

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Maja KOLAR

**VPLIV VELIKOSTI IN KOLIČINE ZEOLITNIH DELCEV NA
ZADRŽEVANJE VODE V RASTNIH SUBSTRATIH ZA OKRASNE
RASTLINE**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**INFLUENCE OF GRADING AND QUANTITY OF ZEOLITE
PARTICLES ON THE WATER RETENTION IN THE GROWING
MEDIA FOR ORNAMENTAL PLANTS**

DOCTORAL DISSERTATION

Ljubljana, 2013

Doktorska disertacija je bila opravljena na Biotehniški fakulteti, Oddelku za agronomijo, Katedri za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora in ekonomiko ter razvoj podeželja. Fizikalne in kemijske analize rastnih substratov so bile opravljene na Silva Tarouca Research Institute for Landscape and Ornamental Gardening, Pruhonice, Češka, Department of Technology. Rastni poskus je bil postavljen na Vrtnariji Reš v Mošnjah pri Podvinu in v rastlinjaku Biotehniške fakultete, Oddelek za agronomijo, Katedre za sadjarstvo, vinogradništvo in vrtnarstvo.

Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani ter po sklepu Senata Biotehniške fakultete in sklepa Senata Univerze z dne 25.3. 2008 je bilo potrjeno, da kandidatka izpolnjuje pogoje za neposredni prehod na doktorski Podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti ter opravljanje doktorata znanosti s področja agronomije. Za mentorico je bila imenovanaizr. prof. dr. Marina Pintar.

Komisija za oceno in zagovor:

- Predsednik: prof. dr. Gregor OSTERC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- Članica: prof. dr. Marina PINTAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- Članica: prof. dr. Martina BAVEC
Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede

Datum zagovora:

Doktorska disertacija je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Podpisana se strinjam z objavo svojega dela v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Maja KOLAR

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dd
DK UDK 631.544.4: 631.674.2: 549.67: 631.432.24: 635.9 (043.3)
KG rastni substrat/zeolitni delci/fizikalne lastnosti/kemijske lastnosti/krivulja vodno-zadrževalnih lastnosti/zaboj s peskom/kontejnerska kapaciteta/pelargonija/*Pelargonium zonale*/namakanje/poplavne mize
KK AGRIS F01/F06/F08
AV KOLAR, Maja, univ. dipl. inž. agronomije
SA PINTAR, Marina (mentorica)
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti, znanstveno področje agronomije
LI 2013
IN VPLIV VELIKOSTI IN KOLIČINE ZEOLITNIH DELCEV NA ZADRŽEVANJE VODE V RASTNIH SUBSTRATIH ZA OKRASNE RASTLINE
TD Doktorska disertacija
OP XIII, 105 str., 21 pregl., 42 sl., 3 pril., 79 vir.
IJ sl
JI sl / en
AI Dodatki zeolita v rastne substrate vplivajo na spreminjanje njihovih lastnosti. Učinek temelji na velikosti in količini dodanega zeolita. Namen zastavljene naloge je bil primerjati učinek granuliranih in mikronskih zeolitnih delcev na fizikalne in kemijske parametre šotnih rastnih substratov na rast pelargonij *Pelargonium zonale* L. 'Esprit' ter jih po kakovosti primerjati z rastnimi substrati, ki na trgu že obstajajo. Želeli smo ugotoviti tudi, ali lahko pripravimo kakovosten rastni substrat za okrasne rastline tudi z dodatkom precej cenejšega granuliranega zeolita v manjših in večjih količinah, 50 kg/m³ in 150 kg/m³. Kemijske in fizikalne analize rastnih substratov so bile izmerjene po evropskih standardih. Vodno-zadrževalne krivulje so bile določene na zaboji s peskom. Ob koncu poskusa smo rastlinam določali parametre kakovosti. Ugotovili smo, da imajo vsi obravnavani rastni substrati dobre fizikalne lastnosti za rast rastlin glede poroznosti, EAW in vsebnosti zraka. Rastni substrati z dodatkom mikronskega zeolita imajo nekoliko boljše sposobnost zadrževanja vode preko celotnega merjenega območja vodnega potenciala. Rastni poskus je pokazal, da je najboljša kakovost rastlin dosežena pri rastnih substratih z dodatkom mikronskega zeolita, še posebej v količini 40 kg/m³, saj so rastline pokazale boljše kakovost kot pri primerjalnih tržnih rastnih substratih. Poskus je pokazal, da je možno gojiti kakovostne rastline tudi v rastnih substratih z dodatkom granuliranega zeolita, ki je cenovno ugodnejši, vendar le v količinah 50 kg/m³ ali manj.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dd
DC UDC 631.544.4: 631.674.2: 549.67: 631.432.24: 635.9 (043.3)
CX growing media/zeolite particles/physical properties/chemical properties/water-retention curve/sand box/container capacity/pelargonium/*Pelargonium zonale* /irrigation/ebb-flow
CC AGRIS F01/F06/F08
AU KOLAR, Maja
AA PINTAR, Marina (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University in Ljubljana, Biotechnical Faculty, Postgraduate Study of Biological and Biotechnical Sciences, Field: Agronomy
PY 2013
TI INFLUENCE OF GRADING AND QUANTITY OF ZEOLITE PARTICLES ON THE WATER RETENTION IN THE GROWING MEDIA FOR ORNAMENTAL PLANTS
DT Doctoral dissertation
NO XIII, 105 p., 21 tab., 42 fig., 3 ann., 79 ref.
LA sl
AL sl / en
AB Zeolite amendment changes the properties of growing media. The effect depends on the rate and grading of the added zeolites. The aim of the work was to compare the effect of granulated and powdered zeolites on the physical and chemical properties of peat based growing media and on the growth of *Pelargonium zonale* L. 'Esprit', to compare these zeolite amended growing media with commercial growing media used in Slovenian horticultural enterprises. We wanted to find out whether it was possible to prepare quality peat based growing medium amended with granulated zeolite in both low and high quantities, 50 kg/m³ and 150 kg/m³. Chemical and physical properties were analysed according to European standards. Water-retention curves were determined in a sand box. At the end of the experiment, the plants were evaluated for different parameters of quality. All growing media tested had good physical properties for plant growth, in terms of total pore space, EAW and air pore space. Growing media with powdered zeolite had rather higher water holding capacity over the entire measured water potential range. The best growth was recorded in growing media with powdered zeolite, especially in the amount of 40 kg/m³, where plants showed even better quality than in the commercial growing media. Plants of good marketable quality were also grown in growing medium with 50 kg/m³ of added granulated zeolite. The experiment showed that it is possible to use growing media amended with granulated zeolite with a lower price but only in quantities of 50 kg/m³ or less.

