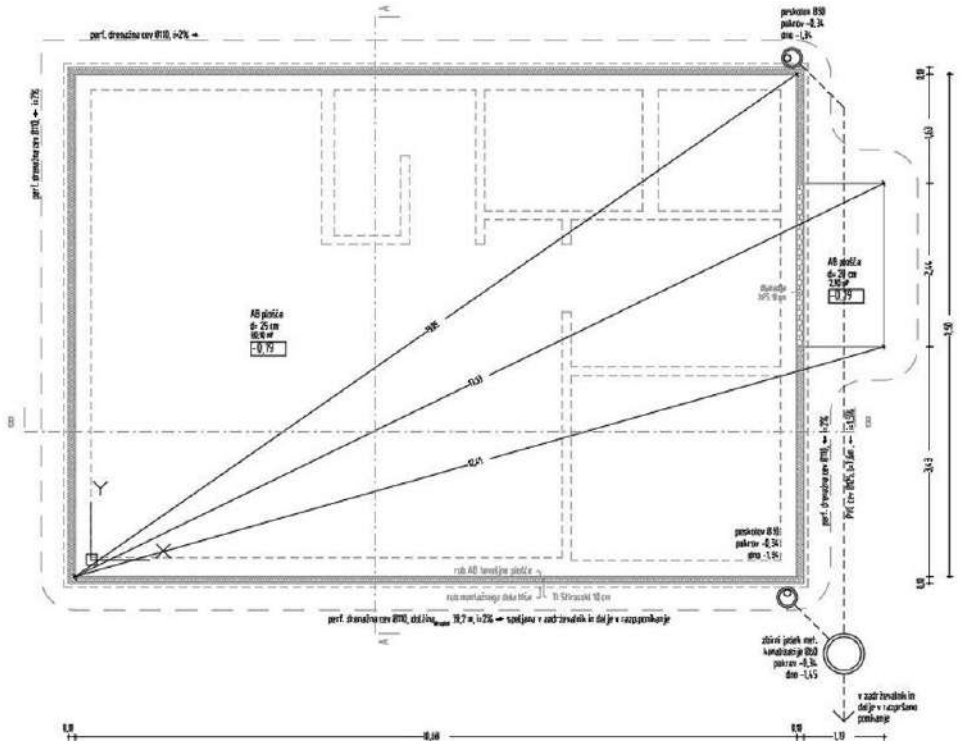
lahko ekspandirana glina hkrati nadomesti del običajnega kamnitega nasutja in toplotno izolacijo ter tako poenostavi gradnjo.

V projektni skupini smo najprej opredelili namen raziskave in vprašanja, na katera mora diplomsko delo odgovoriti. Zanimalo nas je, ali ekspandirana glina zagotavlja ustrezno nosilnost, kakšna debelina je potrebna za primerljivo toplotno zaščito, kako se razlikuje način vgradnje in kakšen je vpliv izbrane rešitve na čas ter stroške gradnje.

Pri oblikovanju raziskave sem predlagal tri možne načine izvedbe, in sicer projektirano izvedbo z gramoznim nasutjem, s podložnim betonom in z XPS-om, kombinirano izvedbo s kamnitim nasutjem ter z ekspandirano glino in teoretično izvedbo s popolno zamenjavo gramoznega nasutja ter XPS-a z ekspandirano glino.

Takšna razdelitev je omogočila, da smo poleg neposredne primerjave materialov preverili tudi vmesno rešitev, ki ohranja nosilni kamniti sloj in hkrati izkoristi toplotne ter izvedbene prednosti ekspandirane gline.

Za praktični del sem zbral projektno in geomehansko dokumentacijo obravnavane stanovanjske hiše. Podatki in dokumentacija so bili pridobljeni v okviru dela za podjetje Probit, d.o.o. Iz popisa del sem povzel količine izkopa, geotekstila, gramoznega nasutja, podložnega betona, XPS-a, betona, armature in opažev. Poleg tega sem pridobil tehnična lista izdelkov FIBRAN XPS 400-L in Laterlite Plus 8/20.



Slika 1: Temeljna plošča izbranega objekta

Vir: (Probit d.o.o. tehnično poročilo in statika)

Na drugem srečanju smo obravnavali mehanske in toplotne lastnosti materialov. Pri mehanski primerjavi smo ugotovili, da ima XPS natančno deklarirano tlačno trdnost, medtem ko je nosilnost sloja ekspandirane gline bolj odvisna od debeline nasutja, načina vgradnje in lastnosti temeljnih tal. Tehnični list ekspandirane gline sam po sebi ne dokazuje doseganja deformacijskega modula, zahtevanega v projektni dokumentaciji. Zato smo predvideli, da bi morala alternativno sestavo pred izvedbo potrditi projektant konstrukcij in geomehanik.

Pri toplotni analizi smo primerjali toplotni prevodnosti materialov. Za FIBRAN XPS 400-L je bila uporabljena vrednost 0,035 W/(m·K), za Laterlite Plus 8/20 pa 0,095 W/(m·K). Izračun je pokazal, da je za doseganje toplotne upornosti 12 cm XPS-a potrebnih približno 32,3 cm ekspandirane gline. Na podlagi tega rezultata je bila določena sestava alternativne rešitve.

Na naslednjem srečanju smo pripravili časovno primerjavo. Dela smo razdelili na izkop, pripravo dna, polaganje geotekstila, izvedbo nasutja, podložnega betona, toplotne izolacije, armiranje in betoniranje temeljne plošče. Projektirana izvedba z XPS-om je bila ocenjena na devet delovnih dni, kombinirana izvedba na šest dni, popolna izvedba z ekspandirano glino pa na pet dni.

Krajši čas pri alternativnih izvedbah je posledica pnevmatskega črpanja ekspandirane gline in opustitve podložnega betona, tehnološkega premora ter polaganja XPS-a. Pri oceni smo predpostavili, da poteka dobava materiala usklajeno, temeljna tla ne potrebujejo dodatne sanacije in neugodne vremenske razmere ne vplivajo na izvedbo.

V nadaljevanju smo na osnovi popisa del pripravili poenostavljeno stroškovno primerjavo. Ker popis ni vseboval izpolnjenih enotnih cen, smo uporabili javno dostopne cene materialov, pridobljeni podatek podjetja Laterlite in orientacijske cene izvedbe. V analizi je bila upoštevana štiričlanska delovna ekipa z osemurnim delovnikom.

Delo v projektni skupini je omogočilo preverjanje posameznih odločitev in izmenjavo različnih pogledov. Pomembni so bili predvsem pogovori o realnosti časovnih ocen, primernosti popolne zamenjave nasutja in načinu upoštevanja stroškov dela. Na podlagi pripomb skupine sem posamezne izračune popravil, natančneje zapisal predpostavke in jasno ločil podatke iz projektne dokumentacije od lastnih ocen.

Skupinsko delo je bilo učinkovito in usklajeno. Jasno razdeljene naloge so omogočile dobro organizacijo, ustvarjalni predlogi pa so pripomogli k oblikovanju kombinirane rešitve. Ugotovil sem, da lahko kot Rastlina pomembno prispevam z novimi zamislimi, vendar morajo biti te pri gradbenih projektih vedno preverjene z izračuni, s tehničnimi podatki in z veljavnimi predpisi.

Rezultat dela projektne skupine je bila jasno oblikovana primerjava, na podlagi katere je bilo mogoče določiti prednosti, omejitve in primernost posamezne izvedbe.

2.1 Varstvo pri delu in organizacija gradbišča

2.1.1 Varstvo pri delu

Pri izvedbi temeljne plošče so vključena zemeljska dela, uporaba težke gradbene mehanizacije, prevoz in vgradnja materialov, armiranje, opaževanje ter betoniranje. Pri alternativni izvedbi se pojavijo še tveganja, povezana s pnevmatskim črpanjem ekspandirane gline in z uporabo cementnega mleka. Zaradi različnih delovnih postopkov je treba gradbišče organizirati tako, da se posamezne aktivnosti med seboj ne ovirajo in ne ogrožajo delavcev.

Varnost in zdravje pri delu se zagotavljata na podlagi Zakona o varnosti in zdravju pri delu ter Uredbe o zagotavljanju varnosti in zdravja pri delu na začasnih in premičnih gradbiščih. Izvajalec mora gradnjo izvajati na ograjenem, zavarovanem in označenem gradbišču ter izbrati postopke, ki zmanjšujejo tveganje za delavce, mimoidoče in okolico.

Gradbišče mora biti ograjeno in označeno z opozorilnimi tablami. Na vidnem mestu morajo biti podatki o odgovornih osebah in navodila za ukrepanje ob nezgodi. Zagotovljeni morajo biti komplet prve pomoči, gasilni aparati, pitna voda, sanitarije in prostor za počitek. Dostop nepooblaščenim osebam mora biti preprečen.

Pri izvedbi temeljenja se pojavljajo različna tveganja, med katerimi so najpomembnejša naslednja:

- Pri izkopu obstaja nevarnost porušitve brežine, padca delavca v izkop in trčenja z gradbenim strojem.
- Pri vgradnji kamnitega nasutja so glavna tveganja povezana z gibanjem tovornjakov, razprostiranjem materiala in uporabo vibracijske plošče ali valjarja. Delavci morajo uporabljati zaščitno obutev, odsevna oblačila, zaščito sluha in po potrebi zaščito dihal. Med zgoščevanjem se morajo druge osebe umakniti iz neposrednega območja delovanja stroja.
- Pri izvedbi z XPS-om je treba plošče skladiščiti na ravni površini in jih zaščititi pred vetrom, neposrednim ognjem ter poškodbami. Pri rezanju obstaja nevarnost poškodb rok, zato je potrebna uporaba primernega orodja in zaščitnih rokavic.

– Pri pnevmatskem črpanju ekspandirane gline je treba cisterno postaviti na stabilno in dovolj nosilno podlago. Vozilo mora biti zavarovano pred nenadzorovanim premikom, črpalna cev pa mora biti pravilno spojena, pregledana in pritrjena.

– Opaž roba temeljne plošče mora biti stabilen, pravilno podprt in pred betoniranjem pregledan. Pri betoniranju obstaja nevarnost nenadzorovanega premikanja cevi betonske črpalke, brizganja svežega betona in zdrsa na mokri površini. S cevjo mora upravljati usposobljena oseba, delavci pa morajo uporabljati zaščitne rokavice, očala, čelado in nepremočljivo obutev.

Osnovna osebna varovalna oprema pri obravnavanih delih vključuje: varnostno čelado, zaščitno obutev s kapico in z nedrsečim podplatom, delovne rokavice, odsevno oblačilo, zaščitna očala, zaščito sluha pri uporabi vibracijskih strojev, zaščito dihal pri prašnih delih.

Varstvo pri delu je sestavni del organizacije gradbenega projekta. Z urejenim gradbiščem, usposobljenimi delavci, uporabo varovalne opreme in s stalnim nadzorom se zmanjšujejo možnosti za nezgode. Varnostni ukrepi hkrati pripomorejo k bolj tekočemu delu, manj prekinitvam in h kakovostnejši izvedbi temeljne plošče.



Slika 2: Osebna varovalna oprema delavca na gradbišču

Vir: (Lokatrade.com, 2026)

2.1.2 Organizacija gradbišča

Organizacija gradbišča poteka na območju gradnje obravnavanega stanovanjskega objekta. Zaradi omejenega prostora in podolgovate oblike zemljišča so začasni gradbiščni objekti, skladiščne površine in transportne poti razporejeni tako, da ne ovirajo izvajanja gradbenih del ter premikanja mehanizacije.



Slika 3: Obravnavani stanovanjski objekt

Vir: (Probit, 2026)

Gradbišče je po zunanjem robu zavarovano z začasno gradbiščno ograjo. Ta preprečuje dostop nepooblaščenim osebam in jasno določa območje izvajanja del. Na mestu priključitve dovozne poti na javno cesto je urejen nadzorovan vhod in izhod z gradbišča. Vhod je ustrezno označen.

Dovozna in transportna pot poteka od javne ceste po obstoječem dovozu v notranjost gradbišča. Namenjena je dostavi gradbenega materiala, dostopu gradbene mehanizacije in odvozu izkopanega materiala. Pot ima zadostno širino in utrjeno ter stabilno vozno površino. Na priključku na javno cesto je zagotovljena ustrezna preglednost. Delavci preprečujejo nanašanje zemlje in drugega materiala na javno vozišče ter ga ob morebitnem onesnaženju sproti očistijo.

