

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:

Šmid, G., 2014. Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Logar, J., somentor Kuder, S.): 21 str.

Datum arhiviranja: 14-10-2014

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:

Šmid, G., 2014. Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Logar, J., co-supervisor Kuder, S.): 21 pp.

Archiving Date: 14-10-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*

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



UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidat:

GAŠPER ŠMID

**TEMELJENJE STANOVANJSKIH OBJEKTOV NA
MEHKIH TLEH LJUBLJANJSKEGA BARJA**

Diplomska naloga št.: 137/B-GR

**FUNDATION OF RESIDENTIAL HOUSES ON
LJUBLJANA MARSHLAND**

Graduation thesis No.: 137/B-GR

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

asist. mag. Sebastjan Kuder

Ljubljana, 18. 09. 2014

II

Šmid, G. 2014. Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja.
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

Podpisani Gašper Šmid izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom:

»Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega Barja«

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

10.9.2014, Ljubljana.

Gašper Šmid

Šmid, G. 2014. Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja.
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTAJSKA STRAN IN IZVLEČEK

| | |
|------------------|--|
| UDK: | 624.12/.14(497.4)(043.2) |
| Avtor: | Gašper Šmid |
| Mentor: | izr. prof. dr. Janko Logar |
| Somentor: | asist. mag. Sebastjan Kuder |
| Naslov: | Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja |
| Tip dokumenta: | diplomska naloga – univerzitetni študij – B |
| Obseg in oprema: | 21 str., 14 sl. |
| Ključne besede: | Sanacija lesenih pilotov, leseni piloti, glive, bakterije, Ljubljansko barje |

Izvleček

V diplomski nalogi z naslovom Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja so predstavljeni možni razkrojevalci lesenih pilotov, gibanje podtalnice Ljubljanskega barja ter nekaj možnih načinov sanacije.

Pod razkrojevalci so opisane glive in bakterije ter njihov vpliv na razgradnjo lesenih pilotov. Poglavje o nivoju podtalnice predstavi gibanje podtalnice v zadnji polovici stoletja na Ljubljanskem barju ter zaključi, da so na tem območju zelo dobri hidrološki pogoji za razvoj gliv in bakterij v lesenih pilotih. V poglavju o sanaciji je predstavljenih nekaj možnih načinov za ponovno vzpostavitev ustreznega temeljenja objektov.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

| | |
|------------------|--|
| UDC: | 624.12/.14(497.4)(043.2) |
| Author: | Gašper Šmid |
| Supervisor: | Assoc. Prof. Dr. Janko Logar |
| Co-Supervisor: | Assist. MSc. Sebastjan Kuder |
| Title: | Foundation of residential houses of Ljubljana marshland |
| Document type: | Graduation Thesis – University Study - B |
| Scope and tools: | 21 p., 14 fig. |
| Key words: | Reconstruction of timber piles, timber piles, fungi, bacteria, Ljubljana marshland |

Abstract

In graduation thesis Foundation of residential houses of Ljubljana marshland, possible decomposers of timber piles are introduced, the changes in groundwater level of Ljubljana marshland and possible ways to reconstruct foundations of houses.

In chapter on decomposers, various fungi and bacteria are described along with their influence on the degradation of timber piles. The chapter on groundwater level introduces the groundwater movement in last half of century in the Ljubljana marshland and concludes that this area has very good hydrogeological conditions for spreading fungi and bacteria in timber piles. In the chapter on reconstruction, possible ways to restore proper foundation behavior of houses are introduced.

Šmid, G. 2014. Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja.
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem izr. prof. dr. Janku Logarju.

Zahvaljujem se tudi svoji družini, prijateljem in predvsem puncu Alji za podporo in spodbudo v celotnem času študija

KAZALO VSEBINE

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. RAZKROJEVALCI LESENIH PILOTOV | 3 |
| 2.1 Glive | 3 |
| 2.1.1 Bela in rjava trohnoba | 3 |
| 2.1.2 Mehka trohnoba..... | 4 |
| 2.1.3 Modrenje..... | 4 |
| 2.2 Bakterije..... | 5 |
| 2.2.1 Pretok vode skozi lesene pilote (Klaassen, 2006) | 5 |
| 2.2.2 Hitrost razgradnje lesenih pilotov (Klaassen, 2012) | 9 |
| 2.2.3 Preiskava stopnje razgradnje v povezavi z gostoto in relativno vlažnostjo lesa (Klaassen, 2007)..... | 10 |
| 3. NIVO PODTALNICE LJUBLJANSKEGA BARJA | 15 |
| 4. SANACIJA | 17 |
| 4.1 Mikropiloti | 17 |
| 4.2 Pushpiers in HelicalPiers | 17 |
| 4.3 Jet grouting..... | 19 |
| 4.3.1 Enofazna tehnologija injiciranja T1 | 19 |
| 4.3.2 Dvofazna tehnologija injiciranja ($T_{1/B}$ in $T_{1/S}$)..... | 20 |
| 4.3.3 Trofazna tehnologija injiciranja T2 | 20 |
| Viri | 22 |

KAZALO SLIK

| | |
|---|----|
| Slika 1 Pretok vode v posameznih vrstah lesa v osni smer (Klaassen, 2006) | 6 |
| Slika 2 Pretok vode skozi vzorce lesa v osni smeri pod pritiskom (črna predstavlja bor, siva pa smreko) (Klaassen, 2006) | 8 |
| Slika 3 Pretok vode skozi les v radialni smeri pod pritiskom (črna predstavlja bor, siva pa smreko) (Klaassen, 2006) | 8 |
| Slika 4 Število vzorcev z isto hitrostjo naseljevanja bakterij (Klaassen, 2012) | 9 |
| Slika 5 Število vzorcev z isto hitrostjo hude razgradnje (Klaassen, 2012) | 9 |
| Slika 6 Stopnja razgradnje po prerezu v različnih mestih za različne botanične vrste lesa (Klaassen, 2007) | 11 |
| Slika 7 Zveza med relativno vlažnostjo(ω) in gostoto(ρ) ter stopnjo razgradnje: (a) bor, (b) smreka, (c) jelša, (d) hrast (Klaassen, 2007) | 12 |
| Slika 8 Zveza med tlačno trdnostjo in relativno vlažnostjo(ω), gostoto(ρ) ter stopnjo razgradnje: (a in c) bor, (b in d) hrast (Klaassen, 2007) | 13 |
| Slika 9 Model za določitev tlačne trdnosti na podlagi relativne vlažnosti: bor (Klaassen, 2007) | 14 |
| Slika 10 Model za določitev tlačne trdnosti na podlagi relativne vlažnosti: smrka (Klaassen, 2007) | 14 |
| Slika 11 Potek višine podtalnice, Brezovica (ARSO, 2014) | 15 |
| Slika 12 Potek višine podtalnice, Kozarje (ARSO, 2014) | 16 |
| Slika 13 Potek višine podtalnice, Črna vas (ARSO, 2014) | 16 |
| Slika 14 Potek višine podtalnice, Sinja Gorica (ARSO, 2014) | 16 |

VIII

Šmid, G. 2014. Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja.
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

(Ta stran je namenoma prazna.)

1. UVOD

Ideja za pisanje diplomske naloge izvira iz dejstva, da z območja Ljubljanskega barja prihajajo informacije o objektih s prekomernimi posedki, ki bi lahko bili posledica izgube nosilnosti in togosti lesenih pilotov na katerih so temeljeni. Pri objektih, temeljenih na lesenih pilotih, obstaja potencialna nevarnost, da se zaradi napada gliv in bakterij v lesu poslabšajo mehanske lastnosti in s tem tudi sama nosilnost pilota, kar privede do posedanja objekta. Gre za velik problem objektov na lesenih pilotih, saj se bakterije pojavijo po nekaj letih v vseh lesenih pilotih prav tako pa imamo ob nihanju gladine podtalnice možnost naselitve gliv. Z leti bi lahko vse več objektov na Ljubljanskem barju, zaradi razkroja lesenih pilotov postalo nestabilnih ter jim bo potrebno sanirati temelje. Velik problem predstavlja tudi nižanje podzemne vode.

Objekte na območju Ljubljanskega barja, kjer imamo tipična barjanska tla, je potrebno graditi na globokih temeljih. Tipična barjanska tla so sestavljena iz več slojev, na površju se nahajata šota in organske zemljine, pod njima je sloj polžarice, nato imamo plast visoko plastične gline in meljev ter najnižje peščena prodnata tla. Zgornji sloj iz šote in organske zemljine v povprečni debelini od enega do dveh metrov je zelo stisljiv, prav tako kot tudi sloj polžarice, ki jo sestavlja zelo stisljiv glinast melj v židki konsistenci. Zaradi velike deformabilnosti zgornjih dveh slojev je plitvo temeljenje v takih tleh neprimerno, saj bi bili posedki na tak način temeljenega objekta preveliki. Potrebno je tudi poudariti, da se polžarica poleg tega, da je zelo stisljiva, pri nespremenjenem napetostnem stanju obnaša izrazito viskozno, kar pomeni, da je posedanje objekta zelo dolgotrajno (Trauner, 2000). V sloj visoko plastične gline ter meljev pod slojem polžarice je že možno izvesti globoko temeljenje objektov z manjšimi obremenitvami tal pod njim pa se nahaja prvi dobro nosilen peščeno prodat sloj na povprečni globini 15 m. Večina objektov na območju s tipičnimi barjanskimi tlemi ima globoke temelje, preko katerih se obremenitve objekta prenašajo v dobro nosilne plasti, s tem pa zagotovimo tudi primerno stanje pomikov objektov. Po neuradnih ocenah naj bi bilo na Ljubljanskem barju več kot polovica individualnih objektov temeljenih na lesenih pilotih, najpogosteje narejeni iz kostanja, jelše in bora (Logar, 2014).

Namen diplomske naloge je predstavitev problematike povezane z razkrojem lesenih pilotov zato je vsebina diplomske naloge razdeljena na opis razkrojevalcev lesenih pilotov ter na opis možnosti sanacije. V poglavju o razkrojevalcih lesa je opisano delovanje gliv in bakterij. Poglavje

Šmid, G. 2014. Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja.
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

o sanaciji pa navaja in opisuje nekaj možnih načinov zamenjave temeljev za vzpostavitev ponovne nosilnosti.