KAZALO VSEBINE

| | Str. |
|--|-----------|
| Ključna dokumentacijska informacija | III |
| Key words documentation | IV |
| Kazalo vsebine | V |
| Kazalo preglednic | X |
| Kazalo slik | XII |
| Kazalo prilog | XV |
| Okrajšave in simboli | XVI |
| 1 UVOD | 1 |
| 1.1 PROBLEMATIKA DOKTORSKE DISERTACIJE | 1 |
| 1.2 NAMEN RAZISKAVE | 1 |
| 1.3 DELOVNE HIPOTEZE | 2 |
| 2 PREGLED OBJAV | 3 |
| 2.1 RASTNI SUBSTRAT | 3 |
| 2.1.1 Definicija rastnega substrata | 3 |
| 2.1.2 Naloge rastnega substrata | 3 |
| 2.2 LASTNOSTI RASTNEGA SUBSTRATA | 3 |
| 2.2.1 Fizikalne lastnosti | 3 |
| 2.2.2 Kemijske lastnosti rastnih substratov | 9 |
| 2.2.3 Fitosanitarne ali biotične lastnosti rastnih substratov | 13 |
| 2.2.4 Pleveli | 14 |
| 2.3 SESTAVINE RASTNIH SUBSTRATOV | 14 |
| 2.3.1 Substratne mešanice – teorija in praksa | 15 |
| 2.3.2 Splošne zahteve za rastne substrate | 16 |
| 2.3.3 Organske sestavine rastnih substratov | 17 |
| 2.3.4 Mineralne sestavine rastnih substratov | 25 |
| 2.3.5 Sintetične sestavine rastnih substratov | 30 |
| 2.4 NAMAKANJE V RASTLINJAKIH | 31 |
| 2.4.1 Načini namakanja v rastlinjakih | 31 |
| 2.4.2 Nadzorovanje pravilnosti namakanja | 34 |
| 2.4.3 Evapotranspiracija | 34 |
| 2.4.4 Gibanje vode v rastlinah | 35 |
| 2.4.5 Naloge koreninskega sistema rastlin | 35 |
| 2.4.6 Območje korenin | 36 |
| 2.5 METODE ZA MERJENJE FIZIKALNIH IN KEMIJSKIH LASTNOSTI RASTNIH SUBSTRATOV | 37 |
| 2.6 PELARGONIJE | 37 |
| 2.6.1 Splošen opis pelargonij | 38 |
| 2.6.2 Morfologija pelargonij zonalk | 38 |
| 2.6.3 Gojenje pelargonij | 39 |
| 3 MATERIALI IN METODE DELA | 42 |
| 3.1 SESTAVA UPORABLJENIH RASTNIH SUBSTRATOV | 42 |
| 3.2 LASTNOSTI ZEOLITNEGA TUFA | 43 |
| 3.2.1 Kemijska sestava | 44 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.2.2 | Mineralna sestava | 45 |
| 3.2.3 | Gostota | 45 |
| 3.2.4 | Kationska izmenjalna kapaciteta zeolitnega tufa | 46 |
| 3.3 | RAZISKOVALNI POSKUSI | 46 |
| 3.3.1 | Potek poskusa z namakanjem rastnih substratov v lončkih | 46 |
| 3.3.2 | Merjenje fizikalnih in kemijskih lastnosti rastnih substratov po evropskih standardih ali metodi CEN | 48 |
| 3.3.3 | Predposkus rastnega poskusa na vrtnariji Reš | 55 |
| 3.3.4 | Poskus z rastlinami na Biotehniški fakulteti | 56 |
| 3.4 | STATISTIČNE ANALIZE | 59 |
| 4 | REZULTATI IN RAZPRAVA | 60 |
| 4.1 | POSKUS Z NAMAKANJEM RASTNIH SUBSTRATOV V LONČKIH | 60 |
| 4.1.1 | Primerjava volumskega odstotka vode (vol. %) v različnih rastnih substratih po 72 urah osuševanja | 60 |
| 4.1.2 | Zadrževanje vode v rastnih substratih glede na različen čas namakanja | 62 |
| 4.2 | FIZIKALNE ANALIZE RASTNIH SUBSTRATOV | 63 |
| 4.2.1 | Laboratorijsko stisnjena gostota (g/l) | 63 |
| 4.2.2 | Gostota določena po standardu EN 13041 | 64 |
| 4.2.3 | Poroznost po standardu EN 13041 | 65 |
| 4.2.4 | Linearno regresijska povezava med laboratorijsko gostoto in poroznostjo EN 13041 | 66 |
| 4.2.5 | Volumni vode in zraka v rastnih substratih | 67 |
| 4.2.6 | Primerjava gostote rastnih substratov, merjene po metodi Fontena in po standardu EN 13 041 | 77 |
| 4.3 | KEMIJSKE ANALIZE RASTNIH SUBSTRATOV | 78 |
| 4.3.1 | Vrednosti pH rastnih substratov po standardu EN 13 037 | 79 |
| 4.3.2 | Elektroprevodnost rastnih substratov po standardu EN 13 038 | 80 |
| 4.3.3 | Dostopna hranila v rastnih substratih, merjena po standardu EN 13 651 | 81 |
| 4.4 | POSKUS Z RASTLINAMI | 82 |
| 4.4.1 | Višina rastlin (cm) dosežena v obravnavanih rastnih substratih | 82 |
| 4.4.2 | Povprečna širina rastlin (cm), dosežena v obravnavanih rastnih substratih | 83 |
| 4.4.3 | Povprečna dolžina korenin (cm), dosežena v obravnavanih rastnih substratih | 84 |
| 4.4.4 | Povprečno število listov na rastlino v obravnavanih rastnih substratih | 85 |
| 4.4.5 | Povprečno število cvetov na rastlino v obravnavanih rastnih substratih | 86 |
| 4.4.6 | Povprečna masa nadzemnega dela in korenin rastlin (g) ter njuno razmerje v obravnavanih rastnih substratih | 87 |
| 4.4.7 | Povprečna masa biomase rastlin (g) v obravnavanih rastnih substratih | 88 |
| 4.4.8 | Povprečna suha masa nadzemnega dela in korenin rastlin (g) ter njuno razmerje v obravnavanih rastnih substratih | 89 |

| | | |
|----------|---------------------------|-----|
| 5 | RAZPRAVA IN SKLEPI | 90 |
| 5.1 | RAZPRAVA | 90 |
| 5.2 | SKLEPI | 96 |
| 6 | POVZETEK (SUMMARY) | 97 |
| 6.1 | POVZETEK | 97 |
| 6.2 | SUMMARY | 99 |
| 7 | VIRI | 101 |
| | ZAHVALA | |
| | PRILOGE | |

KAZALO PREGLEDNIC

| | Str. |
|---|------|
| Preglednica 1: Primernost določenega volumna (%) zračnih por za rastlinsko proizvodnjo v loncih (Bodman in Sharman, 1993: 4) | 6 |
| Preglednica 2: Standardi za električno prevodnost rastnih substratov, ki temeljijo na 1:1,5 volumskem ekstraktu. Enote za prevodnost so v milisiemensih/cm (mS/cm) (Bodman in sod., 1993: 20) | 11 |
| Preglednica 3: Kationske izmenjalne kapacitete (cmol/kg) različnih sestavin rastnih substratov (Raviv in Lieth, 2008: 211) | 13 |
| Preglednica 4: Fizikalne lastnosti šote (Wever in Pon, 1990, cit. po Aendekerk in sod., 2000: 49) | 19 |
| Preglednica 5: Kemijske lastnosti šote. Povprečja temeljijo na ekstrakciji s trikrat navlaženim rastnim substratom (Wever in Pon, 1990, cit. po Aendekerk in sod., 2000: 50) | 20 |
| Preglednica 6: Poenostavljen klasifikacijski sistem za šoto (Kivinen, 1980: 463) | 21 |
| Preglednica 7: Fizikalne lastnosti borovega lubja velikosti 7-15 mm (Bos in sod., 2003: 33) | 23 |
| Preglednica 8: Fizikalne lastnosti lesnih vlaken (Bos in sod., 2003: 35) | 24 |
| Preglednica 9: Fizikalne lastnosti kokosovih vlaken (Bos in sod., 2003: 32) | 25 |
| Preglednica 10: Fizikalne lastnosti vulkanskega peska (Bos in sod., 2003: 36) | 26 |
| Preglednica 11: Izbira glinenega materiala glede na željen učinek v rastnem substratu (Bos in sod., 2003: 38) | 27 |
| Preglednica 12: Fizikalne lastnosti perlita velikosti 1-8 mm (Bos in sod., 2003: 41) | 28 |
| Preglednica 13: Fizikalne lastnosti različnih frakcij zeolita (Raviv in Lieth, 2008) | 30 |
| Preglednica 14: Potrebna količina hranil v mg/l rastnega substrata na začetku in na koncu rasti pelargonij (Elsner in sod., 1995: 54) | 41 |
| Preglednica 15: Sestavine in sestava v raziskavi uporabljenih rastnih substratov | 42 |
| Preglednica 16: Rezultati kemijskih analiz zeolitnega tufa Zaloške Gorice (Žibrat, 2009) | 44 |
| Preglednica 17: Minerološka sestava zeolitnega tufa (Žibrat, 2009) | 45 |
| Preglednica 18: Kemijska sestava zeolitnega tufa iz Zaloških Goric (Žibrat, 2009) | 45 |
| Preglednica 19: Pregled poskusov, ki so bili izvedeni v okviru izdelave doktorske disertacije | 46 |
| Preglednica 20: Začetna masa in 20 % večja masa rastnega substrata | 47 |
| Preglednica 21: Kemijske lastnosti rastnih substratov, merjene po standardih EN pred dodatkom SRF in CRF. Tržni rastni substrat J6 je pri merjenju že imel dodan SRF. | 78 |