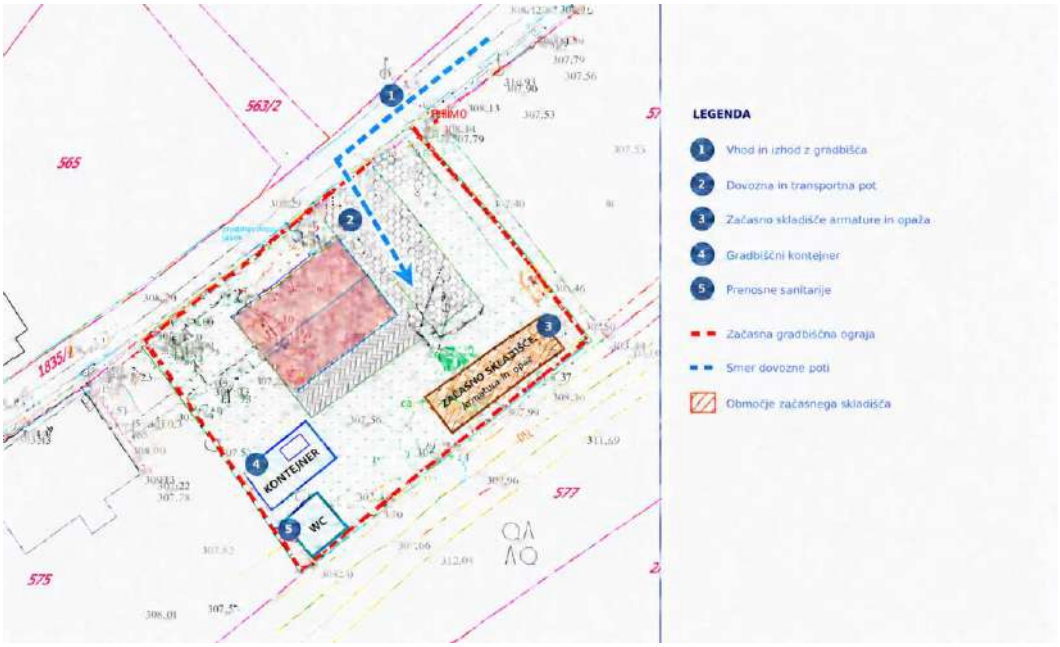
Gradbiščni kontejner je postavljen v spodnjem levem delu gradbišča ob gradbiščni ograji. Namenjen je shranjevanju gradbiščne dokumentacije, manjšega orodja in osebne varovalne opreme ter krajšemu zadrževanju delavcev. Neposredno ob kontejnerju so nameščene prenosne sanitarije. Takšna razporeditev omogoča preprost dostop, hkrati pa kontejner in sanitarije ne posegajo v območje gradnje stanovanjskega objekta ter ne ovirajo transportne poti.

Začasno skladišče armature in opaža je urejeno ob spodnjem desnem robu gradbišča. Njegova daljša stranica poteka vzporedno z daljšim robom gradbišča. Skladiščna površina je ravna,

utrjena in ustrezno odvodnjavana. Armatura je odložena na lesene podložke, zato ni v neposrednem stiku s tlemi. Opažni elementi so stabilno zloženi in zavarovani pred prevrnitvijo. Skladiščeni material ne sega na dovozno pot in ne ovira gibanja delavcev ali gradbene mehanizacije.

Betonska črpalka, avtomešalniki, dostavna vozila in cisterna za pnevmatsko dobavo ekspandirane gline na gradbišču nimajo stalnega mesta. Na gradbišče prihajajo samo med izvajanjem posamezne delovne faze. Njihov prihod je časovno usklajen, s čimer se preprečujejo zastoji na dovozni poti in javni cesti. Med dostavo promet in premikanje vozil usmerja odgovorna oseba.

Gradbeni odpadki se zbirajo ločeno na za to določenem mestu in se sproti odvažajo pooblaščenemu prevzemniku. Na gradbišču se zagotavljajo red, proste komunikacijske poti in varen dostop do vseh delovnih območij. Nevarne površine, izkopi in območja premikanja gradbene mehanizacije so ustrezno označeni oziroma fizično zavarovani.



Slika 4: Organizacija gradbišča obravnavanega stanovanjskega objekta

Vir: Lastni vir

Prikazana organizacija gradbišča predstavlja razporeditev elementov med gradnjo obravnavanega stanovanjskega objekta. Položaji posameznih elementov se sproti prilagajajo poteku gradnje in usklajujejo z izvajalcem, odgovornim vodjem gradbišča ter zahtevami varnostnega načrta.

3 TEORETIČNI DEL

3.1 Lastnosti ekspandirane gline

Ekspandirana glina je lahek granulirani agregat, pridobljen s termalno ekspanzijo in z vitrifikacijo (klinkerizacijo) posebnih naravnih glin pri temperaturi 1200 °C. Granule lahko imajo notranjo celično strukturo z dobrimi toplotno in zvočno izolacijskimi lastnostmi, obdane so s kompaktno ter trdno zunanjo lupino, kar zagotavlja odlično razmerje med težo in trdnostjo.



Slika 5: Agregatna oblika ekspandirane gline

Vir: (Laterlite, 2026)

Ekspandirana glina je izolacijski material, ki se skozi čas ne spreminja, ima nizko toplotno prevodnost. Material je trpežen, negorljiv, odporen proti zmrzovanju in popolnoma reciklabilen, kar omogoča njegovo dolgoročno uporabo v gradbeništvu.



Slika 6: Splošne lastnosti lahkega agregata ekspandirane gline

Vir: (LECA, 2026)

Ekspandirana glina je edini lahek agregat, certificiran za geotehnično uporabo, s CE oznako skladno z evropskim standardom EN 15732 – Lahka polnila in toplotno izolacijski izdelki za civilno inženirstvo (CEA). Ta standard določa zahteve glede značilnosti in lastnosti materiala, postopke testiranja, označevanja ter uporabo v civilno inženirskih projektih. (Laterlite, 2026)

3.2 Uporaba ekspandirane gline v gradbeništvu

Ugodne lastnosti lahkega agregata ekspandirane gline omogočajo njegovo uporabo v številnih primerih v gradbeništvu.

Ravne kritine in strehe z naklonom: ekspandirana glina omogoča lahko, varno ter učinkovito toplotno izolacijo ravnih streh in streh z naklonom, brez prekomernega obremenjevanja konstrukcije. Zaradi majhne teže in visoke toplotne akumulacije je primerna za izdelavo debelejših slojev ter zagotavlja udobje tako poleti kot pozimi. Hkrati omogoča oblikovanje naklonov za odvodnjavanje in enostavno vgradnjo dodatne hidroizolacije.

Podlage za tlak na plošči: ekspandirana glina se uporablja za lahke in izolacijske talne podlage, kjer omogoča izvedbo tudi večjih debelin brez večjih obremenitev konstrukcije. Zaradi celične strukture zagotavlja dobro toplotno izolacijo in zmanjšuje obremenitve instalacij, kot so električne ter sanitarne napeljave.

Polnila: pri novogradnjah in še posebej pri obnovah starih objektov je pogosto potrebno zapolnjevanje s trajnim, z lahkim ter negorljivim materialom. Ekspandirana glina je primerna za polnjenje starih konstrukcij, obokov, manjših lukenj in praznih prostorov. Uporablja se tudi kot polnilo ob gorljivih konstrukcijah za izboljšanje požarne varnosti in zapolnjevanje opuščenih cistern ter rezervoarjev.

Talne podlage: pri tlakih, ki so v neposrednem stiku s tlemi, je nujno predvideti izolacijski sloj, ki omejuje toplotne izgube. Ekspandirana glina omogoča učinkovito toplotno izolacijo nad terenom tudi v primerih talnega ogrevanja ali hlajenih prostorov. Debelina izolacije se določa glede na toplotne zahteve, priporočljivo je povečati sloj v območju obodnih sten. Takšna rešitev izboljšuje energijsko učinkovitost objekta in dolgoročno toplotno stabilnost.

Podstrešja: na podstrešjih omogoča ekspandirana glina izdelavo trajne, lahke in učinkovite toplotne izolacije, ki ne poškoduje stropnih konstrukcij. Zaradi visoke toplotne akumulacije zagotavlja dobro toplotno stabilnost in udobje. Glede na dostopnost podstrešja se lahko vgradi kot razsuti material ali obdelana z zaključnim estrihom za hojo.

Brizgani lahek konstrukcijski beton: z ekspandirano glino je mogoče izdelati lahek konstrukcijski beton z dobro toplotno izolacijo in visoko požarno odpornostjo. Uporablja se za ravne kritine, podstrešja, talne podlage in polnila ter omogoča znatno zmanjšanje lastne teže konstrukcije. Primeren je tudi za sanacije, brizgani beton in prefabricirane elemente.

Zelenice in viseči vrtovi: ekspandirana glina se uporablja kot drenažna plast za zelenice nad ravnimi površinami, kot so podzemne garaže, viseči vrtovi ter cvetlična korita. Zagotavlja učinkovito odvajanje vode in zdravo rast rastlin.

Proizvodi in prefabricirani elementi: ekspandirana glina je (zaradi nizke teže, izolacijskih lastnosti ter odpornosti na ogenj) glavna surovina za veliko proizvodov in prefabriciranih elementov: bloke, prefabricirane plošče, dimnike, kamine ter žare.

Geotehnika in ceste: ekspandirana glina se zaradi majhne teže ter visokega kota notranjega trenja pogosto uporablja v geotehniki in cestogradnji. Primerna je za lahke nasipe, temelje, zasipavanje izkopov in uporabo ob nosilnih zidovih ter pregradah. Uporablja se tudi za stabilizacijo pobočij in zapolnjevanje podzemnih jam ter jaškov. Poleg tega omogoča izdelavo bitumenskih mešanic za zvočno vpojne asfalte z visokimi zmogljivostmi. (Laterlite, 2026)

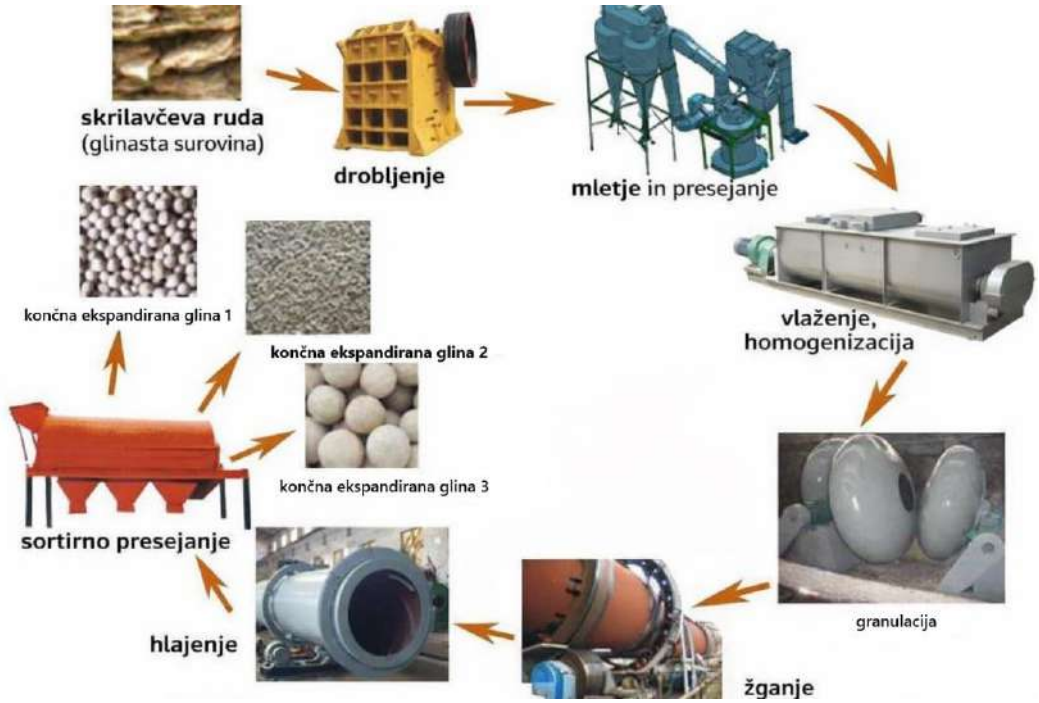


Slika 7: Primer uporabe ekspandirane gline

(Laterlite, 2026)

3.3 Značilnosti, pridobivanje in proizvodnja ekspandirane gline

Ekspandirani glineni agregati so znani tudi kot lahki ekspandirani glineni agregati (LECA) ali tudi porozna liasna glina (LIAPOR). Ekspandirana glina se proizvaja iz naravne plastične gline z nizko vsebnostjo apna, najpogosteje glinastih skrilavcev ali ilovnatih glin, ki se zaradi ustrezne mineralne sestave ob žganju raztezajo. Značilna struktura in lastnosti ekspandirane gline so rezultat skrbno nadzorovanega procesa toplotne obdelave, ki se običajno izvaja v rotacijskih pečeh. Ta proces, imenovan kalcinacija ali sintranje, omogoča nastanek porozne notranje strukture in utrjene zunanje lupine, kar materialu zagotavlja nizko gostoto, dobro mehansko odpornost ter veliko specifično površino.