2. RAZKROJEVALCI LESENIH PILOTOV

2.1 Glive

Glive uničujejo les tako, da mu slabšajo mehanske lastnosti s tem pa tudi samo nosilnost. V lesenih pilotih se glive pojavijo ob zadostni vrednosti kisika, vlažnosti nad 20% oziroma pri optimalni vlažnosti med 35% in 60% ter pri temperaturi med 20 °C do 35°C, večinoma gliv pa propade pri temperaturi nad 50°C. Na pojav gliv v lesenem pilotu vplivajo tudi vrsta zemljine v katero je nameščen, izpostavljenost kisiku, prisotnost kemikalij v zemlji ali vodi, botanična vrsta lesenega pilota in njegovih lastnosti. (Vatovec & Kelley, 2007a)

2.1.1 *Bela in rjava trohnoba*

Rjavo trohnobo povzročajo glive, ki spadajo v skupino prostotrosnic *Basidiomycetes*.

Razgrajujejo hemicelulozo in celulozo celične stene, pri tem pa ostane lignin skoraj nedotaknjen, le ta pa je rjave barve, zato les porjavi. Večinoma se rjava trohnoba pojavi v listavcih, napade pa tako beljavo kot tudi stržen.

Glive, ki povzročajo **belo trohnobo**, običajno sodijo v skupino prostotrosnic *Basidiomycetes*, redko pa v skupino odprtotrosnic *Ascomycetes*. Bela trohnoba se deli na dva tipa in sicer na sočasno belo trohnobo in zaporedno belo trohnobo, ki se razlikujeta v tem, da glive, ki povzročajo sočasno belo trohnobo hkrati razgrajujejo lignin in ogljikove hidrate, glive povzročiteljice zaporedne trohnobe pa najprej razgradijo lignin in hemicelulozo ter nato šele celulozo. Glive bele trohnobe pogosteje okužijo les listavcev kot iglavcev. Pri vseh vrstah bele trohnobe, se mehanske lastnosti lesa poslabšajo manj kot pri rjavi trohnobi, saj pri isti izgubi mase razgradi manj celuloze in ne pride do razpokanj (Schmidt, 2006).

Glive, ki povzročajo belo in rjavo trohnobo lesa, se pojavijo, ko leseni piloti niso v celoti potopljeni v vodi, v zemljini, ki je bogata s kisikom ter z vsebnostjo vlage med 35% in 70%, tako da celice lesa niso popolnoma zasičene z vodo. Če so leseni piloti v celoti suhi ali potopljeni v vodi, do takšnih razmer ne more priti, lahko pa do omenjenih pogojev pride z upadom podtalnice v poroznem materialu, ki je bogat s kisikom, zadosten odstotek vlage pa se vzdržuje s kapilarnim dvigom vode vzdolž vlaken lesa iz dela lesenega pilota, ki je še potopljen v vodi. V najbolj ugodnih razmerah za razvoj bele in rjave trohnobe, je lahko lesen pilot popolnoma uničen

v treh do sedmih letih, odvisno tudi od botanične vrste lesa, zato omenjena vrsta trohnobe predstavlja najnevarnejši biološki način za uničenje lesenega pilota (Vatovec & Kelley, 2007a).

2.1.2 Mehka trohnoba

Glive mehke trohnobe spadajo v skupino nepopolnih gliv *Deuteromycetes* in v skupino zaprtotrošnic *Ascomycetester* ter razgrajujejo celulozo in hemicelulozo v celičnih stenah. (Schmidt, 2006). Mehka trohnoba nastopi, ko je frekvenca dviganja in spuščanja višine podtalnice zelo visoka in vzdržuje vlažnost v pilotu na tako visokem nivoju, da glive bele in rjave trohnobe v takih pogojih ne morejo delovati. Glive, ki povzročajo mehko trohnobo, les razgrajujejo veliko počasneje od gliv bele in rjave trohnobe in pri svojem delovanju ohranjajo videz lesa, vendar pa zelo zmanjšajo mehanske lastnosti in omehčajo les najprej na površini in nato proti notranjosti (Vatovec & Kelley, 2007a).

2.1.3 Modrenje

Glive modrivke sodijo v skupino nepopolnih gliv *Deuteromycetes* in v skupino zaprtotrošnic *Ascomycetes* in povzročajo globinsko obarvanje beljave iglavcev in listavcev. Troši gliv modrivk se razvijejo le, če padejo neposredno na beljavo (Poglajen, 2008). Prehranjujejo se z sladkorji, ogljikovimi hidrati, škrobom, beljakovinami in maščobami, zato ne vplivajo na mehanske lastnosti lesa. Pojav gliv modrivk v beljavi zavira oziroma onemogoča pretok vode v lesu in s tem onemogoča gibanje bakterij v lesu (Klaassen, 2006).

2.2 Bakterije

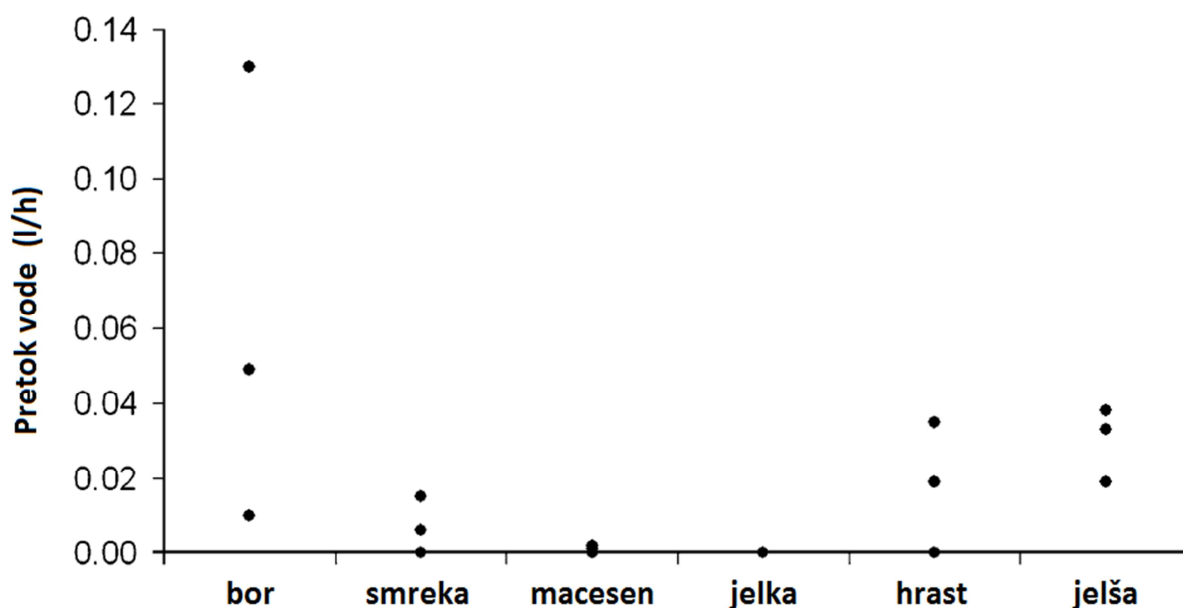
Bakterije, ki razgrajujejo les so, erozijske bakterije in se pojavljajo v lesu, zasičenem z vodo. Dolgo časa je bil pojav propadanja lesa zaradi bakterij zanemaren, zaradi predpostavke, da se les, potopljen v vodo, ne more razgraditi, vendar pa so erozijske bakterije zmožne uničiti les v skoraj vseh vrstah tal in vsakem okolju in ga najhitreje uničujejo, ko je le ta v celoti potopljen v vodi v skoraj anoksičnih tleh, kot jih ima Ljubljansko barje. Erozijske bakterije so podolgovate oblike in delujejo tako, da se s sluzjo prilepijo na celično steno lumna, v katerega spustijo encime, ki celično steno razgradijo. Razgrajujejo celulozo in hemicelulozo pri tem pa ostane lignin skoraj nedotaknjen. Pripravljajo tudi hranilno podlago za glive in s tem spodbujajo nadaljnje propadanje lesa na podlagi napada gliv. V beljavo lesa pridejo preko poškodovanih delov lesa, po lesu pa se razširijo s kapilarnim dvigom vode. Leseni piloti, ki so bolj prepustni za pretok vode v osni smeri, so bolj dovzetni za propad s strani bakterij (Klaassen, 2012; Schmidt, 2006).

2.2.1 Pretok vode skozi lesene pilote (Klaassen, 2006)

Pretok vode v osni smeri lesenih pilotov je povezan z nihanjem talne vode in vodnim tlakom, ki deluje na lesen pilot. Prepustnost lesa je eden od kandidatov za razlago razlik v stopnji razgradnje lesa in odpornost posameznih vrst lesa, saj so običajno leseni piloti iz prepustnejših botaničnih vrst bolj razgrajeni.

Za preučevanje pretoka vode v osni smeri je Rene K.W.M. Klaassen naredil dve preiskavi, ki se razlikujeta v tem, da se v prvi raziskavi na lesene elemente dodaja voda brez dodatnega pritiska, pri drugi raziskavi pa se voda dovaja pod pritiskom (Klaassen, 2006).

Eksperiment 1: Za prvi eksperiment je bil uporabljen les bora, smreke, macesna, jelke, hrasta in jelše, ves les pa izvira iz istega gozda. Po sečnji je bil les nekaj tednov shranjen v gozdu, tako kot je navada za les, ki se ga kasneje vgradi kot lesene pilote. Les so nato v laboratoriju namakali v vodo, dokler ni bil popolnoma zasičen nato pa so ga narezali na preizkušance dolžine 300mm. Iz slike 1 so razvidni rezultati raziskave in sicer pretoki vode za posamezne vrste lesa (Klaassen, 2006).



Slika 1 Pretok vode v posameznih vrstah lesa v osni smer (Klaassen, 2006)

Slika 1 prikazuje vrednosti pretokov vode za posamezne vrste lesa. V lesu macesna in jelke je pretok vode v osni smeri zelo majhen v primerjavi z ostalimi vrstami lesa, zato bi lahko rekli, da sta te dve vrsti lesa skoraj popolnoma nepropustni.

Pretok vode skozi vzorec iz hrasta je manjši, kot bi lahko pričakovali. Velik pretok vode je pričakovan, ker strukturo lesa hrasta sestavljajo široke in dolge pore ranega lesa, ki bi potencialno omogočale hiter pretok vode na dolge razdalje in ker ima hrast izredno majhne pore kasnega lesa, skozi katerega je praviloma pretok vode zelo majhen v primerjavi s porami ranega lesa. Relativno majhen pretok vode, tudi v najbolj prepustnem vzorcu je najverjetneje posledica zaprtja por ranega lesa, zaprtje pa lahko povzročijo tudi pile v lesu, ki nastanejo kot posledica rasti stržena, poškodb ali embolije lesa. Pretok vode v vzorcu iz hrasta je torej možen le skozi odprte pore ranega lesa in skoti pore kasnega lesa.