KAZALO SLIK

| | Str. |
|--|------|
| Slika 1: Prikaz zmanjšanja končne prostornine substratne mešanice. Pred mešanjem je prostornina 2000 ml, po mešanju pa 1675 ml (Raviv in Lieth, 2008: 524) | 4 |
| Slika 2: Primer krivulje vodno-zadrževalnih lastnosti. Vsebnost vode pri saturaciji je 76,5 vol. %, vsebnost nedostopne vode je 24 vol. % (Raviv and Lieth, 2008: 121) | 9 |
| Slika 3: Dostopnost hranil v organskih rastnih substratih v odvisnosti od vrednosti pH (Bodman in Sharman, 1993: 15) | 10 |
| Slika 4: Na kationskih izmenjalnih mestih talnih koloidov poteka preferenčna izmenjava adsorbiranih kationov s kationi iz talne raztopine (Leštan, 2003: 35) | 12 |
| Slika 5: Sestavine rastnih substratov (Kolar, 2007) | 15 |
| Slika 6: Struktura zeolita in njegove lastnosti (Qian R., 2011) | 29 |
| Slika 7: Slika pelargonije (Taylor, 1990: 11) | 39 |
| Slika 8: Slika enega izmed uporabljenih rastnih substratov, Z50 (2007) | 43 |
| Slika 9: Namakanje lončkov na poplavnih mizah (Biotehniška fakulteta, 2007). | 48 |
| Slika 10: Oprema za drenažo dvojnih obročev in regulacijo podtlaka (EN 13041, 1991: 15) | 49 |
| Slika 11: Testni cilinder (EN13040: 13) | 50 |
| Slika 12: Poskusne rastline v rastlinjaku (Biotehniška fakulteta, 2007) | 58 |
| Slika 13: Določevanje sveže mase nadzemnega dela rastlin (Biotehniška fakulteta, 2007) | 58 |
| Slika 14: Določevanje sveže mase korenin rastlin (Biotehniška fakulteta, 2007). | 58 |
| Slika 15: Primerjava volumskega odstotka vode v različnih rastnih substratih po 72 urah osuševanja med različnima višinama namakanja ($v_1 = 4$ cm, $v_2 = 2$ cm) in različnima gostotama ($g_1 =$ začetna gostota, $g_2 =$ povečanje začetne gostote za 20 %). Različne črke označujejo statistično značilne razlike po Duncanovem preizkusu mnogoterih primerjav, $P < 0.05$ ($N=8$) | 61 |
| Slika 16: Zadrževanje vode v rastnih substratih glede na različen čas namakanja, $P > 0,05$, ($N=64$) | 62 |
| Slika 17: Povprečne vrednosti laboratorijsko stisnjene gostote v g/l, merjeno po standardu EN 13040 za obravnavane rastne substrate. Različne črke označujejo statistično značilne razlike po Duncanovem preizkusu mnogoterih primerjav, $P < 0.05$ ($N=3$) | 63 |
| Slika 18: Povprečne vrednosti laboratorijske gostote g/cm^3 za obravnavane rastne substrate, določene po standardu EN 13041. Različne črke označujejo statistično značilne razlike po Duncanovem preizkusu mnogoterih primerjav, $P < 0.05$ ($N=3$) | 64 |

| | |
|--|----|
| Slika 19: Povprečne vrednosti poroznosti v volumskih % za obravnavane rastne substrate, določene po standardu EN 13041. Različne črke označujejo statistično značilne razlike po Duncanovem preizkusu mnogoterih primerjav, $P < 0.05$ ($N=3$) | 65 |
| Slika 20: Linearno regresijska povezava med laboratorijsko gostoto (g/cm^3) in poroznostjo EN 13041 (vol.%) rastnih substratov, $P < 0,01$ | 66 |
| Slika 21: Primerjava rastnih substratov pri tenziji 10 cm vodnega stolpca za vodni volumen (WV) v vol. %, $P > 0,05$ ($N=3$) | 67 |
| Slika 22: Primerjava rastnih substratov pri tenziji 50 cm vodnega stolpca za vodni volumen (WV) v vol. %, $P < 0,05$ ($N=3$) | 68 |
| Slika 23: Primerjava rastnih substratov pri tenziji 100 cm vodnega stolpca za vodni volumen (WV) v vol. %, $P < 0,05$ ($N=3$) | 69 |
| Slika 24: Primerjava rastnih substratov pri tenziji 10 cm vodnega stolpca za zraka volumen (AV) v vol. %, $P > 0,05$ ($N=3$) | 70 |
| Slika 25: Primerjava rastnih substratov pri tenziji 50 cm vodnega stolpca za volumen zraka (AV) v vol. %, $P < 0,05$ ($N=3$) | 71 |
| Slika 26: Primerjava rastnih substratov pri tenziji 100 cm vodnega stolpca za volumen zraka (AV) v vol. %, $P < 0,05$ ($N=3$) | 72 |
| Slika 27: Povprečne količine vode (vol. %) v rastnih substratih pri različnih tenzijah vodnega stolpca | 73 |
| Slika 28: Krivulja vodno-zadrževalnih lastnosti obravnavanih rastnih substratov merjeno po standardu EN 13 041 (1999) | 74 |
| Slika 29: Povprečne vrednosti za vsebnosti vode v rastnih substratih v različnih območjih zadrževanja vode; EAW, WBC AW. Različne črke označujejo statistično značilne razlike po Duncanovem testu mnogoterih primerjav, ($N=3$) | 75 |
| Slika 30: Primerjava povprečnih vrednosti vsebnosti vode pri kontejnerski kapaciteti lonca določena po metodi Fontena in po standardu EN 13 041 (1999) na zaboju s peskom, $N=18$. | 76 |
| Slika 31: Primerjava volumskih gostot (g/cm^3), merjenih po metodi Fontena in po standardu EN 13 041. Različne črke označujejo statistično značilne razlike po Duncanovem testu mnogoterih primerjav, ($N=3$) | 77 |
| Slika 32: Vrednosti pH rastnih substratov po standardu EN 13 037, vodna ekstrakcija 1v/5v | 79 |
| Slika 33: Elektroprevodnost rastnih substratov (mS/cm), izmerjena po standardu EN 13 038 | 80 |
| Slika 34: Dostopna hranila v rastnih substratih (mg/l), merjena po standardu EN 13 651. | 81 |
| Slika 35: Povprečna višina (cm), ki so jo rastline dosegle v obravnavanih rastnih substratih, $P > 0.05$, ($N=10$) | 82 |
| Slika 36: Povprečna širina rastlin (cm), dosežena v obravnavanih rastnih substratih. $P < 0.05$, ($N=10$). | 83 |

| | |
|--|----|
| Slika 37: Povprečna dolžina korenin rastlin (cm), dosežena v obravnavanih rastnih substratih. $P > 0.05$, (N=10) | 84 |
| Slika 38: Povprečno število listov na rastlino, doseženo v obravnavanih rastnih substratih. $P < 0.05$, (N=10) | 85 |
| Slika 39: Povprečno število cvetov na rastlino, doseženo v obravnavanih rastnih substratih. $P < 0.05$, (N=10) | 86 |
| Slika 40: Povprečna masa nadzemnega dela in korenin rastlin (cm) ter njuno razmerje, doseženo v obravnavanih rastnih substratih. $P < 0.05$, (N=10) | 87 |
| Slika 41: Povprečna masa biomase (g), dosežena v obravnavanih rastnih substratih. $P < 0.05$, (N=10) | 88 |
| Slika 42: Povprečna suha masa nadzemnega dela in korenin rastlin (g) ter njuno razmerje, doseženo v obravnavanih rastnih substratih. $P < 0.05$, (N=10) | 89 |

KAZALO PRILOG

- PRILOGA A: Shematski prikaz postavitve lončkov v obravnavanih serijah v prvem poskusu brez rastlin. V označuje višino namakanja ($v_1=4\text{cm}$, $v_2=2\text{cm}$) G označuje gostoto (g_1 = normalna gostota, $g_2=20\%$ večja gostota) in T označuje čas namakanja ($t_1=5\text{min}$, $t_2=10\text{min}$, $t_3=30\text{min}$).
- PRILOGA B: Postavitev lončkov z rastlinami v rastlinjaku.
- PRILOGA C: Povprečne vrednosti za vsebnost vode (vol. %) pri različnih tenzijah vodnega stolpca (0-100 kPa).

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

EAW – lahko dostopna voda za rastline (easily available water)

WBC – območje zadrževanja vode (water buffering capacity)

AW – dostopna voda za rastline (available water)

UW – nedostopna voda za rastline (unavailable water)

AV – volumen zraka (air volume)

AM vrednosti – meritve elektroprevodnosti neposredno v rastnih substratih

EC vrednosti – meritve elektroprevodnosti v ekstraktih rastnih substratov

CEC – kationska izmenjalna kapaciteta (cation exchange capacity)

SRF – počasi topno gnojilo (slow release fertilizer)

ET₀ – referenčna evapotranspiracija

ET_c – potencialna evapotranspiracija

LAI – indeks listne površine

H=K – rastni substrat Humko, kontrola

J6 – rastni substrat Jongkind

Z20 – rastni substrat, ki vsebuje 20 kg mikronskega zeolita/m³

Z30 – rastni substrat, ki vsebuje 30 kg mikronskega zeolita/m³

Z40 – rastni substrat, ki vsebuje 40 kg mikronskega zeolita/m³

Z50 – rastni substrat, ki vsebuje 50 kg granuliranega zeolita/m³

Z100 – rastni substrat, ki vsebuje 100 kg granuliranega zeolita/m³

Z150 – rastni substrat, ki vsebuje 150 kg granuliranega zeolita/m³

KK – kontejnerska kapaciteta

SRF – počasi topno gnojilo

CRF – gnojilo s kontroliranim sproščanjem

1 UVOD

Ustvariti kakovosten rastni substrat za rastline je podobno kot kuhati juho. Sestavine najprej dodajamo vsako posebej in okus posamezne se jasno loči od druge. Po določenem času se okusi med seboj pomešajo. Enako se dogaja z rastnim substratom. Potem, ko vse izvirne sestavine zmešamo, se oblikujejo nove, rastnemu substratu lastne značilnosti, ki se razlikujejo od značilnosti osnovnih sestavin.