Slika 8: Shematski prikaz pridobivanja ekspandirane gline

Vir: (Vse, kar morate vedeti o ekspandirani glini, 2026)

Pred toplotno obdelavo se glina ustrezno pripravi, pri čemer se v prvi fazi uporablja drobljenje, mletje in presejanje, da se doseže ustrezna granulacija. Sledi vlaženje in homogenizacija, pri čemer se surovina enakomerno pripravi za nadaljnjo obdelavo, ter granulacija, kjer se oblikujejo peleti približno okrogle oblike in določene velikosti. Priprava surovine je ključnega pomena za doseganje enakomernih lastnosti končnega proizvoda.

Ključna faza v proizvodnji ekspandirane gline je toplotna obdelava oziroma žganje, pri kateri pride do fizičnega raztezanja glinenih delcev. Postopek se najpogosteje imenuje kalcinacija.

Kalcinacija je toplotna obdelava materiala pri visokih temperaturah, vendar pod tališčem, običajno ob prisotnosti zraka. V nekaterih primerih se uporablja tudi sintranje. Sintranje je toplotna obdelava pri višjih temperaturah, bližje tališču materiala, brez popolnega taljenja. Pri sintranju pride do delnega taljenja površin delcev, kar vodi v večjo gostoto in manjšo poroznost materiala. Temperature v rotacijskih pečeh običajno dosegajo vrednosti med 1050 °C in 1250 °C.



Slika 9: Primer rotacijske peči

Vir: (Ebben & Carlson, 2026)

Med segrevanjem materiala pride do sproščanja plinov zaradi razgradnje karbonatov, zgorevanja organskih snovi, izhlapevanja ujete vode in redukcije železovih oksidov. Sproščeni plini povzročijo napihovanje oziroma raztezanje gline, kar vodi do povečanja poroznosti, zmanjšanja gostote in nastanka večje notranje površine delcev. Hkrati se na površini delcev oblikuje utrjena lupina, ki zagotavlja dobro mehansko odpornost agregata.

Na raztezanje gline med kalcinacijo vpliva več dejavnikov. Najpomembnejši med njimi je temperatura obdelave, saj se stopnja raztezanja povečuje z naraščanjem temperature do vrednosti tik pod tališčem posamezne vrste gline. Poleg temperature imajo pomembno vlogo tudi velikost zrn surovine, velikost peletov oziroma aglomeratov in čas zadrževanja materiala v peči. Optimalne vrednosti teh parametrov so odvisne od kemijske in mineralne sestave gline.

Proces raztezanja gline se najpogosteje izvaja v rotacijskih pečeh, ki so lahko neposredno ali posredno ogrevane. V proizvodnji ekspandirane gline se praviloma uporabljajo neposredno ogrevane peči, kjer so glina in produkti zgorevanja v neposrednem stiku. Takšne peči so lahko zasnovane z vzporednim ali s protitočnim tokom zraka, pri čemer je protitočna konfiguracija v večini primerov energetsko učinkovitejša.

Po žganju sledi hlajenje, nato še sortirno presejanje, s katerim se končni produkt razdeli v različne frakcije. Na ta način nastane končna ekspandirana glina različnih velikosti. Glede na frakcijo ekspandirane gline jo lahko ločimo v več vrst. (Ebben & Carlson, 2026)

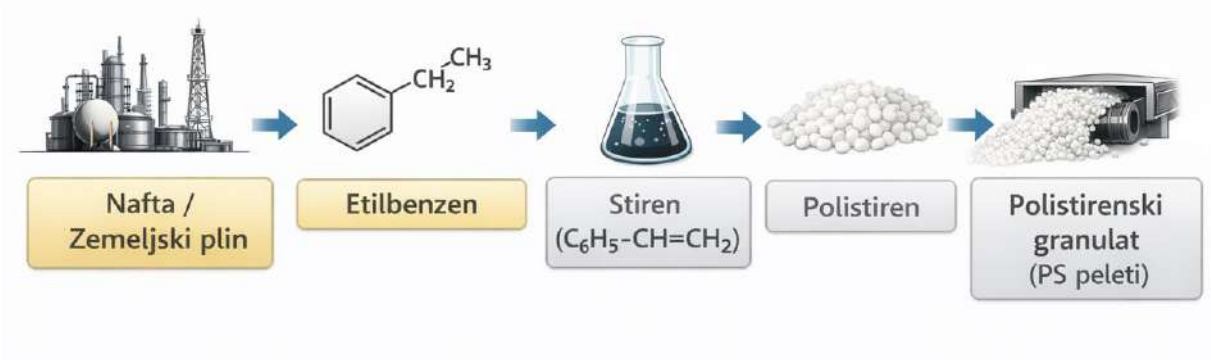
Tabela 1: Frakcije ekspandirane gline

Frakcija (mm)	Opis materiala	Glavna uporaba
0–5	drobni delci, majhni sekanci; pogosto industrijski stranski produkt	nadomestek peska za malte, raztopine in zasipavanje; cenovno ugodna alternativa klasičnemu pesku
5–10	najpogostejša frakcija z visoko nasipno gostoto	dodatek večjim frakcijam za zapolnjevanje praznin; uporaba v gradbeništvu in krajinskem oblikovanju
10–20	srednje velika frakcija z dobrimi drenažnimi lastnostmi	drenažni sloji za rastline, izolacija streh in podstrešij, izravnava streh ter tal
20–40	največja frakcija z nizko gostoto	proizvodnja lahkih betonov, toplotna izolacija pri debelejših izolacijskih slojih

Vir: (Vse, kar morate vedeti o ekspandirani glini, 2026)

3.4 *Značilnosti, pridobivanje in proizvodnja XPS*

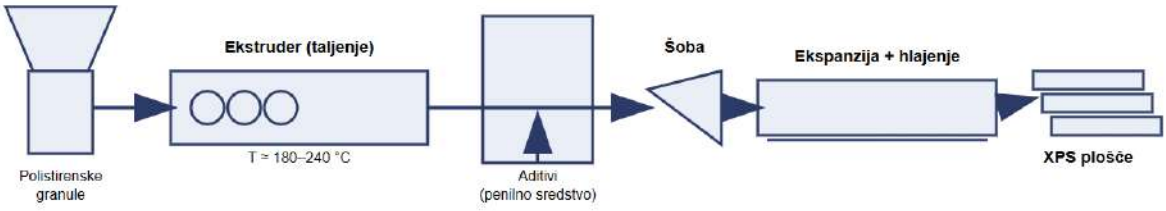
XPS je tog termoplastičen material, izdelan iz polistirena, sintetičnega polimera na osnovi naftnih derivatov (benzena in etilena). V gradbeništvu se uporablja kot toplotnoizolacijski material tako nad terenom (stene, strehe, podstrešja) kot tudi pod terenom (temelji, kleti), kjer zaradi zaprte celične strukture učinkovito zmanjšuje toplotne mostove in izboljšuje energijsko učinkovitost objektov.



Slika 10: Shematski prikaz pridobivanja polistirenskega granulata

Vir: Lastni vir

Proizvodnja XPS plošč temelji na postopku ekstrudiranja, pri katerem se polistirenske granule v ekstruderju segrejejo do taljenja, nato se jim dodajo različni aditivi, vključno s penilnim sredstvom in z barvili. Z nadzorovanim tlakom in s temperaturo se zmes iztisne skozi šobo, kjer se razširi, ohladi ter oblikuje v plošče standardnih dimenzij.



Slika 11: Industrijski proces proizvodnje XPS plošč

Vir: Lastni vir

Zaradi ekstrudiranega postopka ima XPS homogeno, zaprto celično strukturo brez praznin, kar mu zagotavlja visoko mehansko trdnost in nizko vodovpojnost. Toplotne lastnosti XPS so izražene z R-vrednostjo, ki znaša približno R-5 na 25 mm debeline. Zaradi enakomerne celične strukture XPS dolgo časa ohranja stabilne izolativne lastnosti, vendar se s časom lahko pojavijo

učinki staranja, saj penilni plini postopoma difundiranjo iz materiala, kar lahko nekoliko zmanjša dolgoročno toplotno učinkovitost. Kljub temu uporaba XPS bistveno prispeva k zmanjšanju porabe energije za ogrevanje in hlajenje stavb.

XPS ima visoko tlačno trdnost (običajno med 150 kPa in 400 kPa), dobro odpornost proti vlagi ter sposobnost zaviranja rasti plesni in mikroorganizmov. Je trajen material, kemično relativno inerten in odporen proti večini kislin ter baz, vendar občutljiv na nekatera organska topila. Zaradi visoke gostote je mehansko stabilen, vendar se lahko pri visokih temperaturah razteza in deformira.



Slika 12: XPS plošča

Vir: (fibran.si, 2026)

Z vidika trajnosti je XPS energijsko učinkovit in reciklabilen, saj se lahko ponovno stopi ter uporabi v proizvodnji novih izdelkov. Industrijski odpadki se praviloma v celoti vračajo v proizvodni proces. Kljub temu ima XPS tudi okolijske pomanjkljivosti, saj so nekateri penilni plini povezani z globalnim segrevanjem in s tanjšanjem ozonske plasti, barvila pa lahko predstavljajo okolijsko tveganje. Zaradi tega proizvajalci postopoma uvajajo okolju prijaznejše alternative, vendar te še niso splošno uveljavljene. (GEOFOAMINTL, 2020)

3.5 Primerjava osnovnih lastnosti ekspandirane gline in XPS

V sodobnem gradbeništvu se za toplotno izolacijo pogosto uporabljata ekspandirana glina in XPS. Oba materiala imata specifične fizikalne in kemijske lastnosti, ki določajo njuno primernost za različne aplikacije, vendar se med seboj bistveno razlikujeta glede gostote, vodoodpornosti, toplotne izolativnosti ter mehanskih karakteristik.

Za jasnejše razumevanje razlik med tema dvema materialoma je v spodnji tabeli prikazana primerjava osnovnih, fizikalnih in kemijskih lastnosti ekspandirane gline ter XPS plošč.

Na podlagi prikazane tabele je mogoče ovrednotiti prednosti in slabosti obeh materialov ter njuno primernost za specifične gradbene namene.

Tabela 2: Primerjava osnovnih, fizikalnih in kemijskih lastnosti ekspandirane gline ter XPS plošč

Lastnost	Ekspandirana glina	XPS plošče	Opombe
Osnovne lastnosti			
Prostorninska masa	300–800 kg/m³	25–45 kg/m³	XPS bistveno lažji od eksp. gline
Oblika	okrogla zrnca / granulat	plošče različnih dimenzij	eksp. glina kot agregat, XPS kot plošče
Barva	rjava do rdečkasta	bela	Barva vpliva na toplotno absorpcijo
Fizikalne lastnosti			
Toplotna prevodnost λ	0,09–0,16 W/m·K	0,029–0,038 W/m·K	XPS ima boljšo izolativnost
Tlačna trdnost	2–5 MPa	150–400 kPa	XPS plošče so šibkejše, primerne za izolacijo
Poroznost	porozna notranjost s trdno keramično lupino	zaprta celica	eksp. glina vpija vodo, XPS ima zelo nizko vpojnost
Odpornost na vlago	dobro (drenaža)	odlična	XPS stabilen tudi v vlažnih pogojih
Odpornost na ogenj	nevnetljivo	omejena (gorljivo)	XPS potrebuje dodatke za povečanje požarne odpornosti
Kemijske lastnosti			
Reaktivnost	neorganska, stabilna	organska, občutljiva na visoke T	eksp. glina ne reagira z alkalijami, XPS se lahko tali
Vpliv na okolje	naraven, recikliran	sintetičen, težje reciklirati	XPS je energetsko intenziven za proizvodnjo
Biološka odpornost	odporen na plesni/glive	odporen na plesni/glive	XPS odporen, a UV lahko povzroči degradacijo

Vir: (Laterlite, 2026) (fibran.si, 2026)

Tabela prikazuje primerjavo osnovnih fizikalnih, mehanskih in kemijskih lastnosti ekspandirane gline ter XPS-a. Ekspandirana glina je lahek anorganski agregat, katerega prostorninska masa je večja napram XPS, vendar bistveno manjša od prostorninske mase običajnega kamnitega agregata. Granule imajo porozno notranjost in trdno keramično zunanjo lupino, ki jim zagotavlja mehansko odpornost. Med posameznimi granulami se oblikujejo prazni prostori, ki omogočajo dobro odvajanje vode. XPS ima homogeno zaprto celično strukturo, majhno gostoto in zelo nizko vodovpojnost, zato ohranja svoje lastnosti tudi v vlažnem okolju.