Pri vzorcu jelše pretoki vode v primerjavi z drugimi vzorci zelo malo variirajo. Les jelše ne vsebuje stržena, zato je pretok vode potencialno omogočen po celotnem prerezu, prav tako pa velika gostota por po prerezu omogoča mnogo potencialnih poti za pretok vode.

Od listavcev so vzorci jelke in macesna skoraj popolnoma nepropustni, za razliko od smreke in bora. Največje vrednosti pretokov vode v osni smeri imamo pri lesu bora, same vrednosti pretokov pa so si med seboj zelo različne. Pri smreki imamo pretoke vode v osni smeri v

Šmid, G. 2014. Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja. Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

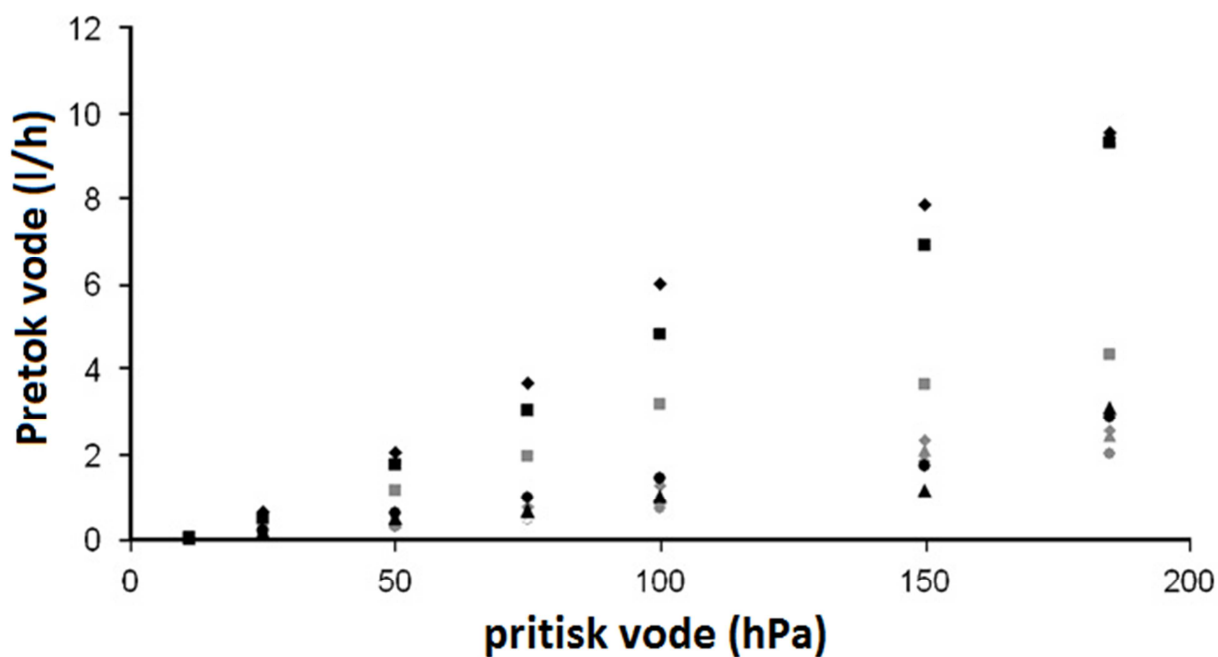
povprečju približno štirikrat manjše kot pri boru, prav tako pa pri lesu smreke pretoki vode manj variirajo (Klaassen, 2006).

Zmožnost pretoka vode v osni smeri je torej odvisna od botanične vrste lesa, razlikujejo pa se tudi med različnimi vzorci iste vrste lesa. Pretok vode skozi les je primarno odvisen od strukture lesa in sicer od velikosti zgodnjega in poznega lesa v braniki, sekundarno je odvisen od prisotnosti gliv modrivk in tvorbe til* v lesu pomemben faktor pa je tudi velikost strežna in beljave. (Klaassen, 2006). V ranem lesu oziroma v spomladanskem prirastku lesa je pretok vode veliko večji od pretoka vode v kasnem lesu, v katerem je zanemarljivo majhen, tako da je sam pretok odvisen od razmerja med velikostjo ranega lesa in kasnega lesa. Skozi les iste vrste so si pretoki različni, v veliki meri kot posledica prisotnosti gliv modrivk, ki napadejo beljavo lesa ter zmanjšujejo prepustnost lesa tako, da zapirajo poti, skozi katere voda lahko pronica. Deli lesa, v katerih je prisotnost gliv modrivk zelo velika, so lahko popolnoma nepropustna. Drugi razlog za zmanjšanje pretoka pa je tvorbe til v lesu, kot posledica rasti stržena, mehanske poškodbe lesa ali embolije. Tile zapirajo le traheje, ki sestavljajo rani les, tako da je pretok v lesu, kjer so prisotne tile mogoč le skozi traheje kasnega lesa in skozi odprte traheje ranega lesa. Stržen hrasta, bora, jelke in macesna je skoraj popolnoma nepropusten zaradi nepovratnega zaprtja membran v trahejah zgodnjega in poznega lesa, jelša stržena sploh nima, pri smreki ostanejo poti za pretok vode v strženu odprte najverjetneje zaradi odprtih membran trahej poznega lesa (Klaassen, 2006).

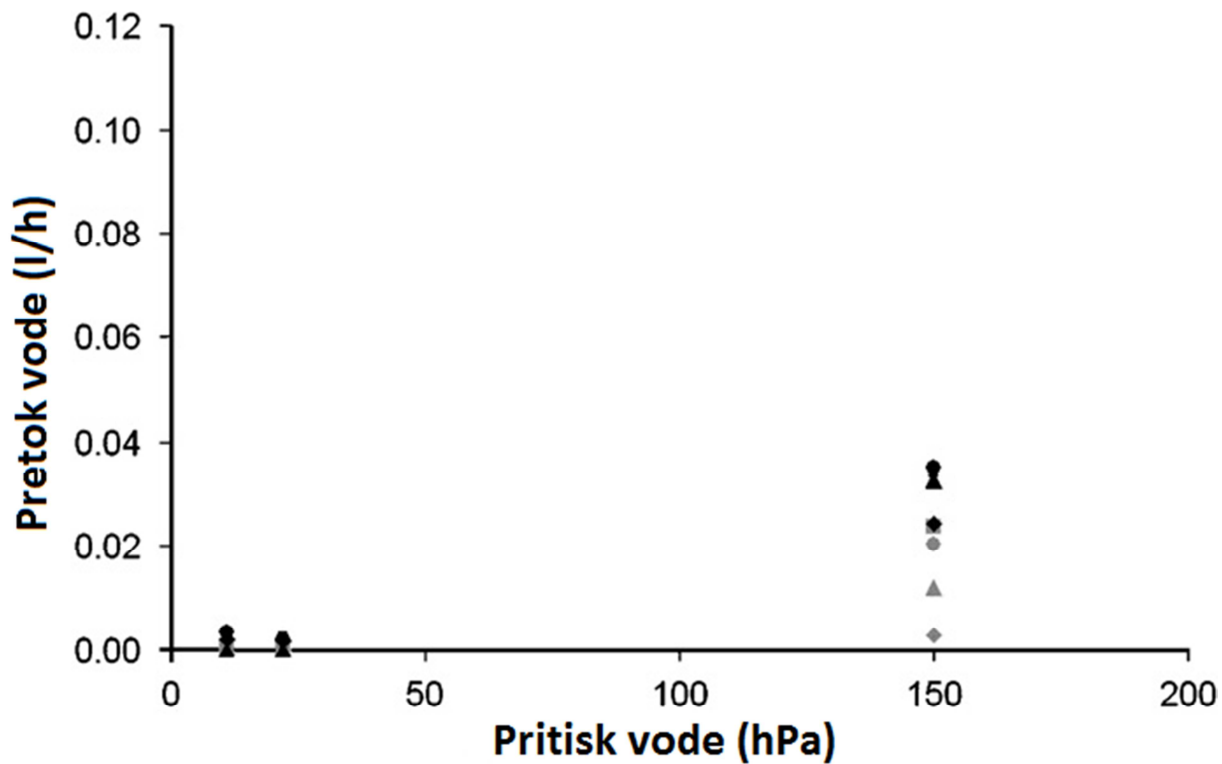
Eksperiment 2: Za drugi eksperiment je bil uporabljen le les smreke, kot manj občutljiv les za bakterijsko razgradnjo ter les bora, ki je znan kot bolj občutljiv. Po sečnji je bil les nekaj tednov shranjen v gozdu, nato pa so ga v laboratoriju zasičili z vodo in narezali na 450mm dolge preizkušance (Klaassen, 2006).

Sliki 2 in 3 prikazujeta pretok vode v osni in v radialni smeri skozi 450 mm dolge lesene vzorce bora in smreke pod različnimi pritiski od 0,01 pa do 0,185 bara oziroma pri pretoku v radialni smeri do 0,15 bara. Pretoki vode v osni smeri pod nizkim pritiskom so podobni pretokom vode iz prvega eksperimenta. Povečevanje pritiska do 0,185 barov povzroči linearno povečevanje pretoka v odvisnosti od pritiska pri obeh vrstah lesa. Pretoki vode v radialni smeri so veliko manjši od pretokov vode v osni smeri. Ker je pretok v radialni smeri približno 100-krat manjši, ostane več ali manj zanemarjen pri obravnavanju gibanja vode v lesu (Klaassen, 2006).