1.1 PROBLEMATIKA DOKTORSKE DISERTACIJE

Področje proizvodnje kakovostnih rastnih substratov za okrasne rastline je v Sloveniji še vedno premalo raziskano, čeprav imamo na voljo tudi lokalno dostopne alternativne vire, ki lahko v določenem deležu nadomestijo šoto, saj je le-ta zaščiten naravni vir.

Rastni substrat označuje podlago, hranilna tla, katerih volumen je omejen. Rastlini daje oporo in ima takšne lastnosti, ki ji omogočajo življenje: določeno zračno in vodno kapaciteto in toplotno prevodnost. Glavni kriterij za dober rastni substrat je stalni dotok vode, hranil in kisika iz medija v koreninski sistem.

Cilj spreminjanja in optimiziranja rastnih substratov za okrasne rastline je zadržati več vode in hranil v rastnih substratih ter hkrati zagotoviti optimalno kakovost končnega proizvoda. Ravnanje s takšnimi rastnimi substrati je zahtevnejše, saj morajo vrtnarji spremeniti in prilagoditi način namakanja in gnojenja. Za vrtnarje je pomembno tudi to, da so surovine, ki sestavljajo rastni substrat, lokalno dostopne in posledično je takšen rastni substrat tudi ekonomsko bolj dosegljiv.

Pri vrednotenju ravnega substrata so pomembne njegove fizikalne, kemijske in biotične lastnosti. Fizikalne lastnosti ravnega substrata so tiste, ki določajo zmožnost rastlinskih korenin, da bi pridobile dovolj zraka in vlage.

V okviru doktorskega dela smo sestavili rastne substrate za okrasne rastline, ki smo jim dodali različne količine in velikosti zeolitnih delcev iz Zaloških Goric v bližini Celja. Zeoliti imajo izjemne kemijske in fizikalne lastnosti, predvsem je pomembna njihova velika sposobnost za zadrževanje vode.

Na osnovi dobljenih rezultatov bomo vrednotili smiselnost dodajanja različnih količin in velikosti zeolitnih delcev v rastne substrate za okrasne rastline. S pridobljenim znanjem bomo lahko v vrtnarske obrate uvajali nove tehnologije gojenja okrasnih rastlin, ki bodo zmanjšale onesnaževanje okolja in hkrati pripomogle k pridelavi kakovostnejših rastlin v večjem obsegu.

1.2 NAMEN RAZISKAVE

Namen raziskave je primerjati učinek različnih velikosti zeolitnih delcev, ki so dodani šotnim rastnim substratom, na rast pelargonij *Pelargonium zonale* L. in jih primerjati z ostalimi rastnimi substrati, ki se uporabljajo za gojenje okrasnih rastlin v Sloveniji.

Želeli smo tudi raziskati, ali je možno pripraviti kakovosten rastni substrat za okrasne rastline z dodatkom granuliranega zeolita v manjših in večjih količinah, ki bi bil cenovno

ugodnejši kot trenutno obstoječi na tržišču.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

1. Rastni substrati z dodatkom zeolitnih delcev bodo v območju težko dostopne vode pri tenziji 100 cm vodnega stolpca (-10 kPa), to je voda, ki je za kakovost rastlin najbolj pomembna, zadržali več vode kot primerjalna tržna rastna substrata.
2. Učinek gline na fizikalno obnašanje rastnih substratov je odvisen od velikosti delcev gline. Predvidevamo, da bodo rastni substrati z dodatkom mikronskih zeolitov zadržali več vode v merjenem območju vodnega potenciala (-0,25 kPa do -10 kPa) kot rastni substrati z dodatkom granuliranega zeolita.

2 PREGLED OBJAV

2.1 RASTNI SUBSTRAT

2.1.1 Definicija rastnega substrata

Pojem rastni substrat označuje podlago in hranilna tla, katerih volumen je omejen. Navadno pripada rastlini v lončku le 1/20 ali 1/30 prostornine rastnega prostora, ki bi jo imela rastlina na prostem. Rastni substrat daje rastlini oporo in ima takšne lastnosti, ki ji omogočajo življenje: določeno zračno in vodno kapaciteto ter toplotno prevodnost. Glavni kriterij za dober rastni substrat je stalni dotok vode, hranil in kisika iz medija v koreninski sistem (Reinikainen, 2003).

2.1.2 Naloge rastnega substrata

Uporaba kakovostnega rastnega substrata je nujna za optimalni razvoj koreninskega sistema. Potrebno je ustvariti strukturo, ki bo zagotavljala okolje, v katerem se bodo korenine izvrstno počutile in bodo lahko opravljale svojo nalogo. Rastni substrati opravljajo štiri osnovne funkcije: zagotavljajo preskrbo rastlin z vodo, preskrbujejo rastlino s hranili, dopuščajo izmenjavo zraka iz in v korenine ter nudijo rastlinam oporo. Zaradi majhnega volumna lončkov je njihova sposobnost za zbiranje vode majhna. Višina rastnega substrata v lončkih vpliva na izsuševanje. Kadar govorimo o rastnem substratu, je za rastline zelo pomembno upoštevanje podzemeljskega okolja, ki je ustvarjeno v treh glavnih korakih: z mešanjem izbranih sestavin in dodatkov, s polnjenjem lončkov ter začetnim zalivanjem rastlin. To okolje ni konstantno, pač pa se spreminja z rastjo in prodiranjem korenin v rastni substrat. V tipičnem proizvodnem dnevu se podzemno okolje spreminja vsako uro, ko rastline vodo porabljajo, vrtnar jo dodaja (Fonteno, 1996).

2.2 LASTNOSTI RASTNEGA SUBSTRATA

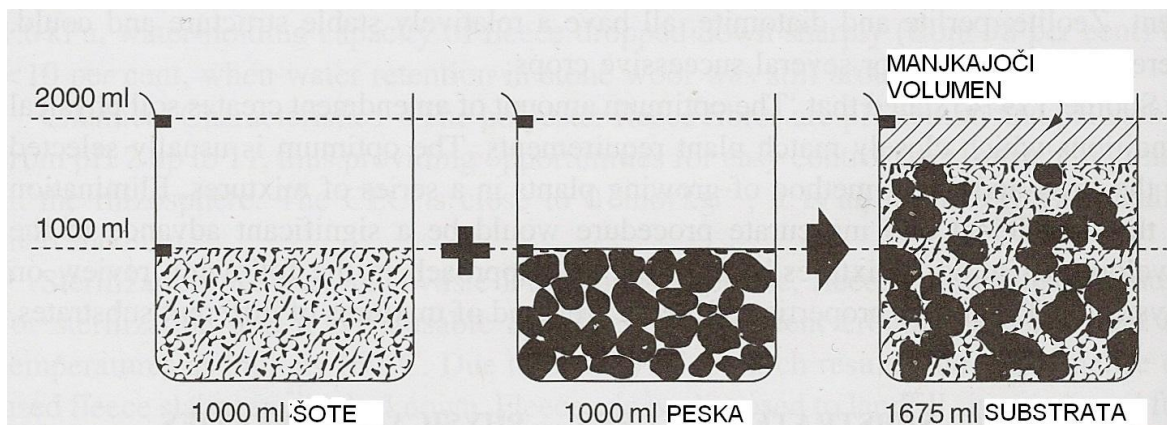
Pri vrednotenju rastnega substrata so pomembne njegove fizikalne, kemijske in biotične lastnosti.

2.2.1 Fizikalne lastnosti rastnih substratov

Fizikalne lastnosti rastnega substrata so vse lastnosti, na katere vpliva prostorska struktura rastnega substrata, in vse sestavine, iz katerih je rastni substrat sestavljen. Omenjene lastnosti so zelo pomembne, saj podajajo informacijo o razmerah za razvoj koreninskega sistema, o izbiri načina zalivanja in primernosti rastnega substrata za različno uporabo. Glavni fizikalni parametri rastnih substratov so vsebnost vode, vsebnost organske snovi, gostota, vsebnost por, krčenje, razmerje med vodo in zrakom pri različnih višinah vodnega stolpca, vsebnost vode v rastnem substratu po izsuševanju, razdelitev por na različne velikostne razrede (Bos in sod., 2003). Fizikalne lastnosti rastnega substrata se med rastno sezono spreminjajo kot posledica rasti korenin, raztezanja in krčenja sestavin ter razpada organskih sestavin rastnega substrata.

Zmanjšanje prostornine se pojavi, ko dve ali več sestavin, ki se razlikujejo v razdelitvi in velikosti por, med seboj zmešamo in je končna prostornina mešanice manjša kot vsota

prostornin posameznih sestavin (Spomer, 1974) (slika 1). Kadar imata sestavini rastnega substrata zelo različne velikosti delcev, kot sta lubje in fin pesek, sta končna gostota mešanice in skupna poroznost manjši, vrednosti za kontejnersko kapaciteto in dostopno vodo pa sta večji.