Obravnavana materiala se najbolj razlikujeta po toplotni izolativnosti. Deklarirana toplotna prevodnost ekspandirane gline Laterlite Plus 8/20 znaša približno 0,095 W/(m·K), pri ploščah FIBRAN XPS 400-L, debeline 12 cm, pa 0,035 W/(m·K). XPS zato pri enaki debelini zagotavlja večjo toplotno upornost, pri ekspandirani glini pa je za doseganje primerljive toplotne zaščite potreben debelejši sloj.

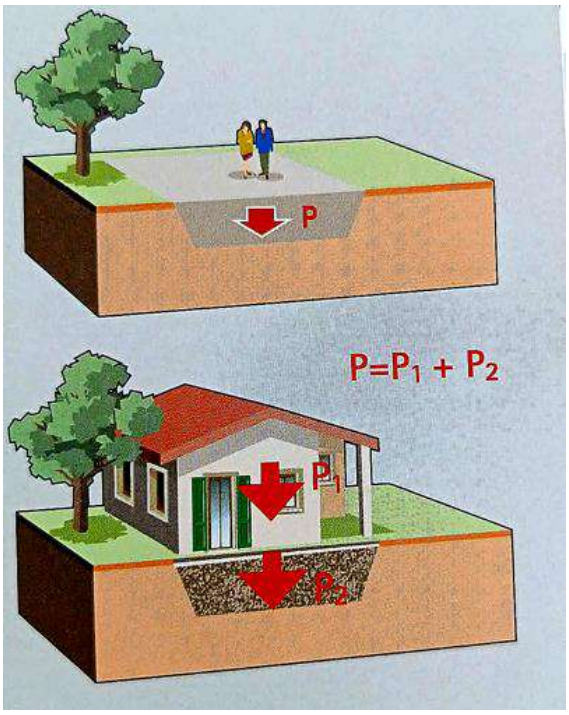
Mehanskih lastnosti obeh materialov ni mogoče neposredno primerjati samo na podlagi tlačne trdnosti, saj gre za različni obliki materiala in različne načine preskušanja. Pri XPS-u je pomembna deklarirana tlačna napetost plošče in njeno obnašanje pri dolgotrajni obremenitvi. Pri ekspandirani glini so pomembni odpornost granul proti drobljenju, debelina sloja, način vgradnje in nosilnost ter deformabilnost celotnega nasutja. Primernost posameznega materiala pod temeljno ploščo je zato treba presojati glede na zahteve konkretnega projekta.

Razlika je izrazita tudi pri odzivu na ogenj. Ekspandirana glina je mineralen in negorljiv material, razvrščen v požarni razred A1. XPS je organski polimerni material in je pri izdelku FIBRAN XPS 400-L razvrščen v požarni razred E. Oba materiala sta odporna proti plesnim in drugim biološkim vplivom, vendar je treba XPS med skladiščenjem ter vgradnjo zaščititi pred dolgotrajno izpostavljenostjo ultravijoličnemu sevanju, visokimi temperaturami in stikom z nekaterimi organskimi topili. (Laterlite, 2026) (fibran.si, 2026)

4 UPORABA IZBRANIH MATERIALOV POD TEMELJNIMI PLOŠČAMI

4.1 Zahteve za materiale pod temeljnimi ploščami

Nasutje pod temeljnimi ploščami, pogosto imenovano tudi tamponski ali izravnalni sloj, predstavlja konstrukcijski element med naravnimi tlemi in temeljno ploščo. Njegova osnovna funkcija je zagotoviti enakomeren prenos obremenitev na podlago, izboljšati geotehnične pogoje tal in omogočiti ustrezno izvedbo temeljne konstrukcije. Poleg mehanske stabilnosti nasutje pomembno vpliva tudi na regulacijo vlage, omejevanje kapilarnega dviga in zagotavljanje dolgoročne trajnosti objekta. Zahteve za material nasutja je treba obravnavati celovito, z vidika mehanskih, fizikalnih, hidrotehničnih, kemijskih in trajnostnih kriterijev, skladno z načeli geotehničnega projektiranja ter veljavnimi standardi.



Slika 13: Kompenzirani temelji

Vir: (LECA, 2026)

Material nasutja mora zagotavljati zadostno nosilnost za prenos stalnih in spremenljivih obremenitev ter omejevati skupne in diferencialne posedke, saj ti neposredno vplivajo na nastanek razpok ter funkcionalnost konstrukcije. Pomemben parameter je modul stisljivosti (E), ki opisuje deformacijsko obnašanje materiala pod obremenitvijo; višji modul pomeni manjše deformacije pri enaki obremenitvi. Zbitost in homogenost sloja sta ključna za stabilnost nasutja,

kar se običajno preverja s Proctorjevim preizkusom, s katerim določimo maksimalno suho gostoto. Nezadostno zgoščeno ali nehomogeno nasutje lahko povzroči sekundarno posedanje po izvedbi konstrukcije.



Slika 14: Naprava za izvedbo Proctorjevega preizkusa

Vir: (Proctor device, 2026)

Material mora imeti zadostno strižno trdnost, izraženo s kotom notranjega trenja in z morebitno kohezijo, kar zagotavlja stabilnost sloja ter preprečuje zdrs med plastmi in porušitev zaradi horizontalnih obremenitev. Granulometrija in sestava nasutja sta prav tako pomembni; grobozrnati materiali, kot so gramoz ali drobljenec, omogočajo učinkovito zgoščevanje in dobro drenažo, medtem ko lahko prevelik delež finih delcev zmanjša prepustnost ter poveča kapilarni dvig.

Koeficient prepustnosti (k) mora biti dovolj visok, da omogoča odvajanje infiltrirane in podtalne vode ter preprečuje nastanek hidrostatnega tlaka pod temeljno ploščo, saj nasičenost materiala zmanjšuje nosilnost in povečuje tveganje za posedanje. Nasutje mora biti odporno na cikle zmrzovanja in taljenja, še posebej v klimatskih območjih z negativnimi temperaturami, kjer lahko kapilarno aktivni fini delci povzročijo zmrzlinsko dvigovanje.

Kemijske in biološke lastnosti nasutja vključujejo odsotnost organskih primesi (humus, korenine, razgradljive snovi), ki bi lahko povzročile posedanje, ter kemično in biološko stabilnost, da se preprečijo reakcije z betonom ali drugimi konstrukcijskimi materiali. Material mora ohranjati stabilnost tudi pri dinamičnih obremenitvah, kot so potresi ali industrijski vplivi.

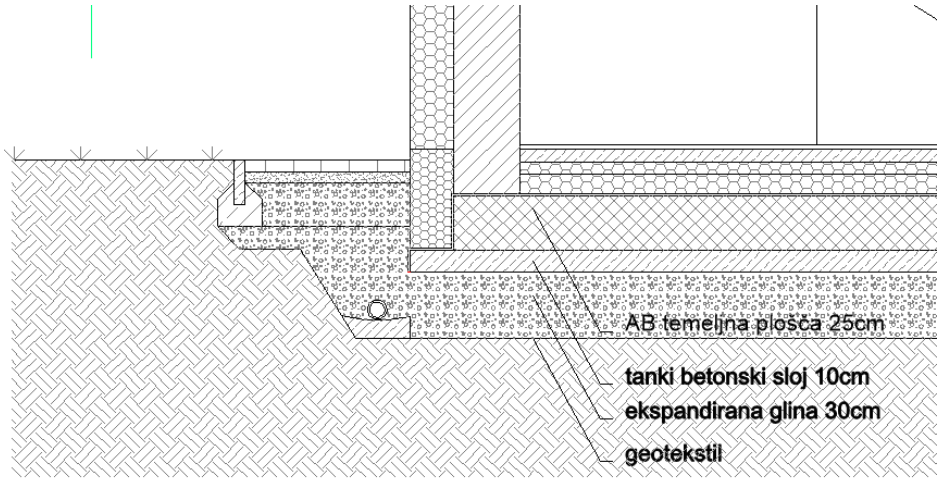
Izvedbene zahteve vključujejo enostavno razprostiranje, plastno vgrajevanje in mehansko zgoščevanje, pri čemer mora biti vsebnost vlage optimalna za dosego zahtevane gostote. Med izvedbo je potrebna kontrola kakovosti, ki zajema preverjanje zbitosti, kontrolo debeline sloja in preskuse nosilnosti, npr. ploščni preskus. (Beg & Pogačnik, 2009)

4.2 Uporaba ekspandirane gline kot nasutja pod temeljno ploščo

Ekspandirana glina se v praksi uporablja kot nasutje pod temeljno ploščo predvsem na območjih, kjer tradicionalna nasutja in klasični mineralni agregati ne zadostijo geotehničnim ali trajnostnim zahtevam. Vgradnja ekspandirane gline pod temeljno ploščo poteka kot kontroliran geotehnični postopek, katerega cilj je zagotoviti stabilno, drenažno in po potrebi toplotnoizolativno nosilno plast.

Pred začetkom vgradnje je treba izvesti izkop do projektirane globine in pripraviti osnovno temeljno podlago. Dno izkopa mora biti očiščeno organskih materialov, mehkih plasti in stoječe vode ter po potrebi izravnano in utrjeno. Na pripravljeno podlago se pogosto položi geotekstil, ki preprečuje mešanje zemljine z nasutjem in izboljšuje stabilnost sloja.

Ekspandirana glina se vgrajuje plastno. Material se razprostre v slojih, katerih debelina je odvisna od projektnih zahtev in načina zgoščevanja, običajno med približno 20 ter 40 cm. Vsak sloj se po razprostiranju rahlo izravna in mehansko zgosti, praviloma z vibracijsko ploščo ali lahkim valjarjem. Zaradi nizke gostote materiala zgoščevanje ne poteka z namenom bistvenega povečanja gostote, temveč predvsem za doseganje homogenosti in zmanjšanje kasnejših posedkov zaradi premikov zrn.



Slika 15: Detajl temeljne plošče z nasutjem iz ekspandirane gline

Vir: Lastni vir

Pri vgradnji ekspandirane gline kot nosilnega sloja pod temeljno ploščo se material praviloma ne stabilizira s cementnim mlekom ali z drugimi vezivi. Ekspandirana glina deluje kot zrnati geotehnični material, katerega stabilnost se zagotavlja predvsem z mehanskim razporejanjem in zgoščevanjem zrn. Med vibracijskim zgoščevanjem se zrna prerazporedijo v stabilnejšo konfiguracijo, s čimer se zmanjšajo praznine in poveča nosilnost sloja. Tako material doseže zadostno togost brez potrebe po kemičnem vezanju. Uporaba cementnih veziv bi lahko zmanjšala drenažno sposobnost sloja, povečala prostorninsko maso in poslabšala toplotnoizolativne lastnosti, zato se uporablja le v posebnih projektantskih primerih, ko je potrebna dodatna stabilizacija ali površinska togost.

Med vgradnjo je treba nenehno preverjati debelino slojev, ravnost površine in enakomernost razporeditve materiala. Pri večjih debelinah nasutja se postopek plastnega nasipavanja in zgoščevanja ponavlja do dosega projektirane višine. Končna površina sloja mora biti izravnana in stabilna, saj predstavlja neposredno podlago za nadaljnje konstrukcijske sloje.