*Tile so mehurjasti ali vrečasti vrastki paranhimenskih celic v lumnu traheje (Kacafura, 2014)



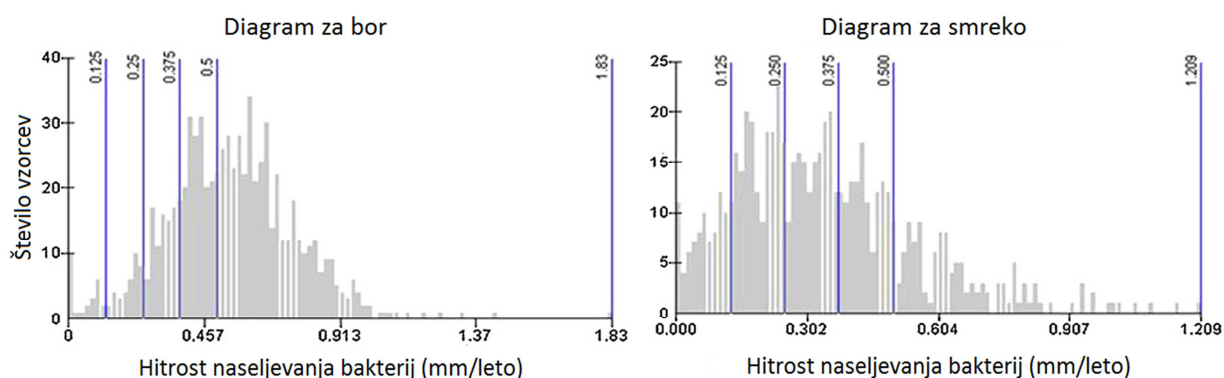
Slika 2 Pretok vode skozi vzorce lesa v osni smeri pod pritiskom (črna predstavlja bor, siva pa smreko) (Klaassen, 2006)



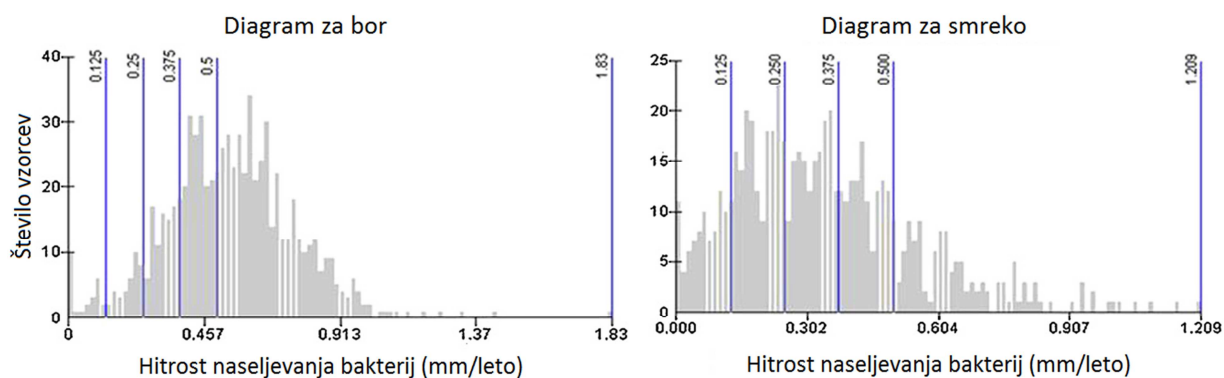
Slika 3 Pretok vode skozi les v radialni smeri pod pritiskom (črna predstavlja bor, siva pa smreko) (Klaassen, 2006)

2.2.2 Hitrost razgradnje lesenih pilotov (Klaassen, 2012)

Večina vzorcev lesenih pilotov vzeti iz tal pod zgradbami Amsterdama je iz lesa bora in smreke. V raziskavi je zajeto približno tisoč vzorcev smreke in tisoč vzorcev bora starih med 80 in 200 let. Za obe vrsti so rezultati meritev prikazani na slikah 4 in 5. Slika 4 prikazuje število vzorcev z določeno hitrostjo naseljevanja bakterij, slika 5 pa prikazuje število vzorcev z določeno hitrostjo širjenja hude razgradnje lesa. V primeru vzorcev bora je najbolj pogosta hitrost naseljevanja bakterij znašala 0,5 mm/leto, medtem ko hitrost naselitve bakterij pri vzorcih smreke variira med 0,1-0,5 mm na leto. Tudi maksimalne hitrosti večje pri vzorcih bora. Hitrosti hudega bakterijskega razkroja je pri vzorcih bora najpogosteje 0,25 mm na leto, pri vzorcih smreke pa variira med 0 in 0,5 mm na leto pri čemer je zelo pogosta hitrost 0 mm na leto. Ponovno imajo vzorci bora večje hitrosti kot vzorci smreke, povprečna hitrost razgradnje vzorcev bora znaša 0,25 mm na leto medtem, ko na vzorcih smreke znaša 0,13 mm na leto (Klaassen, 2012).



Slika 4 Število vzorcev z isto hitrostjo naseljevanja bakterij (Klaassen, 2012)



Slika 5 Število vzorcev z isto hitrostjo hude razgradnje (Klaassen, 2012)

Iz rezultatov je jasno razvidno, da sta si odpornosti pilotov iz smreke in bora različni in sicer je les smreke bolj odporen, saj imamo v pilotih iz smrek manjše hitrosti hude razgradnje lesa. Prav tako je bilo ugotovljeno, da je beljava bora občutljiva na bakterijsko razgradnjo, medtem ko ima stržen bora zelo veliko odpornost na bakterijsko razgradnjo in ima hitrost razgradnje lesa skoraj nič. Meja med strženom in beljavo je v lesenih pilotih iz smreke težko določljiva. V pilotih smreke, kjer je del naseljenosti bakterij večji od razgrajenega dela je mejo nemogoče določiti, v pilotih, kjer pa imamo omenjena dela enako velika, pa se smatra, da je del lesa, kjer so prisotne bakterije, beljava, del lesa, kjer pa ni bakterij, pa stržen. V pilotih iz lesa smreke imamo torej tako kot pri lesu bora različno odpornost proti bakterijski razgradnji v beljavi in strženu, saj se hitrost razgradnje na predelu stržena močno zmanjša.

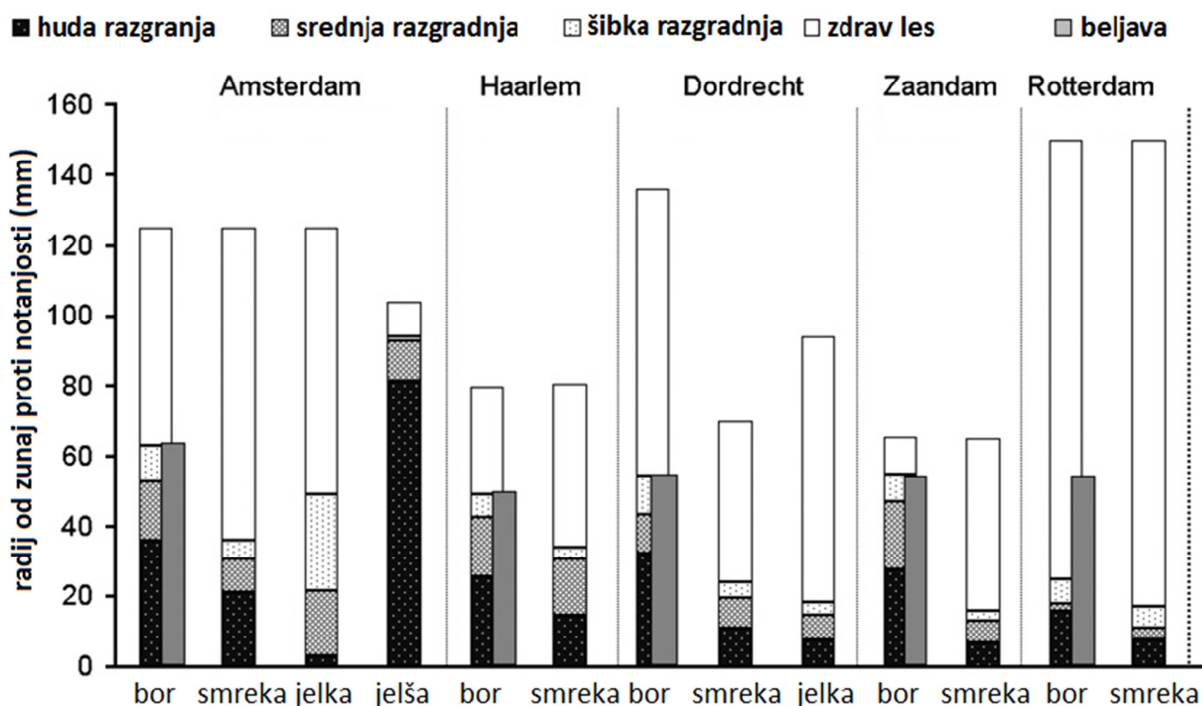
Raziskava o hitrosti razgradnje je torej pokazala, da so v splošnem piloti smreke bolj odporni od pilotov bora, kar tudi potrjuje tezo, da so vrste lesa, ki omogočajo večji pretok vode, bolj dovzetni za bakterijsko razgradnjo ter da je kvaliteta lesa oziroma botanična vrsta lesa ključnega pomena za odpornost pilotov. Poleg kvalitete lesa, kot najpomembnejšega faktorja, pa na hitrost razgradnje vplivajo na primer letni čas sečnje ter izvor lesa, pomembno pa je tudi koliko časa je minilo med sečnjo in vgradnjo (Klaassen, 2012).