Slika 1: Prikaz zmanjšanja končne prostornine substratne mešanice. Pred mešanjem je prostornina 2000 ml, po mešanju pa 1675 ml (Raviv in Lieth, 2008: 524)

Figure 1: Sample data illustrating the decrease in total bulk volume of soil mixtures components upon mixing. The total component bulk volume is 2000 ml prior to mixing and 1675 ml after mixing (Raviv and Lieth, 2008: 524)

2.2.1.1 Vsebnost vode

Vsebnost vode nakazuje, koliko vode je prisotne v rastnem substratu in se izraža kot delež vode na osnovi vlažne mase rastnega substrata. Še posebej pomemben parameter je vsebnost vode v šotnih rastnih substratih, ker se šota osuši skoraj ireverzibilno. Če se preveč osuši, jo je zelo težko ponovno namočiti.

2.2.1.2 Vsebnost organske snovi

Vsebnost organske snovi nakazuje, kateri del rastnega substrata je organski, izražamo jo kot delež organske snovi na osnovi suhe teže rastnega substrata (Bos in sod., 2003).

2.2.1.3 Gostota

Gostota je suha masa proizvoda na enoto prostornine, izražena v kg/m^3 . Pri izračunu stroškov transporta in skladiščenja je gostota izredno pomembna. Liter suhega peska je težji kot liter suhega lubja ali šote (Bos in sod., 2003).

2.2.1.4 Poroznost rastnega substrata

Rastni substrat je porozen. Sestavljen je iz vseh treh agregatnih stanj, iz trdnih delcev (mineralni delci, organska snov), vode z raztopljenimi snovmi in zraka. Poroznost je lastnost, ki pove, kakšno je v rastnem substratu razmerje med zrakom in vodo na eni strani in trdnimi delci na drugi strani, izraža se kot delež por na osnovi volumna vlažnega rastnega substrata (Bos in sod., 2003).

2.2.1.5 Krčenje rastnega substrata

Krčenje rastnega substrata je mera za izgubo volumna, ko je substrat posušen na 105 °C. Krčenje je neprijetna lastnost rastnih substratov, ki ni zaželjena pri gojenju rastlin (Bos in sod., 2003). Pri sestavljanju novega rastnega substrata je pomembno upoštevati rastno dobo in koliko časa bo rastlina ostala v lončku po prodaji. Zaradi krčenja rastnega substrata rastline v lončku slabo rastejo, spremeni se vlaga in poroznost rastnega substrata, oteženo je shranjevanje hranil (Bodman in Sharman, 1993). Rastni substrat, ki vsebuje veliko organske snovi, se krči zaradi delovanja talnih mikroorganizmov. Večji delci so bolj stabilni kot zmleti. Če mora rastni substrat zdržati 4-5 mesecev v vročih razmerah, moramo uporabiti rahlo zdrobljene sestavine. Pesek se ne krči, vendar lahko povzroči probleme z zmanjšanjem poroznosti. Perlit, šota, lubje in polistiren so bolj stabilni (Wever, 1991).

2.2.1.6 Kapaciteta lonca za zadrževanje vode ali kontejnerska kapaciteta

Pri gojenju rastlin v loncih se maksimalna količina vode, ki se obdrži v rastnem substratu, imenuje kapaciteta lonca za zadrževanje vode. Taka situacija je dosežena po treh odtekanjih vode iz nasičenega rastnega substrata (Martinez, 1991). Vsebnost vode se zmanjšuje od dna do vrha lončka, zato imajo plitvi lonci večjo povprečno vsebnost vode kot globlji lonci pri enaki prostornini (Martinez in sod., 1991). Kapaciteta lonca temelji na fizikalnih lastnostih medija in na obliki in velikosti lonca (Fonteno, 1996).

2.2.1.7 Zračnost rastnega substrata

Rastline v lončkih in drugih posodah imajo korenine omejene na zelo majhen prostor, kljub temu morajo biti zdrave in sposobne opravljati svojo nalogo. To je možno le, če je v rastnem substratu dovolj makropor, ki omogočajo izmenjavo talnega zraka s svežim zrakom.

Delež makropor v tleh mora biti vsaj 15 %, za občutljive rastline pa še večji. Če zraka primanjkuje, pride do zadušitve korenin in poškodbe rastlin. Za dober rastni substrat je pomembno tudi, da se zračna kapaciteta ne zmanjšuje, ampak da ostaja več let nespremenjena. Zato morajo biti mineralne snovi počasi topne, organske pa ne smejo biti mikrobiološko preveč lahko razgradljive (Bos in sod., 2003).

Posledica velike zračne kapacitete je majhen volumski odstotek vode. To pomeni zmanjšana zaloga vode in zato potreba po bolj intenzivnem namakanju. Če je rastni substrat preveč porozen, ima majhno sposobnost zadrževanja hranil in se zelo hitro osuši. Primernost določenega volumskega odstotka zračnih por za rastlinsko pridelavo v loncih je prikazana v preglednici 1.

Preglednica 1: Primernost določenega volumna (%) zračnih por za rastlinsko proizvodnjo v loncih (Bodman in Sharman, 1993: 4)

Table 1: The suitability of determined of air pores (%) for pot plants production (Bodman and Sharman, 1993: 4)

| Volumen zračnih por (%) | Komentar |
|-------------------------|---|
| manj kot 5 | Premokro okolje za večino rastlin, z izjemo tistih, ki so prilagojene na vodne razmere. |
| 5-15 | Sprejemljivo za neredno zalivane rastline in lonce, v katerih so dobro razvite rastline, ki vodo sprejemajo hitro. Infiltracijska voda je pri tej vrednosti lahko nezadovoljiva. |
| 15-20 | Sprejemljiva vrednost za splošno uporaben rastni substrat. Zagotavlja hitro rast korenin večine rastlin, vendar potrebuje nadzorovano zalivanje. |
| več kot 20 | V teh mešanicah mora biti zalivanje vsakodnevno, ker imajo manjšo zalogo vlage. Rastline rastejo hitro, izguba hranil z izpiranjem je izredna. Primerno za rastline, ki prenašajo občasno sušo. |

2.2.1.8 Vodne lastnosti rastnega substrata

Voda je za življenje rastlin izjemno pomembna. Njena pomembnost se stopnjuje s potrebo rastlin po njej, saj je nujna za izgradnjo tkiv in za transport hranil v tkivih. V rastnih substratih z velikim deležem makropor je gibljivost vode tako velika, da tudi pri močnem zalivanju ne pride do zadrževanja vode. Za dobro prerazporeditev vode po lončku je pomembno, da je hidravlična prevodnost velika. Če je velika, se voda hitro transportira preko vseh delov in zagotavlja primerno vlažnost v lončku. Voda se po lončku in skozi rastni substrat pretaka zelo hitro, če je rastni substrat pred tem že moker. Če se rastni substrat osuši, voda prehaja počasneje, vidna je tudi razlika med materiali, ki rastni substrat sestavljajo. Nekateri materiali, na primer pesek in perlit, se potem, ko so bili izsušeni, zlahka navlažijo, medtem ko se, recimo, šota navlaži zelo težko.

Količina dostopne vode v rastnem substratu je tista, ki ima največji učinek na fiziologijo in produktivnost rastlin. Na izmenjavo plinov (transpiracijo in respiracijo) in posledično na rast rastlin ima dostopnost vode odločilen učinek. Več vode je v rastnem substratu, šibkeje je vezana in vedno bolj je dostopna rastlinam. Rastline morajo zato, da lahko sprejmejo vodo skozi koreninske laske, premagati silo, s katero je voda vezana na talne delce.

Vodni potencial določa energijski status vode v rastnem substratu. Voda v rastnem substratu je podvržena različnim silam. Vodni potencial predstavlja vse sile, ki delujejo med vodo in delci v rastnem substratu. Pove nam, kakšno silo morajo premagati rastlinske korenine, da vodo dobimo iz rastnega substrata. Imenujemo ga tudi matrični ali kapilarni potencial in se izraža kot negativno število v kilopaskalih (kPa).

Gravimetrični potencial se nanaša na višino vode nad določeno referenčno točko. Ta gravitacijska sila znaša približno 1 kPa na 10 cm vodnega stolpca. Kot primer navajamo gobo. Gobo saturiramo z vodo, jo postavimo pokonci in pustimo, da voda odteka. Pri določeni točki bo iz gobe voda prenehala odtekati. Če je višina gobe 10 cm, bo gravimetrični potencial na vrhu gobe 1 kPa. Sila, ki vodo zadržuje v gobi, se nanaša na matrični potencial. Ker mora biti energija v ravnovesju in, ker vemo, da je gravimetrični potencial na vrhu 10 cm debele gobe 1 kPa, potem mora biti matrični potencial -1 kPa, tako da je skupni potencial enak 0 kPa (Raviv in sod., 2004). Osmotski potencial se nanaša na koncentracijo soli v raztopini rastnega substrata. V območju korenin se ta potencial poveča ob dodatku soli ali z odvzemom vode.