Slika 16: Izravnava ekspandirane gline

Vir: (LECA, 2026)

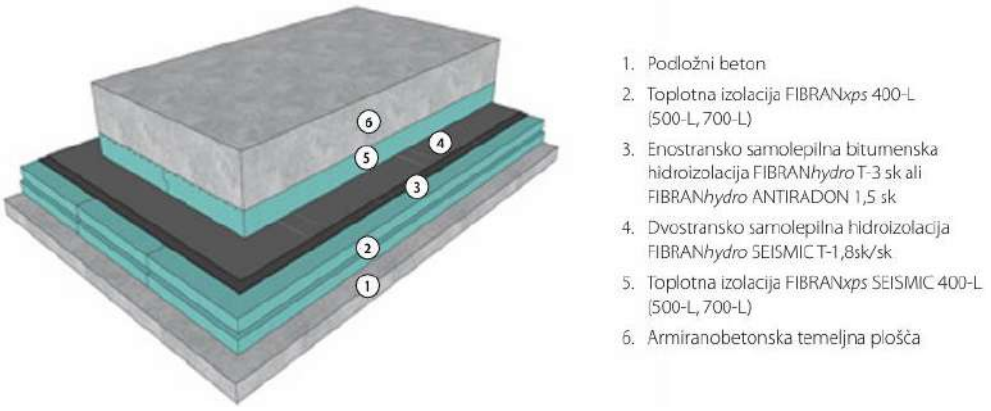
Po izvedbi nasutja se na zgornjo površino ekspandirane gline običajno položi ločilni ali zaščitni sloj, na primer geotekstil, izravnalni pesek, tanki betonski sloj ali stabilizirana mešanica, odvisno od projektne rešitve. Ta sloj omogoča enakomerno porazdelitev obremenitev in zagotavlja stabilno podlago za hidroizolacijo, toplotno izolacijo ali neposredno za armiranobetonsko temeljno ploščo. (LECA, 2026)

4.3 Uporaba XPS plošč pod temeljno ploščo

XPS plošče so trde, zaprto-celične toplotnoizolacijske plošče, ki se v sodobnem gradbeništvu pogosto uporabljajo pod temeljnimi ploščami. Njihova uporaba je posebej primerna pri plitvih temeljih, kjer je potrebna kombinacija mehanske podpore, omejitve posedanja in toplotne izolacije. XPS plošče omogočajo enakomeren prenos obremenitev na naravno podlago, hkrati pa preprečujejo kapilarni dvig in zadrževanje vlage pod temelji. Dolgoročne izkušnje kažejo, da XPS ohranja svoje tlačne lastnosti in stabilnost več desetletij, če je vgradnja izvedena strokovno, z ustrezno pripravljeno podlago, s tesnim polaganjem plošč ter z zaščito pred mehanskimi poškodbami in vlago.

Pri vgradnji plošč XPS pod temeljno ploščo je ključnega pomena skrbna priprava podlage. Temeljna tla morajo biti očiščena humusa, korenin in drugih organskih snovi ter ustrezno izravnana in zgoščena. Na pripravljeno kamnito nasutje se izvede sloj podložnega betona, ki zagotavlja ravno, čisto in stabilno površino za nadaljnje polaganje izolacije. Po potrebi se na podložni beton najprej izvede hidroizolacija, nato se nanj tesno polagajo plošče XPS, običajno z zamaknjenimi stiki.

Pri izbiri debeline in vrste plošč je treba upoštevati predvidene tlačne obremenitve, saj mora material dolgoročno ohraniti svoje mehanske lastnosti brez prekomernih deformacij. Plošče morajo biti po celotni površini enakomerno podprte, stiki med njimi pa čim bolj tesni. Pred izdelavo armiranobetonske temeljne plošče se izolacija ustrezno zaščiti pred mehanskimi poškodbami in premikanjem. Med izvedbo je treba nadzorovati ravnost podlage, kakovost podložnega betona, pravilno izvedbo hidroizolacije, debelino izolacije in tesnost stikov med ploščami, saj ti dejavniki vplivajo na enakomeren prenos obremenitev ter dolgoročno stabilnost in funkcionalnost temeljenja. (Jelušič, julij 2021)



Slika 17: Detajl prikaza polaganja XPS plošč

Vir: (fibran.si, 2026)

4.4 Primerjava prednosti in slabosti uporabe ekspandirane gline ter XPS plošč

Ekspandirana glina in XPS plošče imajo različne prednosti ter omejitve, ki jih je treba upoštevati pri načrtovanju nasutja pod temeljnimi ploščami. Ekspandirana glina predstavlja mineralen, porozen material z majhno prostorninsko maso, ki zmanjšuje vertikalne napetosti na temeljna tla in s tem omejuje posedanje konstrukcije, kar je posebej pomembno na slabše nosilnih ali kompresibilnih tleh. Zaradi grobe strukture omogoča učinkovito drenažo, omejuje kapilarni transport vlage in hkrati prispeva k toplotni zaščiti temeljev. Poleg tega je material kemično in biološko inerten, kar zagotavlja dolgoročno stabilnost brez razgradnje. Vendar ima ekspandirana glina nižjo tlačno trdnost in modul deformacije kot nekateri drugi materiali, zato pogosto zahteva večjo debelino sloja ter skrbno plastno vgradnjo z mehanskim zgoščevanjem. Groba struktura nasutja običajno zahteva tudi dodatni izravnalni ali stabilizacijski sloj pred betoniranjem, kakovost izvedbe pa pomembno vpliva na končno stabilnost konstrukcije.

XPS plošče na drugi strani predstavljajo industrijsko proizveden, homogeno strukturiran material z zaprto celično strukturo, ki zagotavlja zelo nizko vpojnost vode. Zaradi zelo dobre toplotne izolativnosti omogočajo doseganje zahtevanih energetskih lastnosti pri bistveno manjših debelinah sloja kot mineralni nasipi. Mehanske lastnosti XPS-a so deklarirane in kontrolirane v proizvodnji, zato niso odvisne od stopnje zgoščevanja na gradbišču, kar omogoča enostavnejšo ter hitrejšo vgradnjo in enakomeren prenos obremenitev na podlago. Kljub temu XPS ne zagotavlja drenažne funkcije in zahteva zelo ravno, homogeno pripravljeno podlago ter zaščito pred mehanskimi poškodbami med gradnjo. Kot sintetični material je tudi gorljiv in lahko reagira z določenimi topili, zato mora biti v konstrukciji ustrezno zaščiten.

Na splošno lahko ugotovimo, da ekspandirana glina predstavlja bolj geotehnično prilagodljivo rešitev, ki poleg nosilnosti zagotavlja tudi drenažo in zmanjšanje obremenitve tal, medtem ko XPS ponuja izrazito boljše toplotnoizolacijske lastnosti ter hitrejšo in bolj kontrolirano vgradnjo, vendar zahteva dodatno drenažno rešitev ter natančno pripravljeno podlago. Izbira materiala je zato odvisna predvsem od geotehničnih razmer, projektnih obremenitev, zahtevane toplotne zaščite in izvedbenih pogojev na gradbišču. (Jelušič, julij 2021)

Tabela 3: Primerjava prednosti in slabosti ekspandirane gline ter XPS plošč

	Prednosti	**Slabosti**
Ekspandirana glina	• dobra drenažna sposobnost; • minimalen kapilarni dvig; • odpornost proti zmrzovanju; • kemično in biološko inertna; • primerna za sanacije in slabo nosilna tla; • manj občutljiva na mehanske poškodbe med gradnjo.	• ni izrazit toplotni izolator (posledično potrebnih več slojev za zagotavljanje dobre toplotne izolativnosti); • zahteva plastno vgradnjo in zgoščevanje; • možnost neenakomernega posedanja ob slabi izvedbi; • večja debelina sloja za doseganje zahtevane nosilnosti.
XPS plošče	• odlična toplotna izolacija; • zelo nizka absorpcija vode; • enostavna in hitra vgradnja; • enakomerna in kontrolirana debelina sloja; • dobra tlačna trdnost pri ustrezni izbiri tipa.	• slabša drenažna sposobnost (potreben dodaten drenažni sloj); • občutljivost na mehanske poškodbe; • občutljivost na UV-sevanje med gradnjo; • potencialne večje deformacije pri dolgotrajnih obremenitvah; • sintetični material (okolijski vidik).

Vir: (fibran.si, 2026) (Laterlite, 2026)

5 PRIMERJALNA ANALIZA EKSPANDIRANE GLINE IN XPS-A POD TEMELJNIMI PLOŠČAMI

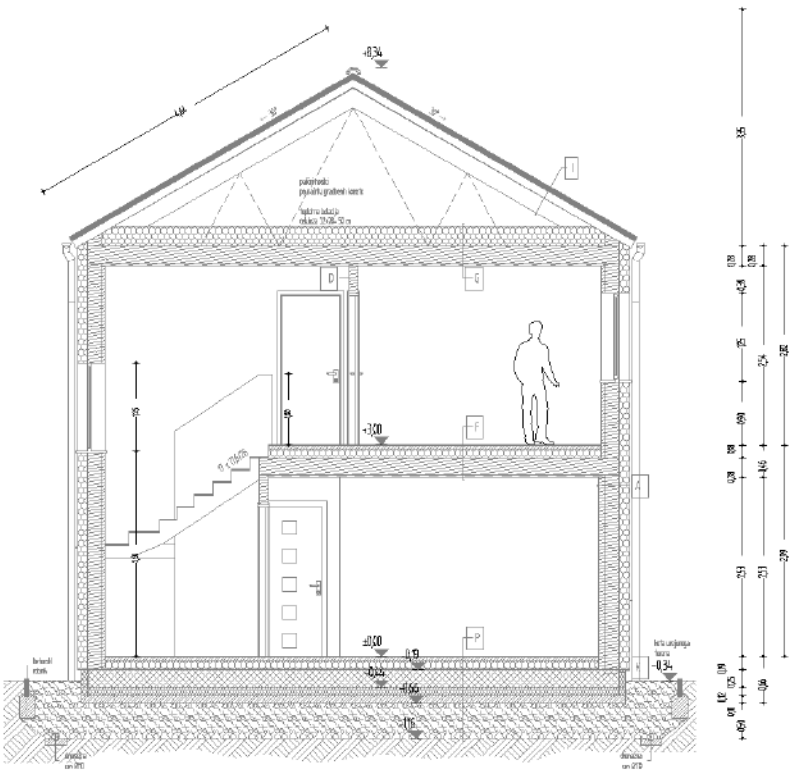
Izbira materiala za nasutje pod temeljno ploščo predstavlja pomemben projektantski vidik, saj ne vpliva zgolj na mehansko delovanje konstrukcije, temveč tudi na ekonomsko učinkovitost, trajnost in posredno dostopnost gradnje v celotnem življenjskem ciklu objekta. Ekspandirana glina in XPS predstavljata dva konceptualno različna pristopa k reševanju temeljnega sloja: prvi temelji na uporabi lahkega mineralnega agregata, drugi pa na sintetičnem toplotnoizolacijskem materialu z nosilnimi lastnostmi.

5.1 Predstavitev obravnavanega objekta

Za primerjalno analizo mehanskih in toplotnih lastnosti ekspandirane gline ter XPS-a sem izbral konkreten primer montažnega enostanovanjskega objekta na območju Občine Ruše. Objekt je zasnovan kot dvoetažna stanovanjska stavba s pritličjem in z nadstropjem.

Podatki o obravnavanem objektu so povzeti iz projektne dokumentacije za izvedbo gradnje, ki mi jo je za potrebe izdelave diplomskega dela posredovalo podjetje Probit, d.o.o., pri katerem sem pri obravnavanem projektu sodeloval kot podizvajalec. Uporabljena dokumentacija vključuje načrt arhitekture, načrt gradbenih konstrukcij s statičnim izračunom, tehnične prikaze, popis gradbeno-obrtniških del in geološko-geomehansko poročilo. Zaradi varovanja avtorskih pravic in osebnih podatkov originalni projektni načrti v diplomskem delu niso reproducirani. Na njihovi podlagi so izdelani lastni poenostavljeni prikazi, ki vsebujejo samo podatke, potrebne za izvedbo teoretične primerjave.

Objekt je zasnovan kot dvoetažna stanovanjska stavba s pritličjem in z nadstropjem. Njeno nosilno konstrukcijo sestavljajo leseni okvirno-panelni stenski in stropni elementi ter lesena strešna konstrukcija. Objekt je plitvo temeljen na armiranobetonski temeljni plošči, debeline 25 cm. Plošča je izdelana iz betona trdnostnega razreda C25/30 in armirana z armaturnimi mrežami ter s palicami, kakovosti B 500 B. Njena površina znaša približno 80,10 m². Ob glavnem delu objekta je predviden tudi vhodni podest z armiranobetonsko ploščo, debeline 20 cm, in s površino približno 2,90 m².