2.2.3 Preiskava stopnje razgradnje v povezavi z gostoto in relativno vlažnostjo lesa (Klaassen, 2007)

Večina od 2000 vzorcev je pridobljenih iz lesenih pilotov starih približno 100 let, v večini iz Amsterdama, pa tudi iz ostalih Nizozemskih mest. Največ vzorcev je bilo odvzetih iz Amsterdama, ker mestne oblasti v Amsterdamu ob prodaji objekta zahtevajo poročilo o stabilnosti temeljev, v drugih mestih pa so vzorci vzeti iz stavb, pri katerih je že prišlo do težav s stabilnostjo. Vsi vzorci za preučevanje stopnje razgradnje v glavah pilotov so bili odvzeti 50 cm pod vrhom pilota s sondo premera 10, nato pa zapakirani skupaj s podtalnico v plastične tulce. Za preučevanje razgradnje po celotni dolžini lesenih pilotov je bilo pridobljenih 27 celotnih pilotov dolžine do 14,5 metra. Stopnjo razgradnje zaradi erozijske bakterije v lesenih pilotih iz bora, smreke, jelke, hrasta in jelše določuje pet kategorij (popolna razgradnja; huda r.; srednja r.; šibka r; zdrav les). Vseh 27 pridobljenih pilotov je bilo razgrajenih po celotni dolžini, stopnja razgradnje pa se pri večini ni spreminjala, le pri nekaterih je bilo vidno, da se stopnja razgradnje nekoliko povečuje z globino. Iz rezultatov sledeč lahko predpostavimo, da imajo piloti po celotni

Šmid, G. 2014. Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja. Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

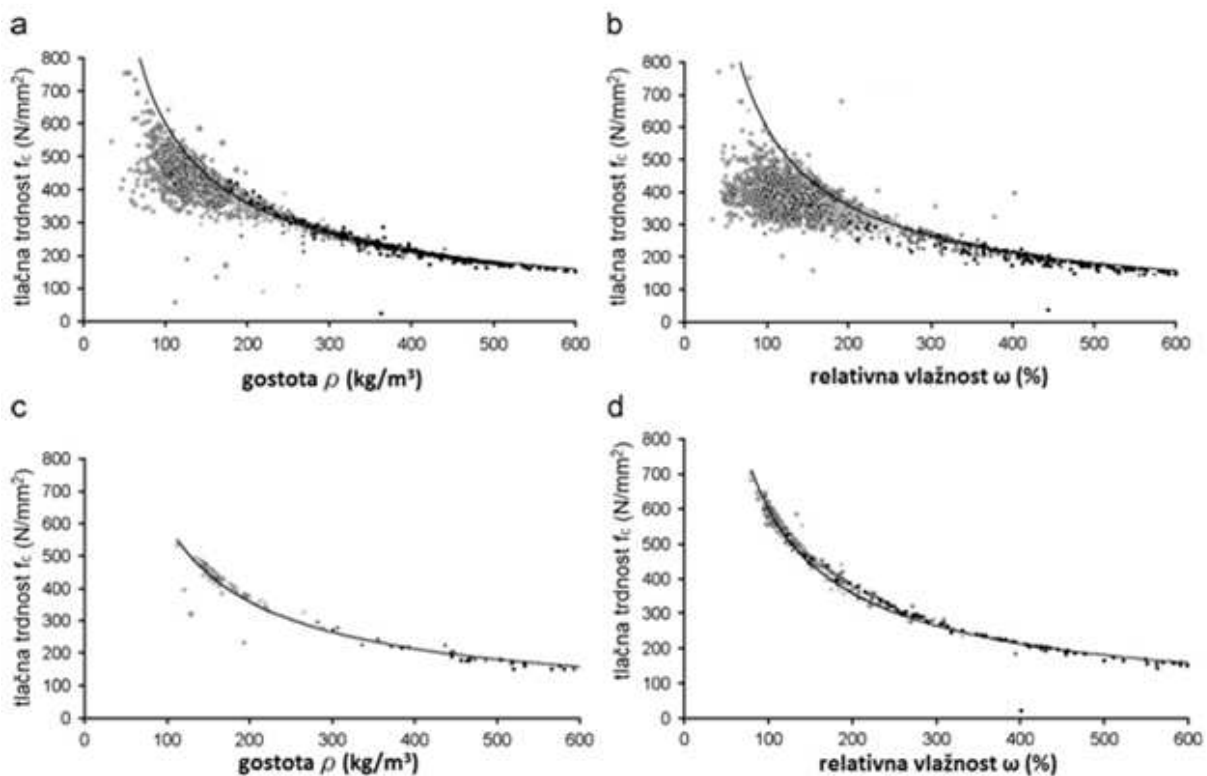
dolžini enako stopnjo razgradnje, to pa pomeni, da je vzorec vzet iz glave pilota merodajen za določanje stopnje razgradnje celotnega pilota. Stopnja razgradnje v pilotih je bila določena za 2000 vzorcev vzeti iz glave pilotov. Vsi vzorci so bili razdeljeni v posamezne kategorije glede na stopnjo razgradnje. Slika 6 prikazuje, da je povprečna globina razgrajenega lesa v povezavi s povprečno globino stržena ter da se stopnje razgradnje razlikujejo v odvisnosti od vrste lesa in lokacije, prav tako pa obstaja velika raznovrstnost stopenj razgradnje pilotov iz istih vrst lesa v istem mestu. V vseh mestih je vidno, da so piloti bora bolj razgrajeni kot piloti smreke. Piloti jelke so približno enako razgrajeni kot piloti smreke, jelša, ki jo najdemo samo v Amsterdamu, pa je skoraj popolnoma razgrajena. V večini pilotov bora je beljava srednje do hudo razgrajena, medtem ko je stržen skoraj popolnoma nedotaknjen. Vidno je, da je v pilotih iz mest Amsterdam, Haarlem, Dordrecht in Zaandam razgrajena celotna beljava, to pa pomeni, da bi lahko globino razgradnje uporabili kot indikator globine beljave (Klaassen, 2007).



Slika 6 Stopnja razgradnje po prerezu v različnih mestih za različne botanične vrste lesa (Klaassen, 2007)

Slika 7 prikazuje zvezo med gostoto, relativno vlažnostjo in stopnjo bakterijske razgradnje za bor, smreko, jelšo in hrast. Preiskava vključuje vzorce prostornine 1 cm³ z različnimi stopnjami bakterijske razgradnje. Od relativne vlažnosti 200% navzgor, kjer je les srednje, hudo in popolnoma razgrajen, zveze vseh botaničnih vrst med relativno vlažnostjo in gostoto zelo dobro

opisuje ista enačba $\rho = 602,22 * \omega^{-0,745} [kg/m^3]$. Odstopanja od te enačbe se pojavijo pri šibko razgrajenem in ne razgrajenem lesu v območju relativne vlažnosti od 50% do 150% (Klaassen, 2007).



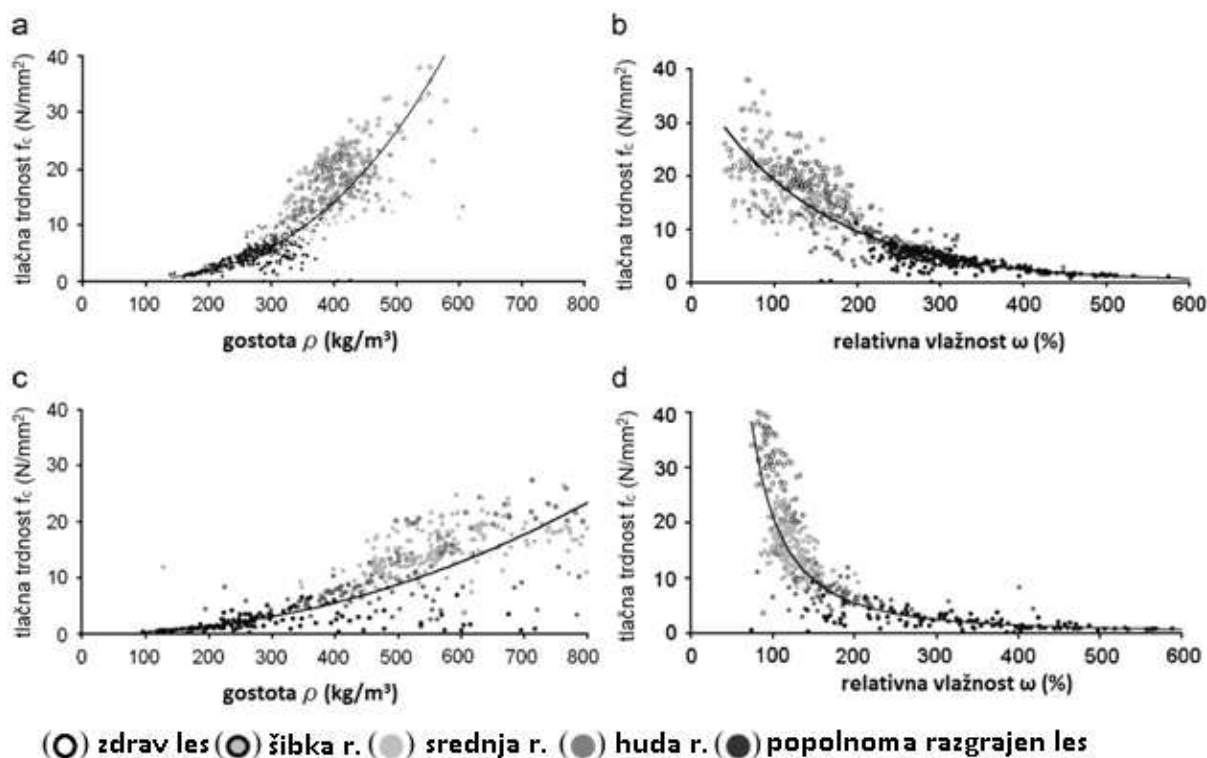
(○) zdrav les (◐) šibka r. (◑) srednja r. (◒) huda r. (●) popolnoma razgrajen les

Slika 7 Zveza med relativno vlažnostjo(ω) in gostoto(ρ) ter stopnjo razgradnje: (a) bor, (b) smreka, (c) jelša, (d) hrast (Klaassen, 2007)

Slika 8 prikazuje zvezo med tlačno trdnostjo, vlago in gostoto skupaj s stopnjo bakterijskega uničenja za les bora in hrasta. V raziskavi so bili uporabljeni vzorci s prostornino približno 12 cm^3 , vzeti iz lesenega pilota. Preučevanje zveze med tlačno trdnostjo, gostoto in relativno vlažnostjo razkrije, da sta si zvezi precej različni. V hrastu imamo zelo negativen efekt ob večanju relativne vlage na tlačno trdnost in sicer na območju relativne vlage med 100% in 150% tlačna trdnost hrasta zelo pade, pri relativni vlagi 200% in več pa tlačna trdnost v odvisnosti od relativne vlažnosti pada zelo počasi za razliko od bora, pri katerem tlačna trdnost v odvisnosti od relativne vlage vseskozi pada bolj enakomerno, a še vedno pri nižjih procentih relativne vlage