Voda se pasivno premešča z območja z velikim energijskim statusom na območje z relativno majhnim energijskim statusom. Razlika teh dveh energijskih stanj se nanaša na stopnjo premikanja vode. Povečanje gradienta poveča premikanje vode po gradientu navzdol. Kadar namakamo, matrični potencial v rastnem substratu naraste, in voda je na visokem energijskem nivoju. To pospeši premikanje vode v koreninah. Vsebnost vode v rastnem substratu je odvisna od fizikalnih lastnosti rastnega substrata (razporeditev delcev v rastnem substratu, površinske lastnosti delcev) in vsaka lastnost vpliva na določen potencial. V vsakem rastnem substratu obstaja povezava med tenzijo vode (moisture tension) in vsebnostjo vode (moisture content). Ta povezava je lastna vsakemu posameznemu rastnemu substratu in jo lahko opišemo s krivuljo vodno-zadrževalnih lastnosti (moisture retention curve) (Bohne in Wrede, 2005).

Tenzija je izraz za negativni tlak, ker med talnimi delci in molekulami vode delujejo privlačne sile (na enoto površine talnih delcev) (Pintar, 2003). Tenzijo lahko podajamo tudi kot pF vrednost, ki pomeni negativni logaritem vodnega stolpca, izraženega v centimetrih, ki ustvari tako tenzijo (npr. pri tenziji 1000 cm je pF vrednost 3; tenzija 1000 cm je enakovredna 10 m vodnega stolpca oz. 1 bar hidrostatičnega pritiska). Pascal je enota za pritisk, in sicer je 100 000 Pascalov enako 1 bar.

Količina dostopne vode v rastnem substratu je tista, ki ima največji učinek na fiziologijo in produktivnost rastlin. Na izmenjavo plinov (transpiracijo in respiracijo) in posledično na rast rastlin ima dostopnost vode odločilen učinek. Več vode je v rastnem substratu, šibkeje je vezana in vedno bolj je dostopna rastlinam. Rastline morajo zato, da lahko sprejmejo vodo skozi koreninske laske, premagati silo, s katero je voda vezana na talne delce.

Ko količina vode v rastnem substratu narašča in se debeli plast vodnih molekul, ki so vezane na talne delce, postaja voda rastlinam vedno bolj dostopna. Lahko dostopna voda je merilo za delež vode, ki jo lahko lončni rastni substrat prevzame brez omejitve rasti.

Vodno-zadrževalne lastnosti pokažejo, koliko vode rastni substrat zadrži pri različnih tenzijah. Zaloga vode v rastnih substratih je na splošno manjša kot v in situ tleh. Uporaba rastnih substratov v lončkih spremeni vodno-zadrževalne lastnosti, le-te so posledica sistema rastni substrat/lonček. Za merjenje vsebnosti vode in zraka v rastnih substratih so bile prenešene analitične metode iz mineralnih tal, seveda z določenimi prilagoditvami na razmere v rastnih substratih in lončkih (Riviere in sod., 1995).

Vsebnost vode in zraka v rastnih substratih v splošnem merimo med tenzijami 2,5 cm (0 kPa) in 100 cm (-10 kPa) vodnega stolpca. Raziskave so pokazale, da voda, ki je vezana v rastnem substratu s tenzijo več kot 500 cm (-50 kPa) vodnega stolpca, rastlinam ni dostopna. Točka venenja je dosežena pri večjih tenzijah. To je mera za nesposobnost rastnega substrata, da bi rastlini zagotovil vodo. Ta voda dejansko predstavlja tako tanek film, ki je na delce rastnega substrata vezan tako močno, da je korenine ne morejo počrpati (Fonteno, 1996).

Lahko dostopna voda (EAW) označuje volumen por v rastnem substratu, ki sproščajo vodo, ko se tenzija iz 10 cm vodnega stolpca (-1 kPa) zmanjša na 50 cm vodnega stolpca (-5 kPa). Razlika v vodnem volumnu med tenzijama 10 cm in 50 cm vodnega stolpca se nanaša na EAW (Bos in sod., 2003).

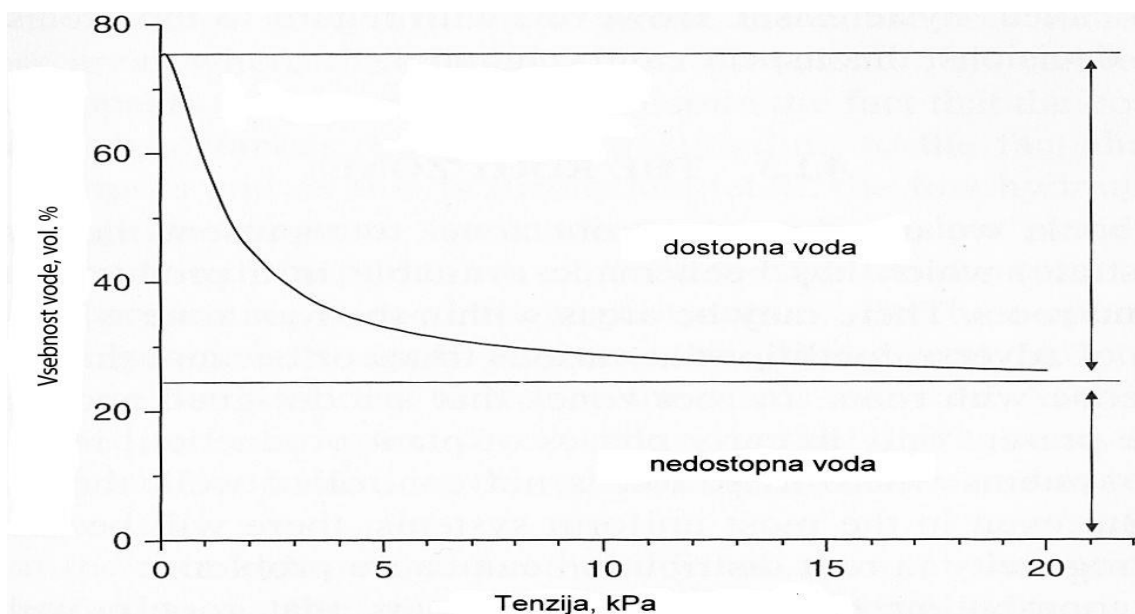
Tenzija 50 cm vodnega stolpca (-5 kPa) pomeni območje zadrževanja vode. Voda med tenzijama 50 cm (-5 kPa) in 100 cm (-10 kPa) vodnega stolpca se nanaša na manj lahko dostopno vodo ali območje zadrževanja vode (WBC). Dostopna voda za rastline (AW) se izraža kot razlika med vsebnostjo vode pri 10 cm (-1kPa) in 100 cm (-10kPa) vodnega stolpca. Tenzije, ki so večje od 100 cm vodnega stolpca (-10 kPa), pomenijo težko dostopno vodo (Brückner, 1997).

Rastline rastejo enakomerneje v območju manj lahko dostopne vode in točke venenja, kot če imajo na razpolago lahko dostopno vodo. V tem primeru ima lahko dostopna voda relativno vlogo in je samo pokazatelj, kako dobro rastni substrat zadržuje vodo (Bos in sod., 2003). Pri uporabi rastnega substrata se njegove vodno-zadrževalne lastnosti lahko spremenijo zaradi vpliva različnih procesov.

Bunt je leta 1961 predstavil krivuljo vodno-zadrževalnih lastnosti za rastne substrate, ki opisuje funkcionalno zvezo med vsebnostjo vode in matričnim potencialom v ravnovesnem stanju (Fonteno, 1989). Krivulja odraža teksturo in strukturo rastnega substrata. Krivulja vodno-zadrževalnih lastnosti odraža količino vode v poroznem mediju pri določenem matričnem potencialu in se uporablja za določevanje dostopnosti vode rastlinam in določevanju pogostosti namakanja. Ko se v saturiranem poroznem mediju povečuje podtlak, se začnejo prazniti relativne velike pore, ki ne morejo zadržati vode pri določenem podtlaku. Tako lahko predvidevamo, da bo postopnemu povečevanju podtlaka sledilo praznjenje vedno manjših por v rastnem substratu. To se dogaja toliko časa, dokler se voda ne zadrži samo še v najožjih porah.