Slika 18: Prerez obravnavnega stanovanjskega objekta

Vir: (Probit, 2026)

Pod temeljno ploščo je v projektirani sestavi predvidena nosilna toplotna izolacija FIBRAN XPS 400-L, debeline 12 cm. Pod njo je izveden podložni beton, debeline 10 cm, ki leži na najmanj 50 cm debelem sloju ustrezno zgoščenega nosilnega nasutja. Med nasutjem in temeljnimi tlemi je predviden geotekstil, ki preprečuje mešanje nasipnega materiala z obstoječo zemljino. Projektirana sestava z nosilno izolacijo FIBRAN XPS 400-L bo v nadaljevanju primerjana z alternativno izvedbo z ekspandirano glino Laterlite Plus 8/20. Pri primerjavi bodo obravnavane toplotna prevodnost, toplotna upornost, potrebna debelina sloja, lastna teža, tlačna obremenitev in pričakovane deformacije.

5.2 Mehanske in toplotne lastnosti ekspandirane gline ter XPS

Pri obravnavanem stanovanjskem objektu je predvideno temeljenje na armiranobetonski temeljni plošči, debeline 25 cm in površine 80,10 m². Pod temeljno ploščo je projektirana toplotna izolacija FIBRAN XPS 400-L, debeline 12 cm. Pod izolacijo sta predvidena še podložni beton, debeline 10 cm, in najmanj 50 cm zgoščenega kamnitega nasutja.

V statičnem izračunu je ugotovljeno, da največja računska napetost pod temeljno ploščo znaša 62 kPa. Geomehansko poročilo hkrati zahteva, da je na končnem planumu dosežen deformacijski modul E_{v2}najmanj 80 MPa.

Podatki o objektu so povzeti iz projektne dokumentacije podjetja Probit, d.o.o., podatki o lastnostih materialov pa iz tehničnih listov proizvajalcev FIBRAN in Laterlite.

5.2.1 Mehanske lastnosti

FIBRAN XPS 400-L je trdna toplotnoizolacijska plošča, namenjena tudi uporabi pod temeljnimi ploščami. Njena tlačna napetost pri 10-odstotni deformaciji znaša 400 kPa, dovoljena dolgotrajna tlačna napetost pa 155 kPa.

Največja računska napetost pod temeljno ploščo obravnavanega objekta znaša 62 kPa. Ta vrednost je manjša od dovoljene dolgotrajne tlačne napetosti XPS-a. Njegova dolgotrajna tlačna odpornost je tako izkoriščena približno 40-odstotno.

Na podlagi primerjave projektne obremenitve in tehničnih lastnosti materiala lahko ugotovimo, da je FIBRAN XPS 400-L mehansko primeren za uporabo pod temeljno ploščo obravnavanega objekta.

Laterlite Plus 8/20 je ekspandirana glina z velikostjo granul od 8 do 20 mm. Njena nasipna gostota znaša približno 320 kg/m³, zato je bistveno lažja od običajnega gramoznega nasutja. Odpornost posameznih granul proti drobljenju znaša najmanj 1,0 N/mm².

Mehanskih lastnosti ekspandirane gline ni mogoče neposredno primerjati z lastnostmi XPS-a. XPS je vgrajen v obliki trdnih plošč, ekspandirana glina pa kot zrnato nasutje. Njena nosilnost je zato odvisna predvsem od načina vgradnje, debeline sloja in dosežene zgoščenosti.

Tehnični list Laterlite Plus 8/20 ne potrjuje, da bi samostojen sloj ekspandirane gline dosegal deformacijski modul E_{v2}najmanj 80 MPa, kot ga zahteva projektna dokumentacija. Pri uporabi

ekspandirane gline bi bilo zato treba predvideti ustrezen nosilni sloj in doseženo nosilnost preveriti z meritvami na gradbišču.

5.2.2 Toplotne lastnosti

Toplotna prevodnost FIBRAN XPS 400-L znaša 0,035 W/(m·K), toplotna prevodnost ekspandirane gline Laterlite Plus 8/20 pa 0,095 W/(m·K). Nižja vrednost pomeni boljšo toplotno izolativnost, zato je XPS pri enaki debelini boljši toplotni izolator.

Toplotna upornost posameznega sloja se izračuna po enačbi:

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

kjer je:

– R – toplotna upornost sloja ($\mathrm{m^2K/W}$),

– d – debelina sloja (m),

– λ – toplotna prevodnost materiala ($\mathrm{W/(mK)}$).

Pri obravnavanem objektu je predviden FIBRAN XPS 400-L, debeline 12 cm. Njegova toplotna upornost znaša:

$$R_{\mathrm{XPS}} = \frac{0{,}12}{0{,}035} = 3{,}43\ \mathrm{m^2K/W}$$

Proizvajalec zaradi standardiziranega zaokroževanja za izbrano debelino deklarira vrednost 3,40 m²K/W, zato je v nadaljevanju uporabljena deklarirana vrednost.

Če bi bila ekspandirana glina prav tako vgrajena z debelino 12 cm, bi njena toplotna upornost znašala:

$$R_{\mathrm{eksp.\ glina}} = \frac{0{,}12}{0{,}095} = 1{,}26\ \mathrm{m^2K/W}$$

Primerjava kaže, da ima XPS pri enaki debelini približno 2,7-krat večjo toplotno upornost kot ekspandirana glina.

Za določitev potrebne debeline ekspandirane gline enačbo preoblikujemo:

$$d = R \cdot \lambda$$

Pri zahtevani toplotni upornosti 3,40 m²K/W znaša potrebna debelina ekspandirane gline:

$$d_{eksp.\ glina} = 3{,}40 \cdot 0{,}095 = 0{,}323\ \text{m}$$

Za doseganje enake toplotne upornosti, kot jo pri obravnavanem objektu zagotavlja 12 cm XPS-a, bi bilo treba vgraditi približno:

$$\boxed{d_{\text{eksp. glina}} = 32{,}3\ \text{cm}}$$

Sloj ekspandirane gline bi bil tako približno 20,3 cm debelejši od projektiranega sloja XPS-a.

Za doseganje enake toplotne zaščite, kot jo pri obravnavanem objektu zagotavlja 12 cm XPS-a, bi bilo treba vgraditi približno 32,3 cm ekspandirane gline. Sloj ekspandirane gline bi bil torej približno 20,3 cm debelejši od projektiranega sloja XPS-a.

Tabela 4: Primerjava toplotnih lastnosti materialov na obravnavanem objektu

Lastnost	**FIBRAN XPS 400-L**	**Laterlite Plus 8/20**
Toplotna prevodnost, λ	0,035 W/(m·K)	0,095 W/(m·K)
Potrebna debelina sloja	12,0 cm	32,3 cm
Toplotna upornost, R	3,40 m²K/W	3,40 m²K/W
Površina temeljne plošče	80,10 m²	80,10 m²
Potrebna prostornina materiala	9,61 m³	25,87 m³

Vir: (fibran.si, 2026) (Laterlite, 2026)

5.2.3 Časovna primerjava izvedbe temeljenja

Časovna primerjava je izdelana za projektirano izvedbo z nosilno toplotno izolacijo FIBRAN XPS 400-L in dve alternativni izvedbi z ekspandirano glino Laterlite Plus 8/20. Pri prvi alternativi se del kamnitega nasutja ohrani, pri drugi pa ekspandirana glina v celoti nadomesti gramozno nasutje in XPS. Ocena zajema dela od začetka izkopa do končanega betoniranja armiranobetonske temeljne plošče.

Pri vseh različicah je predpostavljeno, da temeljna tla po končanem izkopu ustrezajo zahtevam geomehanskega poročila. Dodatne sanacije tal, ponovne meritve, neugodne vremenske razmere in čakanje na dobavo materiala niso vključeni. Dela potekajo v običajnem osemurnem delovniku. Čas nadaljnjega zorenja temeljne plošče ni upoštevan, saj je pri vseh različicah enak.

Pri alternativnih izvedbah je predpostavljeno, da podložni beton ni potreben. Zgornjih 10 cm nasutja iz ekspandirane gline se stabilizira s cementnim mlekom, s čimer se pripravi utrjena in izravnana površina za izdelavo armiranobetonske temeljne plošče. Gre za teoretični rešitvi, uporabljeni za primerjavo časa izvedbe. Pred dejansko uporabo bi moral ustreznost sestave potrditi projektant gradbenih konstrukcij in geomehanik.

Projektirana izvedba z XPS-om

Projektirana izvedba obsega izkop in pripravo temeljnih tal, polaganje geotekstila, izvedbo gramoznega nasutja ter podložnega betona, polaganje XPS-a in izdelavo armiranobetonske temeljne plošče.

Po popisu del je treba odstraniti 36,35 m³ humusa in izvesti 54,00 m³ širokega izkopa. Po končanem izkopu se dno poravna in utrdi na površini 135 m². Za izkop in pripravo dna je predviden en delovni dan.

Na pripravljeno dno se položi 148,50 m² geotekstila, nato se vgradi 86,82 m³ gramoznega nasutja. Ker se material vgrajuje, izravnava in zgoščuje v več plasteh, sta za to fazo predvidena dva delovna dneva.

Po končanem nasutju se izvede 10 cm debel podložni beton v količini 8,67 m³. Betoniranje se izvede v enem dnevu, pred polaganjem XPS-a se upošteva še en dan tehnološkega premora.

Na podložni beton se položi 80,10 m² plošč FIBRAN XPS 400-L, debeline 12 cm. Polaganje, rezanje ob robovih in prebojih ter kontrola stikov se izvedejo v enem delovnem dnevu.

Po položitvi XPS-a se izdela opaž roba temeljne plošče in položi 722 kg armaturnih palic ter 1582 kg armaturnih mrež. Za opaž in armiranje sta predvidena dva delovna dneva. Betoniranje 20,03 m³ temeljne plošče in 0,58 m³ vhodnega podesta se izvede v enem dnevu.

Skupen čas projektirane izvedbe od začetka izkopa do končanega betoniranja temeljne plošče je ocenjen na približno devet delovnih dni.

Kombinirana izvedba s kamnitim nasutjem in z ekspandirano glino

Pri kombinirani izvedbi XPS ni predviden. Njegovo toplotnoizolacijsko funkcijo prevzame približno 32,3 cm debel sloj ekspandirane gline Laterlite Plus 8/20. Da se ohrani enaka višinska kota temeljne plošče, ekspandirana glina nadomesti 12 cm XPS-a in približno 20,3 cm zgornjega dela klasičnega nasutja. Pod ekspandirano glino ostane nosilni sloj zgoščenega kamnitega nasutja.

Izkop, planiranje in utrjevanje dna se izvedejo enako kot pri projektirani različici, zato je za to fazo predviden en delovni dan. Na pripravljeno dno se nato položi geotekstil in izvede zmanjšani spodnji sloj nosilnega kamnitega nasutja. Za njegovo razprostiranje in zgoščevanje je predviden en delovni dan.

Na nosilno podlago se vgradi približno 25,87 m³ ekspandirane gline. Material se s cisterno pnevmatsko prečrpa na mesto vgradnje, nato pa razprostre in izravna. Zgornjih 10 cm se stabilizira s cementnim mlekom. Za vgradnjo ekspandirane gline in izvedbo stabiliziranega zgornjega sloja je predviden en delovni dan.

Ker podložni beton in XPS nista predvidena, po pripravi stabilizirane površine sledi izdelava opaža ter polaganje armature. Količina armature in betona ostane enaka kot pri projektirani izvedbi. Za opaž in armiranje sta predvidena dva delovna dneva, za betoniranje temeljne plošče pa en delovni dan.

Skupen čas kombinirane izvedbe je ocenjen na približno šest delovnih dni.

Izvedba s popolno zamenjavo nasutja z ekspandirano glino

Pri drugi alternativni izvedbi se z ekspandirano glino nadomestita celotno gramozno nasutje iz popisa in 12 cm debel sloj XPS-a. Potrebna teoretična količina ekspandirane gline znaša približno 96,43 m³, pri naročilu bi bilo zaradi izgub in posedanja smiselno upoštevati dodatno rezervo.

Izkop, planiranje in utrjevanje dna se izvedejo enako kot pri drugih različicah, zato je za to fazo predviden en delovni dan. Na pripravljeno dno se položi geotekstil, nato se ekspandirana glina s cisternami pnevmatsko prečrpa neposredno na mesto vgradnje.