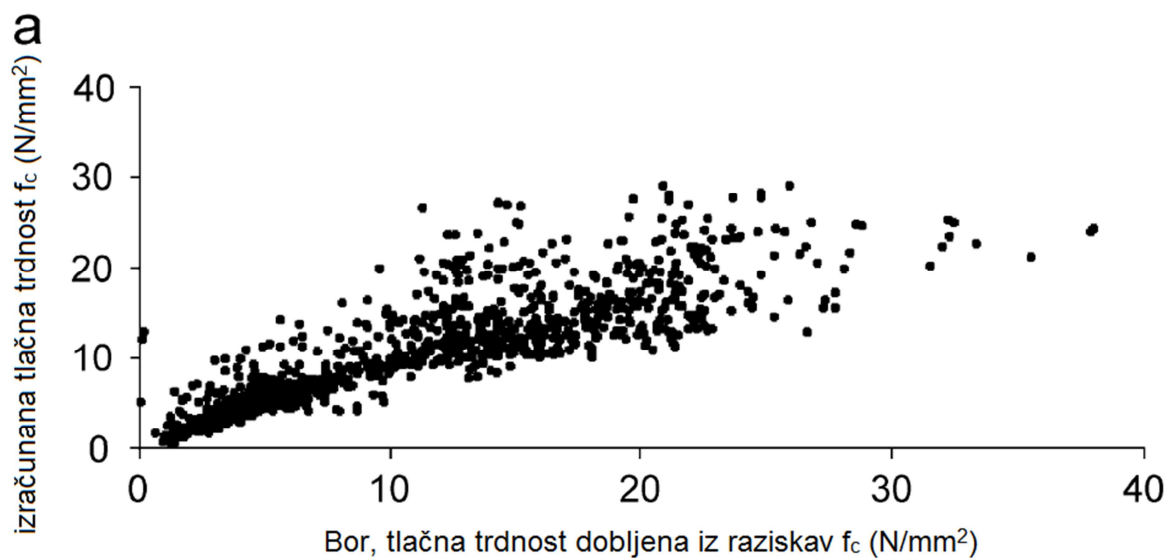
Šmid, G. 2014. Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja. Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

tlačna trdnost pada hitreje. Zveza med gostoto in tlačno trdnostjo ima manj odstopanj pri boru, pri katerem je dosežena tudi večja tlačna trdnost (Klaassen, 2007).

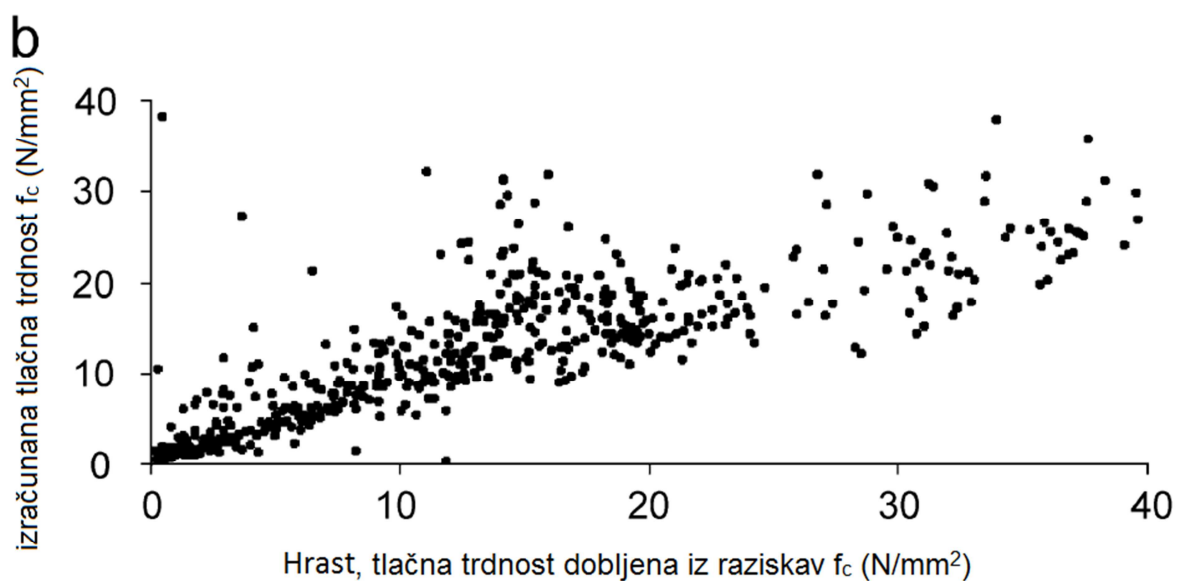


Slika 8 Zveza med tlačno trdnostjo in relativno vlažnostjo(ω), gostoto(ρ) ter stopnjo razgradnje: (a in c) bor, (b in d) hrast (Klaassen, 2007)

Tlačna trdnost lesenih pilotov je ključnega pomena pri oceni stabilnosti globokega temeljenja. Kot vidimo, obstaja dokaj natančna zveza med gostoto, relativno vlažnostjo in stopnjo bakterijskega uničenja, ki vse vplivajo na tlačno trdnost. Na podlagi omenjenih zvez je možno določiti tlačno trdnost lesa. Tlačno trdnost bora najbolje opiše formula $f_c = 38,543 * e^{-0,6965\omega} [N/mm^2]$, tlačno trdnost hrasta pa $f_c = 21,637 * e^{-1,9668\omega} [N/mm^2]$. V sliki 9 in 10 vidimo, da se vrednosti izračunanih tlačnih trdnosti zelo dobro ujemajo z vrednostmi tlačnih trdnosti, dobljenimi s preizkusi. Večja natančnost napovedovanja tlačne trdnosti je za vrednosti manjše od $15 N/mm^2$, nad to vrednostjo pa imamo nekoliko večja odstopanja (Klaassen, 2007).



Slika 9 Model za določitev tlačne trdnosti na podlagi relativne vlažnosti: bor (Klaassen, 2007)



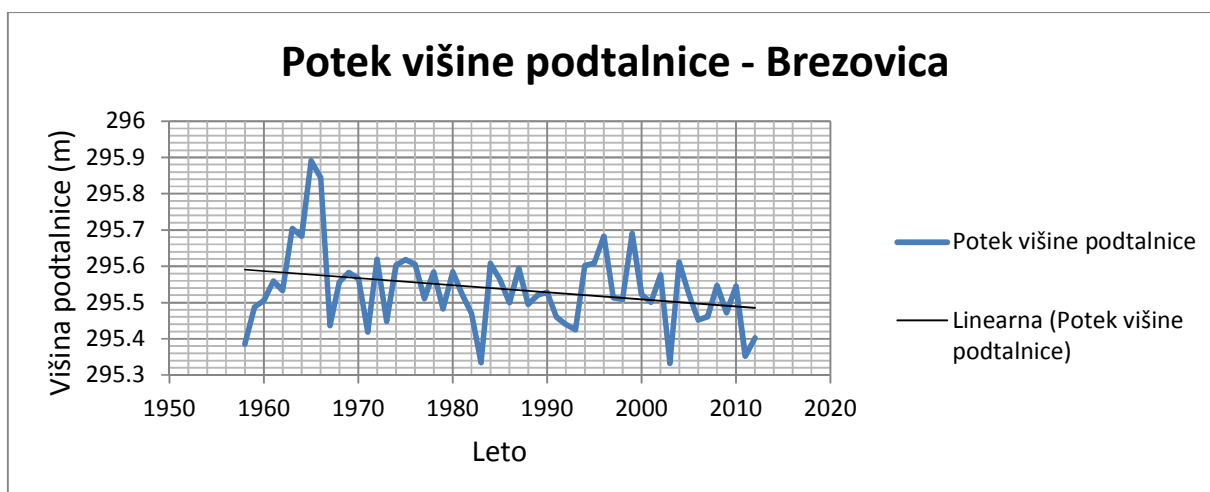
Slika 10 Model za določitev tlačne trdnosti na podlagi relativne vlažnosti: smrka (Klaassen, 2007)

Vrednosti izračunanih tlačnih trdnosti se dobro ujemajo z vrednostmi dobljenimi iz raziskav, razen nekaterih izjem. Rezultati dokazujejo, da bi lahko relativno vlažnost uporabljali, za določevanje tlačne trdnosti, ter bi s tem veliko hitreje in ceneje ugotovili, če so leseni piloti še dovolj nosilni.

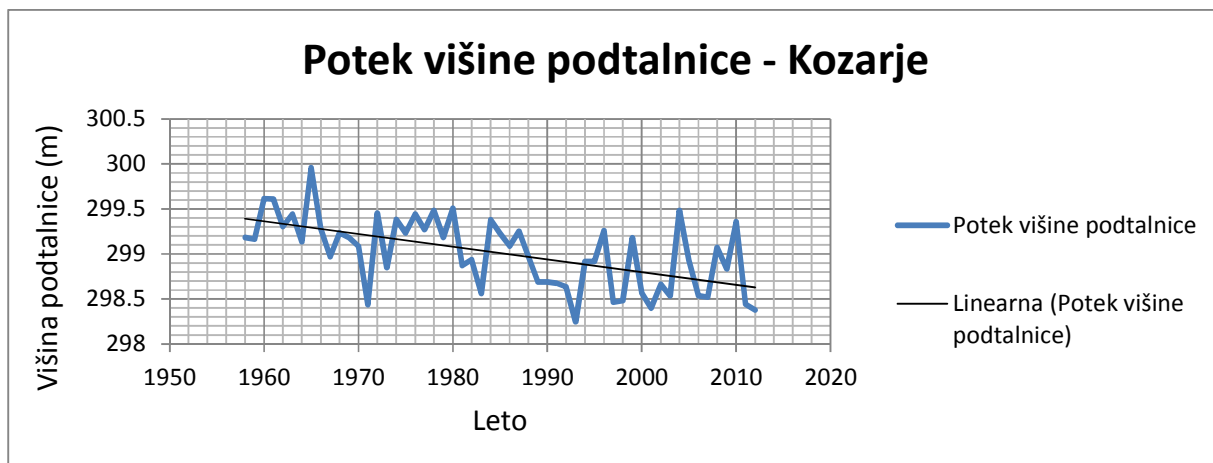
3. NIVO PODTALNICE LJUBLJANSKEGA BARJA

Za prikaz nivoja podtalnice Ljubljanskega barja skozi čas sem uporabil podatke o višinah podtalnic pridobljenih iz štirih hidroloških postaj po imenu Sinja Gorica, Kozarje, Črna vas in Brezovica. Podatki so bili zabeleženi med letoma 1958 in 2012, beležili pa so jih v razmiku nekaj dni, nikoli pa ne več kot en mesec. Za vsako leto sem s pomočjo programskega orodja Excel izračunal povprečno vrednost višine podtalnice ter te vrednosti predstavil v grafih na slikah 11, 12, 13 in 14. Ordinatna grafov prikazuje višine podtalnic, abscisna os pa prikazuje leta. Grafi torej prikazujejo povprečno vrednost višine podtalnice za vsako leto. Vsi podatki so bili pridobljeni iz spletne strani Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2014).