Vprašanje, ali je voda dostopna ali nedostopna rastlinam, vključuje razdaljo vode od korenin rastlin in matrične sile, ki vežejo vodo na delce v rastnem substratu. S krivuljo vodno-zadrževalnih lastnosti je možno oceniti vsebnost vode v lončku v okolici korenin takoj po namakanju. Pomembno je upoštevati gravimetrični potencial, ko je doseženo ravnovesno stanje na dnu koreninskega sistema v loncu z višino 20 cm. Na dnu lonca bo napetost vode 0 kPa, na vrhu lonca pa 2 kPa (= globina lonca 20 cm). To pomeni, da je zgornji del lončka vedno bolj suh kot pa spodnji, kar lahko v rastlinjaku opazimo s prostim očesom. Krivulja vodno-zadrževalnih lastnosti odraža nekaj splošnih načel o dinamiki vode med namakanjem. Najbolj mokre razmere v rastnem substratu so na krivulji predstavljeni pri manjših napetostih. Splošna oblika krivulje je za večino rastnih substratov podobna, razlikujejo se le v podrobnostih, ki so pomembne pri določevanju pogostosti

namakanja. Ko rastline vodo odvezemajo iz ravnega substrata, energijski status po krivulji napreduje do večjih napetosti (manjše vsebnosti vode), (slika 2).



Slika 2: Primer krivulje vodno-zadrževalnih lastnosti. Vsebnost vode pri saturaciji je 76,5 vol. %, vsebnost nedostopne vode je 24 vol. % (Raviv in Lieth, 2008: 121)

Figure 2: Example of moisture release curve. The moisture content at saturation is 76,5 per cent and the unavailable portion is 24 per cent (Raviv and Lieth, 2008: 121)

2.2.1.9 Razmerje med vodo in zrakom v ravnem substratu

Količina vode in zraka v ravnem substratu je večinoma odvisna od velikosti por. Po velikosti talne pore ločimo na nekapilarne pore – makropore (>10 μm) in kapilarne pore – mikropore (< 10 μm). Makropore so zapolnjene z zrakom, voda iz njih hitro odteče pod vplivom gravitacijske sile. V mikroporah ali kapilarnih porah se voda zadržuje pod vplivom kapilarnih sil, ki zaradi površinske napetosti vode vežejo vodo s silo, ki je večja, kot je gravitacijska sila, pod vplivom katere bi voda odtekla iz ravnega substrata.

Ko rastlina prevzema vodo iz ravnega substrata, najprej uporabi vodo iz večjih por oziroma makropor, ker je to lahko dostopna voda. Tenzija je tudi mera za silo, ki jo morajo uporabiti rastline, da pridobijo vodo, ki je vezana v porah.

V precej grobem ravnem substratu bo na dnu lončka voda odtekla zelo hitro in pore se bodo napolnile z zrakom. V zelo fini mešanici pa bo večina por na vrhu lončka napolnjena z vodo (Bos in sod., 2003).

2.2.2 Kemijske lastnosti ravnih substratov

Rastline največ svoje hrane pridobijo iz anorganskih hranil, ki so raztopljena v vodi ravnega substrata, zato morajo biti rastlinske korenine izpostavljene primerni koncentraciji hranilnih snovi in v ravnem substratu ne sme biti prisotnih toksinov. Pomembno je vedeti, da kljub temu da so lahko kemijske lastnosti ravnega substrata odlične, rastlina ne raste

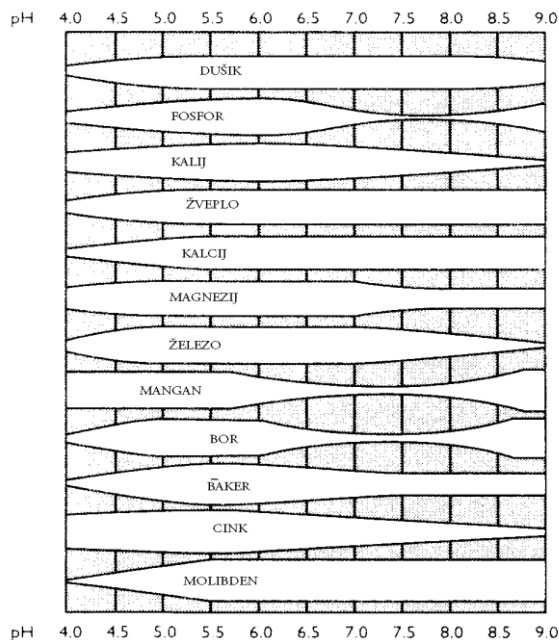
dobro, če nima zagotovljene primerne preskrbe z vodo in zrakom (Bodman in Sharman, 1993).

2.2.2.1 Reakcija rastnega substrata

Ko merimo reakcijo oziroma pH medija, dejansko merimo koncentracijo vodikovih ionov v ravnem substratu. Merska lestvica obsega števila od 0 do 14, kjer 7 pomeni nevtralno. Če je v ravnem substratu veliko vodikovih ionov, bo vrednost pH manj kot 7, kar pomeni, da je reakcija kislá. Če je vodikovih ionov malo, bo vrednost pH večji od 7 in reakcija bo alkalna.

Merjenje vrednosti pH je nujen del pri sestavljanju in vrednotenju kakovosti ravnega substrata. Vrednost pH je pomembna zaradi učinka, ki ga ima le-ta pri dostopnosti rastlinskih hranil.

Pri organskih ravnih substratih je idealna vrednost pH za večino rastlin od 5 do 6 in od 4,5 do 5,5 za rastline, ki imajo rade kisló okolje. Pri teh vrednostih pH bo rastlini dostopna večina potrebnih hranil. Dostopnost hranil variira glede na pH mešanice. Širše je območje vrednosti pH določenega hranila, bolj dostopno je le-to. Na sliki 3 lahko vidimo, da je idealna vrednost pH med 5,4 in 6,2. Pri pridelavi rastlin v rastlinjakih se moramo izogibati previsoki ali prenizki vrednosti pH, ker lahko povzroči resne poškodbe rastlin (Whipker, 2001).



Slika 3: Dostopnost hranil v organskih ravnih substratih v odvisnosti od vrednosti pH (Bodman in Sharman, 1993: 15)

Figure 3: Availability of nutrients in organic potting mixes as affected by pH (Bodman and Sharman, 1993: 15)

Kadar je oskrba s hranili skromna, je še posebej pomembna vrednost pH pri njihovi biodostopnosti. Učinek neprimerne vrednosti pH se na rastlini izraža kot pomanjkanje hranil ali toksični simptom. Če rastni substrat že na začetku ne vsebuje dovolj določenega elementa, na njegovo povečanje ne more vplivati niti sprememba vrednosti pH.

Povečanje vrednosti pH dosežemo z dodatkom apna v rastni substrat. Največkrat uporabljena materiala, ki se dodajata, sta dolomit in apnenec, lahko dodamo tudi magnezijev oksid in kalcijev hidroksid. Gips ne poveča vrednosti pH, je pa dober izvor kalcija in žvepla. Najbolj pogost razlog za povečanje vrednosti pH je uporaba alkalne vode pri namakanju. Vrednost pH zmanjšamo z uporabo kislih materialov. Lahko se dodajajo v trdem ali tekočem agregatnem stanju.

2.2.2.2 Elektroprevodnost rastnega substrata

Voda vsebuje raztopljene snovi, ki prevajajo električni tok, npr. soli. Večja je koncentracija soli, večja je elektroprevodnost. Celotni delež raztopljenih soli v ekstraktu rastnega substrata merimo z napravo - konduktometrom, ki meri elektroprevodnost. Konduktometer nam ne pove, katera sol je prisotna, temveč nam da indikacijo o tem, ali je nivo soli prevelik ali premajhen. Velika prevodnost v rastnih substratih lahko pomeni, da je bila uporabljena prevelika količina gnojila ali pa ima voda, s katero namakamo, prevelik nivo soli. Prevelike vrednosti prevodnosti se izražajo kot ožigi na rastlinah. V večini primerov to pomeni rjavenje konic in robov listov, najbolj prizadeti so starejši listi. Takšni so tipični toksični znaki, ki se nanašajo na prevzem toksinov v rastlino preko korenin. Če je elektroprevodnost premajhna, je zavrtta rast rastlin, ali pa pride do razbarvanja listov, ki je posledica pomanjkanja hranil. V preglednici 2 so podani standardi za elektroprevodnost rastnih substratov, ki temeljijo na 1:1,5 volumskem ekstraktu (Bik in Boertje, 1993, cit. po Aendekerk in sod., 2000).