Pri zmogljivosti črpanja približno 40 m³/h traja samo črpanje celotne količine manj kot tri ure. Ob predpostavki usklajenih dobav se lahko geotekstil, pnevmatsko črpanje, razprostiranje, izravnava in stabilizacija zgornjega sloja izvedejo v enem delovnem dnevu.

Po končani stabilizaciji sledita izdelava opaža in polaganje armature, za kar sta predvidena dva delovna dneva. Betoniranje temeljne plošče se izvede v enem dnevu. Skupen čas izvedbe s popolno zamenjavo nasutja z ekspandirano glino je zato ocenjen na približno pet delovnih dni.

Tabela 5: Primerjava ocenjenega časa izvedbe temeljenja

Faza izvedbe	**Projektirana izvedba z XPS-om**	**Kombinirana izvedba**	**Popolna izvedba z ekspandirano glino**
Izkop, planiranje in utrjevanje dna	1 dan	1 dan	1 dan
Geotekstil in kamnito nasutje	2 dni	1 dan	–
Podložni beton	1 dan	–	–
Tehnološki premor	1 dan	–	–
Polaganje XPS-a	1 dan	–	–
Geotekstil, ekspandirana glina in stabilizacija	–	1 dan[1]	1 dan
Opaž in armiranje temeljne plošče	2 dni	2 dni	2 dni
Betoniranje temeljne plošče	1 dan	1 dan	1 dan
Skupaj	**9 delovnih dni**	**6 delovnih dni**	**5 delovnih dni**

Vir: Lastni vir

[1] Pri kombinirani izvedbi je geotekstil položen pred spodnjim kamnitim nasutjem in v tej fazi časovno zajet. En dan v preglednici predstavlja vgradnjo ekspandirane gline in njeno stabilizacijo.

Primerjava rezultatov

Projektirana izvedba z XPS-om bi po izdelani oceni trajala približno devet delovnih dni. Kombinirana izvedba s kamnitim nasutjem in z ekspandirano glino bi trajala približno šest

delovnih dni, izvedba s popolno zamenjavo nasutja z ekspandirano glino pa približno pet delovnih dni.

Kombinirana izvedba bi bila od projektirane izvedbe hitrejša za približno tri delovne dni oziroma za eno tretjino. Čas se skrajša zaradi manjše količine klasičnega kamnitega nasutja, hitre pnevmatske vgradnje ekspandirane gline in opustitve podložnega betona, tehnološkega premora ter polaganja XPS-a.

Izvedba s popolno zamenjavo nasutja z ekspandirano glino bi bila od projektirane izvedbe hitrejša za približno štiri delovne dni. V primerjavi s kombinirano izvedbo bi se čas skrajšal še za približno en dan, ker odpade razprostiranje in zgoščevanje spodnjega kamnitega nasutja.

Najhitrejša je torej izvedba s popolno zamenjavo nasutja z ekspandirano glino. Vendar čas izvedbe ni edino merilo za izbiro rešitve. Upoštevati je treba tudi stroške, nosilnost podlage, pričakovane posedke in tehnično upravičenost sestave.

5.2.4 Stroškovna primerjava obravnavanih načinov izvedbe temeljenja

Stroškovna primerjava je izdelana za tri načine izvedbe temeljenja. Prva možnost predstavlja projektirano izvedbo z gramoznim nasutjem, s podložnim betonom in ploščami FIBRAN XPS 400-L. Pri drugi, kombinirani izvedbi se del kamnitega nasutja ohrani, XPS in zgornji del nasutja pa se nadomestita z ekspandirano glino Laterlite Plus 8/20. Pri tretji, teoretični izvedbi, se z ekspandirano glino nadomestita celotno gramozno nasutje in XPS.

Količine zemeljskih, betonskih, tesarskih in armiraških del so povzete iz projektnega popisa del, pridobljenega od podjetja Probit, d.o.o. Ker popis ne vsebuje izpolnjenih enotnih cen, so bile za izračun uporabljene javno dostopne cene materialov in orientacijsko ocenjene cene izvedbe. Rezultati zato predstavljajo primerjalni stroškovni model in ne ponudbenega predračuna.

Pri vseh možnostih so upoštevani odstranitev humusa, široki izkop, planiranje in utrjevanje dna, geotekstil, izdelava armiranobetonske temeljne plošče, armatura ter opaževanje.

Tabela 6: Podrobna stroškovna primerjava treh načinov izvedbe temeljenja

	Enota	Projektirana izvedba z XPS-om	Kombinirana izvedba	Popolna izvedba z ekspandirano glino	Enotna cena	Strošek – XPS	Strošek – kombinirana	Strošek – samo glina
Odstranitev humusa	m³	36,cc35	36,35	36,35	8,00 €	290,80 €	290,80 €	290,80 €
Široki izkop	m³	54	54	54	12,00 €	648,00 €	648,00 €	648,00 €
Planiranje dna izkopa	m²	135	135	135	2,50 €	337,50 €	337,50 €	337,50 €
Utrjevanje dna izkopa	m²	135	135	135	3,50 €	472,50 €	472,50 €	472,50 €
Dobava in polaganje geotekstila	m²	148,5	148,5	148,5	3,50 €	519,75 €	519,75 €	519,75 €
Kamnito nasutje z vgradnjo	m³	86,82	70,56	–	45,00 €	3.906,90 €	3.175,20 €	–
Podložni beton C12/15	m³	8,67	–	–	140,00 €	1.213,80 €	–	–
FIBRAN XPS 400-L, 12 cm	m²	80,1	–	–	32,00 €	2.563,20 €	–	–
Laterlite Plus 8/20 z 10 % rezerve	m³	–	28,46	106,08	70,00 €	–	1.992,20 €	7.425,60 €
Prevoz in pnevmatsko črpanje gline	dobava	–	1	2	500,00 €	–	500,00 €	1.000,00 €
Razprostiranje in stabilizacija s cementnim mlekom	komplet	–	1	1	ocena 400 €	–	400,00 €	400,00 €
Beton C25/30 za ploščo in podest	m³	20,61	20,61	20,61	150,00 €	3.091,50 €	3.091,50 €	3.091,50 €
Armaturne palice in mreže	kg	2.304	2.304	2.304	2,20 €	5.068,80 €	5.068,80 €	5.068,80 €
Opaž roba temeljne plošče	m²	23,5	23,5	23,5	40,00 €	940,00 €	940,00 €	940,00 €
Opaž prehodov skozi ploščo	kos	18	18	18	20,00 €	360,00 €	360,00 €	360,00 €
Štiričlanska delovna ekipa	del. ura	288	192	160	20,00 €	5.760,00 €	3.840,00 €	3.200,00 €
Skupni ocenjeni strošek						**25.172,75 €**	**21.636,25 €**	**23.754,45 €**

Vir: Lasti vir

Opomba: Pri strošku dela je upoštevana ekipa štirih delavcev, osemurni delovnik in cena 20 €/h na delavca. Izračun je poenostavljen, saj je del izvedbe že zajet v nekaterih orientacijskih enotnih cenah, zato ne predstavlja ponudbenega predračuna. Vir: Lastni vir

Izhodišča stroškovne analize

Pri projektirani izvedbi je upoštevano 86,82 m³ kamnitega nasutja, 8,67 m³ podložnega betona in 80,10 m² plošč FIBRAN XPS 400-L, debeline 12 cm.

Pri kombinirani izvedbi se količina kamnitega nasutja zmanjša na 70,56 m³. Ekspandirana glina nadomesti 12 cm XPS-a in približno 20,3 cm zgornjega dela nasutja. Osnovna potrebna količina ekspandirane gline znaša 25,87 m³. Z upoštevanjem 10-odstotne rezerve zaradi izgub, prilagoditev ob robovih in morebitnega posedanja znaša obračunska količina 28,46 m³.

Pri popolni izvedbi z ekspandirano glino se nadomesti celotnih 86,82 m³ kamnitega nasutja in prostornina 12 cm XPS-a. Skupna teoretična količina ekspandirane gline znaša 96,43 m³, z upoštevanjem 10-odstotne rezerve pa 106,08 m³.

Za ekspandirano glino je uporabljena cena 70 €/m³, pridobljena neposredno od podjetja Laterlite. Cena vključuje material, strošek prevoza in pnevmatskega črpanja pa je prikazan ločeno. Pri kombinirani izvedbi je predvidena ena dobava v vrednosti 500 €, pri popolni izvedbi pa dve dobavi v skupni vrednosti 1000 €. Razprostiranje materiala in stabilizacija zgornjega sloja s cementnim mlekom sta pri obeh možnostih ocenjena na 400 €.

Upoštevanje stroška delovne ekipe

V poenostavljeni primerjavi je upoštevana stalna ekipa štirih delavcev, osemurni delovnik in ocenjeni strošek 20 €/h na delavca. Dnevni strošek štiričlanske ekipe tako znaša:

$$4 \times 8 \times 20 = 640\ €/\text{dan}$$

Projektirana izvedba z XPS-om po časovni oceni traja devet delovnih dni, zato strošek ekipe znaša 5760 €. Kombinirana izvedba traja šest dni, kar predstavlja 3840 € stroška dela. Popolna izvedba z ekspandirano glino traja pet dni, zato je strošek ekipe ocenjen na 3200 €.

Rezultati stroškovne primerjave

Kot je razvidno iz preglednice, znaša ocenjeni strošek projektirane izvedbe pred ločenim upoštevanjem štiričlanske ekipe 19 412,75 €. Po prištetem strošku ekipe v višini 5760 € znaša skupna ocenjena vrednost 25 172,75 €.

Kombinirana izvedba ima osnovni ocenjeni strošek 17 796,25 €. Zaradi krajšega časa izvedbe znaša strošek štiričlanske ekipe 3840 €, skupna ocenjena vrednost pa 21 636,25 €. V primerjavi s projektirano izvedbo je kombinirana možnost cenejša za:

$$25\ \ 172{,}75\ € - 21\ \ 636{,}25\ € = 3536{,}50\ €$$

Ocenjeni prihranek kombinirane izvedbe znaša približno 3537 € oziroma 14,1 % vrednosti projektirane izvedbe.

Pri popolni izvedbi z ekspandirano glino znaša osnovni ocenjeni strošek 20 554,45 €. Večja količina ekspandirane gline poveča strošek materiala, krajši čas izvedbe pa zmanjša strošek delovne ekipe na 3200 €. Skupna ocenjena vrednost tako znaša 23 754,45 €. V primerjavi s projektirano izvedbo je ta možnost cenejša za:

$$25\ 172{,}75\ € - 23\ 754{,}45\ € = 1418{,}30\ €$$

Popolna izvedba z ekspandirano glino je od projektirane izvedbe cenejša za približno 1418 € oziroma 5,6 %, vendar je od kombinirane izvedbe dražja za približno 2118 €.

Ugotovitev

Na podlagi uporabljenih količin, enotnih cen in poenostavljenega stroška delovne ekipe je najugodnejša kombinirana izvedba. Pri tej možnosti se ohrani del nosilnega kamnitega nasutja, ekspandirana glina pa nadomesti XPS in zgornji del nasutja. Takšna rešitev zmanjšuje količino dražjih slojev, odpravlja potrebo po podložnem betonu in polaganju XPS-a ter skrajša čas izvedbe za približno tri delovne dni.

Popolna izvedba z ekspandirano glino je časovno najhitrejša, vendar zaradi bistveno večje količine ekspandirane gline ni najcenejša. Krajši čas gradnje delno nadomesti višji strošek materiala, zato je po poenostavljenem izračunu še vedno nekoliko ugodnejša od projektirane izvedbe z XPS-om.

Z vidika skupnega razmerja med stroški, časom izvedbe in načinom priprave podlage je kombinirana izvedba ocenjena kot najugodnejša od treh obravnavanih možnosti.

Vir: Lasten izračun na podlagi projektne dokumentacije in popisa del, pridobljenega od podjetja Probit, d.o.o., javno objavljenih cenikov materialov ter podatka podjetja Laterlite o ceni ekspandirane gline Laterlite Plus 8/20.

6 VPLIV IZBRANIH REŠITEV NA CENOVNO DOSTOPNOST STANOVANJ

Cenovna dostopnost stanovanj je odvisna od začetne vrednosti investicije in stroškov, ki nastajajo med uporabo stavbe. Izvedba slojev pod temeljno ploščo sicer predstavlja samo del celotne investicije, vendar lahko izbira materiala vpliva na več stroškovnih postavk hkrati. Poleg nabavne cene je treba upoštevati potrebno količino nasutja, število delovnih faz, uporabo mehanizacije in število delovnih ur. Racionalizacija posameznega konstrukcijskega sklopa lahko tako prispeva k zmanjšanju skupnih stroškov stanovanjske gradnje.