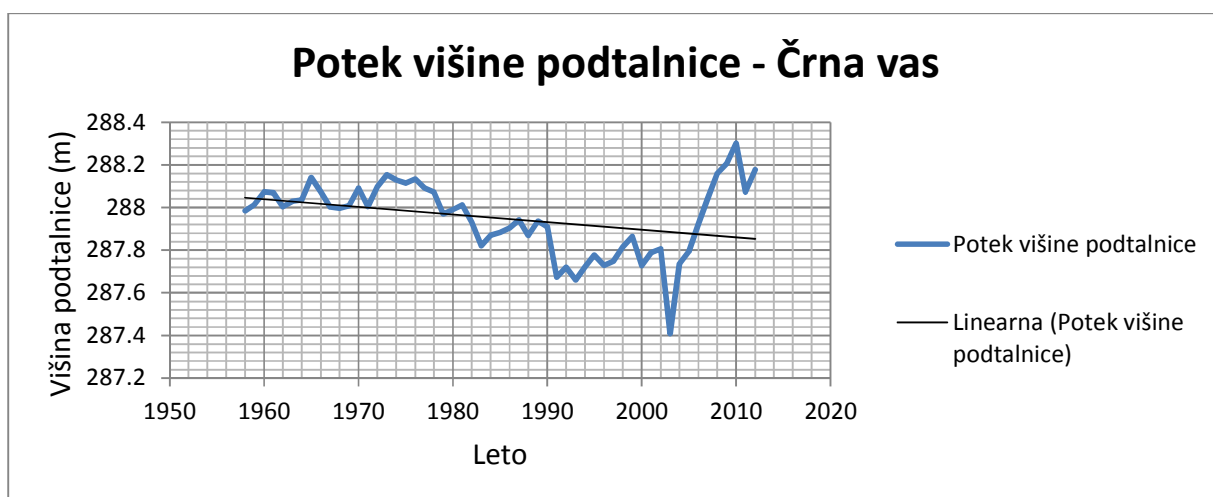
Iz grafov je razvidno, da nivo podtalnice Ljubljanskega barja zelo niha. V vsakem grafu imamo podano linearno funkcijo, ki najbolje opiše trend nivoja podtalnice skozi čas in vidimo, da v vsakem grafu linearen opis nivoja podtalnice pada, kar pomeni, da se nivo podtalnice niža. Z nižanjem podtalnice se v delih pilotov, ki niso več zasičeni z vodo ustvarijo, potencialno ugodni pogoji za razvoj gliv v lesu. Posledica nihanja vode je sprememba tlaka vode, ki deluje na lesen pilot, kar povzroči gibanje vode pilotu. Kot sem že omenil, je gibanje bakterij pogojeno z gibanjem vode v lesu, to pa pomeni, da se zaradi nihanja vode v pilotu lahko naselijo bakterije. Nihanje podtalnice Ljubljanskega barja torej omogoča zelo dobre hidrološke pogoje za razvoj gliv in bakterij v lesenih pilotih.



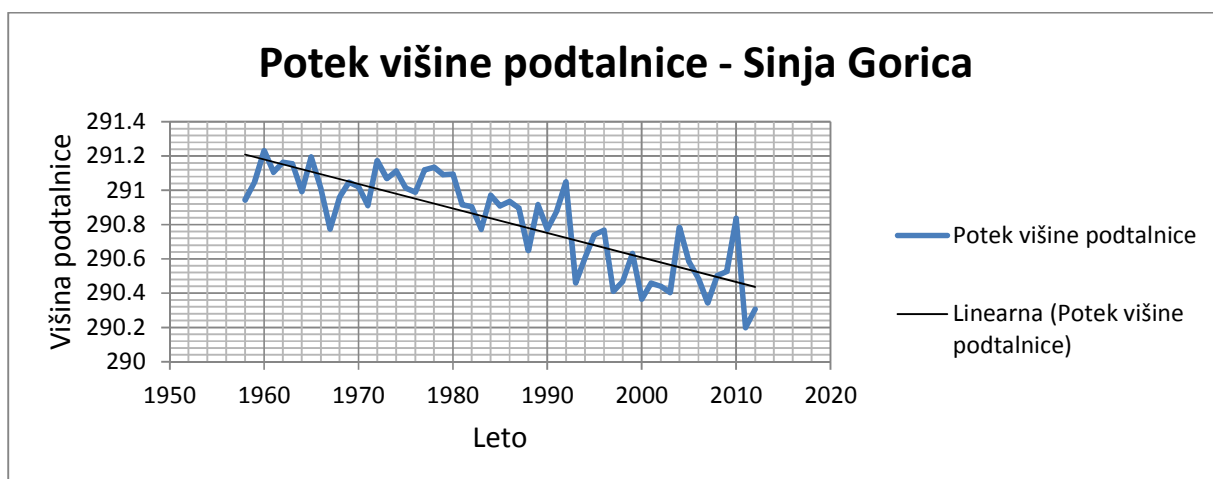
Slika 11 Potek višine podtalnice, Brezovica (ARSO, 2014)



Slika 12 Potek višine podtalnice, Kozarje (ARSO, 2014)



Slika 13 Potek višine podtalnice, Črna vas (ARSO, 2014)



Slika 14 Potek višine podtalnice, Sinja Gorica (ARSO, 2014)

4. SANACIJA

Posledica delovanja gliv in bakterij je slabšanje mehanskih lastnosti lesenih pilotov, kar poslabšuje nosilnost in ogroža stabilnost samega objekta. Alternativa odsluženim lesenim pilotom, ki niso več dovolj nosilni in togi je namestitev novega sistema temeljenja, ki nadomesti obstoječe temelje. Nov sistem temeljenja je običajno globoko temeljenje, za nadomestitev lesenih pilotov pa se uporablja različne vrste pilotov (mikropiloti, »pushpiers« in »helicalpiers«) ter izboljšanje tal z metodo jet grouting. Z omenjenimi metodami konstrukciji ponovno zagotovimo potrebno nosilnost in togost podlage (Vatovec & Kelley, 2007b).

4.1 Mikropiloti

Mikropilote sestavljajo rebraste jeklene palice in cementna mešanica, ki se vgradita v uvertano ali zabito jekleno cev ali pa se vgradita v predhodno izvrtano luknjo. So trenjski piloti majhnega premera, ki običajno znaša od 8 pa do 30 centimetrov in dolžine med 1 in 3 metri. Nosilnost se mobilizira s trenjem med pilotom in zemljino s tem pa ni potrebno, da se konico kola zabije v nosilno plast (Hayward Baker, 2014) Namestitev mikropilotov zahteva natančno projektiranje povezave konstrukcije z novim sistemom temeljenja. Pogosto je potrebno renovirati temeljno ploščo ali pa narediti novo. Nameščanje novih temeljev poteka v že obstoječih objektih, kar pomeni, da je manevrski prostor zelo majhen ter omejen z višino stropa. V kolikor se mini kole vgrajuje z zabijanjem ali uvrtnjem jeklene cevi, se med samim potekom vgrajevanja povzroča velike vibracije, teh problemov pa nimamo, če mikropilote vgradimo v predhodno izvrtano luknjo, ki se izvrtata s pomočjo svedra v obliki Arhimedovega vijaka (Vatovec & Kelley, 2007b).

4.2 Pushpiers in HelicalPiers

Oba sistema imata enostaven postopek vgradnje, njuna slabost pa je, da imata v primerjavi z drugimi sistemi manjšo nosilnost.

»Push-pier system« sestavlja več segmentov jeklenih cevi dolžine približno 1 m in premera do 10 cm, na katere se v osni smeri aplicira silo s pomočjo hidravlike pritrjene na objekt z jekleno pločevino, ki prenaša sile pilotov na objekt in obratno. Zaradi sile, aplicirane v osni smeri, se jeklena cev vtiska v zemljino do te mere, da nadaljnje vtiskanje ni več mogoče zaradi odpora zemljine. Tedaj je na kolu aplicirana maksimalna sila, ki jo lahko nanese s hidravliko in je dosežena končna nosilnost jeklenega kola. Maksimalna sila, aplicirana na jeklen kol, mora biti

večja ali enaka od izračunane obremenitve, z upoštevanjem varnostnih faktorjev. Kapaciteta sistema je odvisna od petih faktorjev(Perko, 2004):

- deleža obremenitev objekta, ki jih kol prevzame;
- povezave med jekleno pločevino in objektom;
- trdnosti jeklene pločevine in delom objekta s katerim je pločevina povezana;
- odpornosti jeklenih cevi;
- trenja zemljine in zemeljskega pritiska.

Uporaba te metode je primerna, ko je nosilna plast zemljine blizu površine, v kolikor pa je nosilna, plast globlje, je bolj primerna uporaba pilotov tipa »Helicalpiers« (Pier Tech,2014).

Pilot tipa »Helicalpier« je jeklena gred kvadratnega ali okroglega prereza, na katero se pritrdi eno ali več jeklenih pločevin, oziroma vijaknic. Gred je lahko sestavljena iz jeklenih palic polnega kvadratnega prereza, jeklenih palic z votlim prerezom ali iz cevi. Širine palic s polnim kvadratnim prerezom znašajo od 38 mm do 57mm, širine jeklenih palic z votlim prerezom od 50 mm do 100mm z debelino stene od 6 mm do 10 mm, premeri cevi pa običajno znašajo od 90 mm do 300mm, lahko pa tudi več, prav tako pa imajo cevi isto debelino stene kot jeklene palice z votlim prerezom. Premeri vijaknic oziroma okroglih jeklenih pločevin znašajo med 150 mm in 400mm, debeline pa znašajo od 9 mm do 13mm.

Za vse tovrstne pilote je značilno, da so na njih pritrjene okrogle jeklene pločevine v obliki vijaknice, katere spodnji rob leži nekaj centimetrov nižje od zgornjega robu. Tovrstna oblika okrogle jeklene pločevine omogoča, da se z vrtenjem grede rotacijske sile oziroma apliciran navor na gred pretvorijo v osne sile, ki omogočajo prodiranje jeklene grede v globino. Ko je jeklena gred v celoti uvrtna v tla, lahko po potrebi nanjo namestimo še eno gred z ali brez vijaknice ter nadaljujemo z vrtenjem. Večino obtežbe se v zemljino prenese preko vijaknice in zelo majhen delež preko jeklene gredi. Zadostna nosilnost na tak način uvrtnega pilota, z upoštevanjem varnostnih faktorjev, je dosežena ob vnaprej določenem torzijskem momentu. Moment tekom vgradnje pilota merimo, večji kot je apliciran moment na gred, večja je nosilnost jeklenega pilota (Pack, 2009).

Empirična zvezo med nanesenim momentom in nosilnostjo pilota zapišemo kot:

$$Q_u = k_t * T \quad (1)$$

Šmid, G. 2014. Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja. Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

V enačbi (1) je kot mejna nosilnost pilota označena z Q_u , k_t predstavlja empirično določen koeficient trenja (m^{-1}), T pa predstavlja izmerjen moment (kNm).

Dejanski koeficient trenja je odvisen od zemljine v katero pilot uvratmo ter od dimenzij vijačnic (Pack, 2009).

4.3 Jet grouting

Jet grouting temelji na ideji o poboljšanju temeljnih tal, ki sama ne zagotavljajo dovolj velike nosilnosti glede na predvideno obtežbo. Tla se poboljša z injiciranjem različnih injekcijskih mas pod visokimi pritiski, skozi vrtno drogovje v globino in skozi šobe ob rotaciji drogovja v okolje. Pri tem se ruši osnovna struktura temeljnih tal okolja, posamezna zrna zemljine pa se mešajo z injekcijsko maso. Za injekcijsko maso se najpogosteje uporablja vodo-cemente mase, lahko a tudi vodo-cementne-bentonitne mase. Po končanem injiciranju v zemlji nastanejo betonski slopi (Vatovec & Kelley, 2007b).

Jet grouting metodo se lahko uporablja tako za grobo kot za drobno zrnata tla in celo za srednje mehka in kohezivna tla. Glede na sestavo tal je potrebno izbrati ustrezno tehnologijo jet grouting postopka, prav tako pa je od same vrste temeljih tal odvisen premer betonskega stebra. Ločimo tri različne tehnologije jet grouting postopka, ki omogočajo enostaven in poceni način ali pa tehnološko bolj zahteven in dražji način poboljšanja mehanskih lastnosti temeljnih tal (Geoinvest,2014).

4.3.1 Enofazna tehnologija injiciranja T1

Pri enofazni tehnologiji se injicira suspenzijo vode in cementa, ki se pod pritiskom od 400-600 barov vbrizga v temeljna tla, kjer se pomeša z zemljino. Pri tej tehnologiji je vrtnje lahko udarno, najpogosteje pa je rotacijsko. Vrtno drogovje ima eno notranjo odprtino premera 60 mm ali več. Premeri betonskih slopov pri tej tehnologij variirajo med 40cm in 80cm, odvisno od zrnivosti zemljine (Geoinvest,2014).

Parametri, ki vplivajo na velikost izdelanega premera slopa so tlak injiciranja, število in velikost odprtin, vodo-cementni faktor injekcijske mase, hitrost dvigovanja drogovja, trajanje rotacije (število obratov) ter poraba mase (Geoinvest,2014)

4.3.2 Dvofazna tehnologija injiciranja ($T_{1/B}$ in $T_{1/S}$)

$T_{1/B}$: Pri tej različici dvofazne tehnologije se ločeno dovaja voda in injekcijska masa, zato potrebujemo drogovje z dvema notranjimi odprtinama, tako da tekočini vstopata v zemljino ločeno. Skozi zgornje šobe vrtalne glave se vbrizgava vodo pod pritiskom 400 do 600 barov, ki ruši strukturo zemljini in izpira manjše frakcije zemljine, kot so gline in melji iz vplivnega območja injiciranja. Skozi spodnje šobe hkrati vtiskamo injekcijsko maso pod manjšimi pritiski okoli 50 do 70 bar, ki se meša s porušeno zemljino. Zaradi rušenja zemljine z vodnim curkom, se injekcijska masa dobro meša s temeljnimi tlemi, tako da pri tej tehnologije nastanejo betonski slopi z nekoliko večjim premerom, kot pri tehnologiji T_1 , premera od 40 cm do 100 cm (Geoinvest,2014).

$T_{1/S}$: Pri tej tehnologiji se ločeno dovaja komprimiran zrak pod tlakom od 5 do 14 barov in injekcijska masa pod tlakom med 50 in 70 bari, zato potrebujemo dvojno drogovje. Premer izdelanega slopa je še nekoliko večji kot pri tehnologiji $T_{1/B}$, znašajo pa od 60 cm do 140cm. Postopek vrtnja poteka ločeno od postopka injiciranja, to pomeni, da se najprej izdelava vrtina ter nato vanjo vstavimo drogovje za injiciranje (Geoinvest,2014).

Poleg šestih parametrov tehnologije T_1 , na premer betonskega slopa vplivata tudi pritisk in pretok zraka (Geoinvest,2014).

4.3.3 Trofazna tehnologija injiciranja T_2

Trofazna tehnologija jet grouting metode je metoda, pri kateri se struktura zemljine ruši pod vodnim pritiskom med 400 do 600 bari. Skozi zgornjo šobo vstopa zrak pod tlakom med 6 in 10 bari, injekcijska masa pa vstopa skozi spodnje šobe vrtalnega drogovja pod pritiskom med 50 in 70 bari. Sama izvedba te tehnologije je najbolj zapletena, saj uporabljamo trodelno drogovje, skozi katerega dovajamo zrak, vodo in injekcijsko maso. S to tehnologijo se lahko izdelava betonske slope premera od 140 cm do 200 cm (Geoinvest,2014).

Na premer betonskega slopa pri trofazni tehnologiji vpliva tlak injiciranja, število in velikost odprtín, vodo-cementni faktor injekcijske mase, hitrost obratov na istem mestu, tlak vode, premer in število odprtín za prehajanje zraka in pritisk ter pretok zraka (Geoinvest,2014).

5. ZAKLJUČEK

Prisotnosti gliv ali bakterij se v lesenih pilotih praktično ne moremo izogniti, sploh pa ne v pogojih kot jih ima Ljubljansko barje, kjer imamo prisotno stalno nihanje podtalnice ter za razvoj gliv in bakterij primerno sestavo zemljine. Proces razgradnje pilotov zaradi bakterij je odvisen od mnogih dejavnikov, najbolj pa je odvisen od botanične vrste lesa ter od zmožnosti pretoka vode skozi les. Bakterije razgrajujejo beljavo veliko hitreje kot stržen, zato je zelo pomembno, koliko imamo v lesenem pilotu beljave in stržena. Na samo razgradnjo pa verjetno vpliva tudi letni čas sečnje, izvor lesa ter koliko časa je minilo od sečnje in vgradnjo, vendar pa je njihov vpliv zaradi pomanjkanja podatkov nemogoče določiti. Delovanje gliv je omogočeno ob zadostni količini kisika, primerni relativni vlažnosti in temperaturi v lesenih pilotih. Najhitreje razgrajujejo les glive bele in rjave trohnobe obe vrsti gliv pa pogosteje napadejo les listavcev.

Ker delovanje gliv in bakterij vpliva na nosilnost, tako da jo zmanjšuje, je potrebno odslužene lesene pilote sanirati. Sanacije se ne izvaja na način, da bi obstoječim lesenim pilotom ponovno povrnili zadostno nosilnost, ampak se namesto tega izvede nov način temeljenja, ki pa je zelo drago, zato bi bilo v praksi večjo pozornost potrebno nameniti izdelavi bolj odpornih lesenih pilotov in se s tem izognili poslabšanju nosilnosti v prihodnosti.

Viri

ARSO. 2014.

http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pod_arhiv_tab.php (Pridobljeno 16. 09. 2014.)

Geoinvest. 2014.

<http://www.geoinvest.si/default.aspx?ID=109> (Pridobljeno 01. 08. 2014.)

Hayward Baker. 2014.

<http://www.haywardbaker.com/WhatWeDo/Techniques/StructuralSupport/Micropiles/default.aspx>
(Pridobljeno 1. 8. 2014.)

Kacafura, I. P., 2009. Les.

<http://www.sms-muzeji.si/udatoteke/publikacija/netpdf/2-9.pdf> (Pridobljeno 16. 9. 2014.)

Klaassen, R. K. W. M. 2006. Water flow through wooden foundation pile: A preliminary study. *International Biodeterioration & Biodegradation* 61, 1: 61-68.

Klaassen, R. K. W. M. 2007. Bacterial decay in wooden foundation piles—Patterns and causes: A study of historical pile foundations in the Netherlands. *International Biodeterioration & Biodegradation* 61: 45-60.

Klaassen, R. K. W. M. 2012. Factors that influence the speed of bacterial wood degradation. *Journal of Cultural Heritage* 13, 3: 129-134.

Logar, J. 2014. Zahteva za informacijo o številu objektov temeljenih na lesenih pilotih in o vrstah uporabljenega lesa. Sporočilo za Šmid, G. 7. 7. 2014. Osebna komunikacija.

Pack, J. S., 2009. Heli Pile.

<http://www.helipile.com/pdf/DesignGuide4Rev2.pdf> (Pridobljeno 1. 8. 2014.)

Perko, H. A., 2004. Magnum Steel Push Pier.

http://www.magnumpiering.com/shared/content/pdfs/Magnum_Steel_Push_Piering_Manual_-_5-10-04_web.pdf (Pridobljeno 1. 8. 2014.)

Pogljajen, M. 2008. Določanje mejnih fungicidnih vrednosti borove kisline. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta (samozaložba M. Pogljajen): str. 61-63

Schmidt, O. 2006. *Wood and Tree Fungi*. Hamburg, Springer Berlin Heidelberg: 334 str

Pier Tech. 2014.

<http://www.piertech.com/products/push-piers.html> (Pridobljeno 1. 8. 2014.)

Trauner, L. 2000. Reološke sovistnosti za polžarico iz Ljubljanskega barja. V: Majes, B. (ur.), Gaberc, A. M. (ur.). 1. Šukljjetovi dnevi, 12. oktober 2000. Ljubljana, S. n: str. 163-174.

Vatovec, M. & Kelley, P. 2007a. Biodegradation of Untreated Wood Foundation Piles In Existing Buildings. *Structure Magazine*, September: 53-56.

Vatovec, M. & Kelley, P. L. 2007b. Biodegradation of Untreated Wood Foundation Piles in Existing Buildings. *Structure Magazine*, December: 15-17.

Šmid, G. 2014. Temeljenje stanovanjskih objektov na mehkih tleh Ljubljanskega barja.
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.