V analizi so bile primerjane projektirana izvedba z XPS-om, kombinirana izvedba s kamnitim nasutjem in z ekspandirano glino ter izvedba, pri kateri ekspandirana glina v celoti nadomesti gramozno nasutje in XPS. Po poenostavljenem stroškovnem modelu znaša ocenjena vrednost projektirane izvedbe 25 172,75 €, kombinirane izvedbe 21 636,25 €, popolne izvedbe z ekspandirano glino pa 23 754,45 €.

Kombinirana izvedba je od projektirane izvedbe cenejša za približno 3536,50 € oziroma 14,1 % vrednosti obravnavanega sklopa del. Prihranek nastane zaradi opustitve podložnega betona in XPS-a, zmanjšane količine kamnitega nasutja ter krajšega časa izvedbe. Navedeni odstotek se nanaša samo na dela od izkopa do izdelave temeljne plošče in ne na vrednost celotnega objekta, zato bi bil vpliv na končno ceno posameznega stanovanja manjši.

Pri večjem številu podobnih objektov se lahko prihranki ponavljajo in opazneje vplivajo na skupno investicijsko vrednost. Če bi bila primerljiva rešitev uporabljena na desetih objektih, bi teoretični prihranek pri obravnavanem sklopu znašal približno 35 000 €. Takšen prihranek se sicer ne prenese nujno neposredno v nižjo prodajno ceno, vendar zmanjšuje potrebna sredstva za izvedbo projekta in ustvarja možnost za cenovno ugodnejšo stanovanjsko gradnjo.

Na dostopnost stanovanj vpliva tudi čas gradnje. Projektirana izvedba z XPS-om je ocenjena na devet delovnih dni, kombinirana izvedba pa na šest delovnih dni. Skrajšanje za tri dni pomeni manj delovnih ur, krajšo prisotnost ekipe in manjšo uporabo dela gradbene mehanizacije. Zmanjšajo se lahko tudi posredni stroški organizacije gradbišča, začasnih ureditev in nadzora.

Pri projektih, ki se financirajo s posojili, lahko hitrejše dokončanje posameznih faz zmanjša del stroškov financiranja. Pri večstanovanjski gradnji zgodnejše dokončanje pomeni tudi hitrejšo predajo stanovanj uporabnikom. Hitrost gradnje lahko zato vpliva na dostopnost stanovanj z

zmanjšanjem stroškov in s skrajšanjem časa, potrebnega za zagotovitev novih stanovanjskih površin.

Dostopnost stanovanja ni odvisna samo od nakupne oziroma investicijske vrednosti, ampak tudi od stroškov uporabe. Ustrezna toplotna zaščita pod temeljno ploščo zmanjšuje toplotne izgube proti terenu in s tem porabo energije za ogrevanje. XPS ima pri manjši debelini boljšo toplotno izolativnost, medtem ko je pri ekspandirani glini za doseganje primerljive toplotne upornosti potreben debelejši sloj. Če je alternativna sestava pravilno dimenzionirana in izvedena, lahko zagotavlja ustrezno toplotno zaščito ter tako prispeva k nižjim obratovalnim stroškom.

Pri presoji dostopnosti je treba poleg začetnega stroška upoštevati tudi trajnost materialov. Ekspandirana glina je mineralni material, izdelan iz naravne gline. Odporna je proti vlagi, zmrzovanju, plesnim in škodljivcem, ne trohni ter skozi čas ohranja svoje osnovne lastnosti. Dolga življenjska doba zmanjšuje verjetnost poškodb in potrebe po poznejših sanacijah slojev pod temeljno ploščo.

Pomembna prednost ekspandirane gline je možnost ponovne uporabe. Če je vgrajena v nevezanem stanju in pri odstranitvi ni onesnažena ali pomešana z drugimi materiali, jo je mogoče odstraniti, presejati ter ponovno uporabiti kot lahko nasutje, drenažni sloj ali material pri urejanju okolice. S tem se zmanjšata količina gradbenih odpadkov in potreba po uporabi novega materiala.

Rezultati kažejo, da je kombinirana izvedba v obravnavanem primeru najugodnejša z vidika stroškov, časa in načina priprave podlage. Zmanjšuje začetne stroške, skrajšuje izvedbo, zagotavlja toplotno zaščito in omogoča ponovno uporabo večjega dela ekspandirane gline. Takšna rešitev sama ne more bistveno spremeniti dostopnosti stanovanj, predstavlja pa konkreten primer, kako lahko premišljena izbira materialov in racionalizacija gradbenih faz prispevata k stroškovno učinkovitejši, trajnejši ter posledično dostopnejši stanovanjski gradnji.

7 SKLEP

Namen diplomskega dela je bil raziskati možnost uporabe ekspandirane gline kot nasutja in toplotnoizolacijskega sloja pod armiranobetonsko temeljno ploščo ter jo primerjati s projektirano izvedbo s ploščami XPS. Primerjava je bila izvedena na primeru stanovanjske hiše in je zajemala tehnične lastnosti materialov, predviden način vgradnje, čas izvedbe, ocenjene stroške, trajnost ter možen vpliv na cenovno dostopnost stanovanj.

V teoretičnem delu so bili predstavljeni pridobivanje, proizvodnja in uporaba ekspandirane gline. Ekspandirana glina se proizvaja iz naravne gline, ki se v rotacijskih pečeh žge pri visoki temperaturi. Pri tem nastanejo lahke in porozne granule s trdno zunanjo lupino. Zaradi takšne strukture material združuje majhno prostorninsko maso, toplotno izolativnost, odpornost proti vlagi in možnost uporabe kot lahko nasutje.

Predstavljeni so bili tudi pridobivanje, proizvodnja in značilnosti XPS-a. XPS je sintetični toplotnoizolacijski material z zaprto celično strukturo, majhno vodovpojnostjo in natančno določenimi mehanskimi lastnostmi. Zaradi dobre toplotne izolativnosti in tlačne trdnosti se pogosto uporablja pod temeljnimi ploščami.

Toplotna analiza na izbranem primeru je pokazala, da ima XPS pri enaki debelini boljšo toplotno izolativnost. Toplotna prevodnost plošč FIBRAN XPS 400-L znaša 0,035 W/(m·K), pri ekspandirani glini Laterlite Plus 8/20 pa približno 0,095 W/(m·K). Za doseganje enake toplotne upornosti, kot jo zagotavlja 12 cm XPS-a, je potrebnih približno 32,3 cm ekspandirane gline.

Časovna primerjava je pokazala, da bi projektirana izvedba z XPS-om trajala približno devet delovnih dni, kombinirana izvedba približno šest dni, popolna izvedba z ekspandirano glino pa približno pet dni. Alternativni izvedbi sta hitrejši zaradi pnevmatske vgradnje ekspandirane gline in opustitve podložnega betona, tehnološkega premora ter polaganja XPS-a.

Po poenostavljenem stroškovnem modelu znaša ocenjena vrednost projektirane izvedbe 25 172,75 €, kombinirane izvedbe 21 636,25 €, popolne izvedbe z ekspandirano glino pa 23 754,45 €. Kombinirana izvedba je bila tako ocenjena kot približno 3536,50 € oziroma 14,1 % cenejša od projektirane izvedbe.

Stroškovne rezultate je treba razumeti kot orientacijske. Projektni popis ne vsebuje izpolnjenih enotnih cen, zato so bile uporabljene javno dostopne cene materialov in ocenjene cene izvedbe.

Za natančnejšo presojo bi bilo treba pridobiti primerljive ponudbe izvajalcev, v katerih bi bili ločeno prikazani material, prevoz, mehanizacija in delo.

Ekspandirana glina ima prednosti tudi z vidika trajnosti. Je mineralni material naravnega izvora, odporen proti vlagi in zmrzovanju ter ima dolgo življenjsko dobo. Če je vgrajena v nevezanem stanju in ni onesnažena z drugimi materiali, jo je mogoče odstraniti, presejati ter ponovno uporabiti.

Preverjanje hipotez

H1: Uporaba ekspandirane gline kot nasutja pod temeljnimi ploščami je približno 10 % dražja od izvedbe s ploščami XPS.

Hipoteza H1 ni potrjena. Po uporabljenem stroškovnem modelu je bila kombinirana izvedba z ekspandirano glino približno 14,1 % cenejša od projektirane izvedbe z XPS-om. Rezultat je odvisen predvsem od dejanskih cen ekspandirane gline, prevoza, pnevmatskega črpanja in izvedbe stabilizacije.

H2: Nasutje z ekspandirano glino ima približno 10 % boljšo toplotno izolativnost od izvedbe z XPS-om.

Hipoteza H2 ni potrjena. XPS ima pri enaki debelini približno 2,7-krat večjo toplotno upornost. Ekspandirana glina lahko doseže primerljivo toplotno zaščito, vendar je za to potreben približno 32,3 cm debel sloj namesto 12 cm XPS-a.

H3: Uporaba ekspandirane gline lahko zaradi hitrejše izvedbe, trajnosti in možnosti ponovne uporabe prispeva k stroškovno učinkovitejši ter trajnostno naravnani stanovanjski gradnji.

Hipoteza H3 je delno potrjena. Kombinirana izvedba je bila ocenjena kot približno tri delovne dni hitrejša in stroškovno ugodnejša od projektirane izvedbe. Ekspandirana glina je trajen material, ki ga je v nevezanem stanju mogoče ponovno uporabiti. Ker v nalogi ni bila izvedena celovita analiza življenjskega cikla, njenega skupnega okolijskega vpliva ni mogoče dokončno oceniti.

H4: Uporaba ekspandirane gline nima vpliva na dostopnost stanovanj.

Hipoteza H4 ni potrjena. Uporaba ekspandirane gline lahko z zmanjšanjem stroškov obravnavanega sklopa in s krajšim časom izvedbe v omejenem obsegu prispeva k cenovno dostopnejši stanovanjski gradnji. Vpliv na končno ceno stanovanja je sicer manjši, saj temeljenje predstavlja samo del celotne investicije. Pri večjem številu podobnih objektov se lahko prihranki ponavljajo in pomembneje vplivajo na skupno vrednost projekta.

8 VIRI IN LITERATURA

Beg, D., & Pogačnik, A. (2009). *Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po eurokod standardih*. Ljubljana: Inženirska zbornica Slovenije.

Ebben, A., & Carlson, C. (3. februar 2026). *Rotary Kilns in Expanded Clay Aggregate Production*. Pridobljeno s feeco.com: https://feeco.com/rotary-kilns-in-expanded-clay-aggregate-production/

fibran.si. (avgust 2026). *Toplotna izolacija XPS: vse kar rabite vedeti o njej*. Pridobljeno s https://fibran.si/toplotna-izolacija-xps-vse-kar-rabite-vedeti-o-njej/

GEOFOAMINTL. (2. avgust 2020). *What Is Extruded Polystyrene (XPS)*. Pridobljeno 3. februar 2026 z geofoamintl.com: https://geofoamintl.com/what-is-extruded-polystyrene-xps/?.com

Jelušič, P. (julij 2021). *Temeljenje*. Maribor: Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba.

Laterlite. (avgust 2026). *GEOTECHNICS AND INFRASTRUCTURE LIGHTWEIGHT AND STRONG SOLUTIONS WITH LATERLITE EXPANDED CLAY AND STRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETES*. Pridobljeno 3. februar 2026 z laterlite.com: https://www.laterlite.com/wp-content/uploads/2021/03/GEOTECHNICS-AND-INFRASTRUCTURE-en.pdf

LECA. (februar 2026). *Leca*. Pridobljeno 3. februar 2026 iz leca.co.uk: https://www.leca.co.uk/sites/leca.co.uk/files/pdf/Concrete%20PDF%2006.06.24.pdf

Lokatrade.com. (16. avgust 2026). Pridobljeno iz www.lokatrade.com

Probit, d. (2026). Tehnično poročilo in statika objekta.

Proctor device. (avgust 2026). Pridobljeno s https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Proctor_device1.JPG

Vse, kar morate vedeti o ekspandirani glini. (2026). Pridobljeno 2. februar 2026 iz builderhub-sl.techinfus.com: https://builderhub-sl.techinfus.com/otdelochnye-materialy/keramogranit/chto-nuzhno-znat/