Preglednica 2: Standardi za električno prevodnost rastnih substratov, ki temeljijo na 1:1,5 volumskem ekstraktu. Enote za prevodnost so v milisiemensih/cm (mS/cm) (Bodman in sod., 1993: 20)

Table 2: Electrical conductivity standards of potting growing media based on 1:1.5 volume extract. Units are in milliSiemens per centimetre cm (mS/cm) (Bodman et al., 1993: 20)

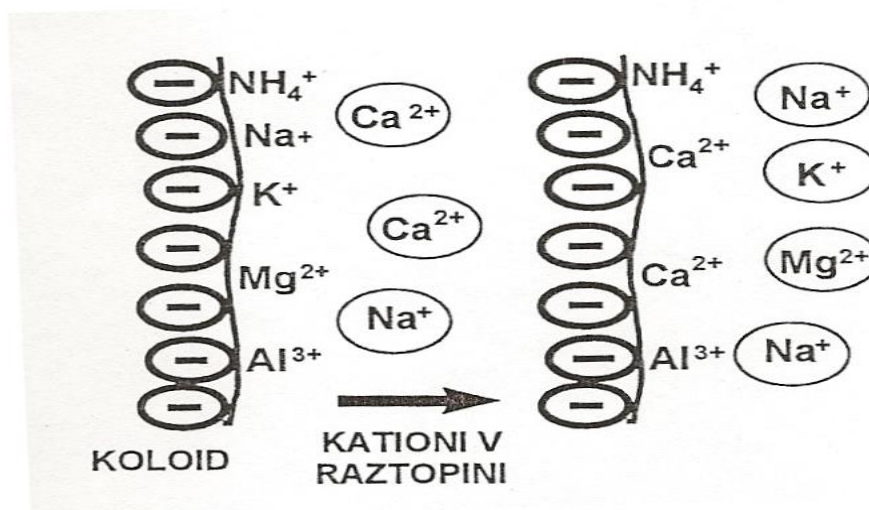
| Elektroprevodnost | zelo majhna | majhna | srednja | velika | zelo velika |
|-------------------|--------------|---------|---------|---------|---------------|
| (mS/cm) | manj kot 0,7 | 0,7-1,2 | 1,2-1,8 | 1,8-3,6 | večja kot 3,6 |

Rastline, ki rastejo v rastnem substratu z majhno kapaciteto za zadrževanje vode, so lahko veliko bolj občutljive na slane razmere kot tiste, ki rastejo v bolj sestavljenih mešanica. V rastnih substratih merimo prevodnost s sondo v vrednostih AM (aktivnost grama soli/ l rastnega substrata), ki nam pokaže proste soli, topne v tleh. Če je rastni substrat prazen, brez gnojil, je prevodnost v vrednostih AM pod vrednostjo 0,1. Za večino okenskih in balkonskih rastlin je optimalna prevodnost v vrednostih AM med 0,4 do 0,6. Vrednosti nad 1,0 so lahko toksične.

2.2.2.3 Kationska izmenjalna kapaciteta

Sorptivno sposobnost tal oziroma rastnega substrata za vezavo, zadrževanje in izmenjavo kationov imenujemo kationska izmenjalna kapaciteta (CEC). CEC preprosto opišemo kot skupno vsoto izmenljivih kationov, ki jih tla oziroma rastni substrat lahko adsorbira (mmol/100g substrata, cmol/kg rastnega substrata) (Leštan, 2003). Zanj se pogosto uporablja kratica CEC (ang.: cation exchange capacity) oziroma v slovenščini KIK. Koloidno frakcijo v rastnih substratih sestavljajo predvsem glineni delci in delci šote. Zaradi izredno majhne velikosti imajo vsi koloidi zelo veliko zunanjo površino na enoto mase. Notranje in zunanje površine talnih koloidov so pozitivno in/ali negativno nabite. Na večini talnih koloidov prevladuje elektronegativni naboj, čeprav imajo nekateri koloidi v zelo kislih tleh elektropozitivni naboj. Koloidna micela je ponavadi negativno nabita in privlači katione (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ , Na^+) iz talne raztopine. Med kationi so za prehrano rastlin nujno potrebna (esencialna) hranila. Ta hranila postanejo rastlinam na voljo po izmenjavi kationov med površinami talnih koloidov in talno raztopino. Na ta način koloidi regulirajo oskrbo rastlin s hranili in drugimi spojinami (vitamini, hormoni), ki so adsorbirane na aktivnih površinah koloidov (Leštan, 2003).

Vsak koloidni delec nosi skupino ionov, ki jo privlači s svojim površinskim nabojem. Na kationska izmenjalna mesta na koloidih se kationi vežejo z različno preferenco, ki predvsem odraža njihov naboj in ionski radij, ter je seveda tudi odvisna od koncentracije posameznih kationov v talni raztopini. Pri enaki koncentraciji je vrstni red kationov glede na sposobnost izmenjave sledeč: $\text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ = \text{K}^+ > \text{Na}^+$ (Leštan, 2003). Pogosto se posamezen kation oddalji od skupine in se premakne v talno raztopino. Ko se to zgodi, se hkrati iz talne raztopine v skupino na koloidu prenese drug kation z ekvivalentnim oziroma enakim nabojem. Temu procesu rečemo kationska izmenjava, (slika 4). Primeri izmenjav so naslednji: Si^{4+} z Al^{3+} ali Al^{3+} z Mg^{2+} (Raviv in Lieth, 2008). V preglednici 3 so navedene kationske izmenjalne kapacitete različnih sestavin rastnih substratov, predno so bile uporabljene v substratnih mešanica.



Slika 4: Na kationskih izmenjalnih mestih talnih koloidov poteka preferenčna izmenjava adsorbiranih kationov s kationi iz talne raztopine (Leštan, 2003: 35)

Figure 4: Cation exchange sites on soil colloids preferred place exchange of adsorbed cations with cations from soil solution (Leštan, 2003: 35)

Preglednica 3: Kationske izmenjalne kapacitete (cmol/kg) različnih sestavin rastnih substratov (Raviv in Lieth, 2008: 211)

Table 3: Cation Exchange Capacity (cmol/kg) of Several Horticultural Substrates (Raviv and Lieth, 2008: 211)

| Sestavina rastnega substrata | Kationska izmenjalna kapaciteta (cmol/kg) |
|------------------------------|---|
| perlit | 25-35 |
| kamena volna | 34 |
| zeolit klinoptilolit | 200-400 |
| kokosova vlakna | 39-60 |
| šota | 90-140 |
| kompost | 160-180 |

2.2.3 Fitosanitarne ali biotične lastnosti rastnih substratov

Fitosanitarne lastnosti rastnega substrata določajo učinek, ki ga imajo živi organizmi na rastlino. Pomembno je, da pri sestavljanju rastnih substratov uporabljamo čiste izhodne sestavine, brez prisotnosti patogenih organizmov. Patogene organizme delimo na parazitske glive, žuželke, viruse, bakterije in ogorčice. Med nepatogene organizme, ki v hortikulturi predstavljajo neprijetnosti, sodijo neparazitske glive, alge in lišaji (Bos in sod., 2003).

2.2.3.1 Parazitske glive

Pri pridelavi rastlin poznamo veliko gliv, ki povročajo nevšečnosti. Največ težav povzročajo glive iz rodov *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Fusarium* in *Plasmodiophora*. Pri proizvodnji rastnih substratov sta zelo pomembna higiena in kakovost sestavin. Pomembno je, da sestavine že pred uporabo v rastnem substratu ne pridejo kakorkoli v stik z okuženimi rastlinami. To je eden od odločilnih dejavnikov pri odobritvi kakovosti RHP (Regeling Handels Potgronden), kar je standard, ki zagotavlja kakovost sestavin rastnih substratov. V neuporabljenem rastnem substratu, ki je označen s standardom RHP ni prisotnih parazitskih gliv (Bos in sod., 2003).

2.2.3.2 Žuželke

V rastnih substratih ne moremo popolnoma izločiti prisotnosti žuželk, ker le-te lahko gnezdijo v sestavinah za rastne substrate med njihovim shranjevanjem. V določenih izhodnih sestavinah, kot sta šota in lubje, so razmere za razvoj žuželk zelo ugodne. Črvički in molji so žuželke, ki jih največkrat najdemo v šoti in riževih plevah. Te žuželke sicer ne poškodujejo rastlin, saj se hranijo z drugimi, v rastnih substratih prisotnimi žuželkami. V primeru, da so v rastnem substratu najdene žuželke, je njegova uporaba prekinjena in ga ponovno lahko uporabimo, ko je zagotovljena njegova čistost. Žuželke, ki jih najpogosteje najdemo v rastnih substratih, so: *Scutigerella sp.*, ogrci, *Sciara sp.* (Bos in sod., 2003).

2.2.3.3 Ogorčice

Pri pridelavi okrasnih rastlin ogorčice povzročijo veliko škode, imenujemo jih rastlinske parazitske ogorčice. Lahko napadajo liste, stebela ali korenine, odvisno od vrste. Pasivno širjenje ogorčic, ki poteka preko rastlinskih ostankov, rastnega substrata in vode, je zelo nevarno in hitro. Škodo povzročajo z vrtanjem v rastlinske celice in prodiranjem v rastline. Zaradi poškodb na rastlinah, lahko v rastline zlahka prodrejo tudi snovi, ki škodijo rastlinskemu metabolizmu. Prihaja do motenj v rasti, lahko pride do odmrtnosti rastlin. Večkrat se lahko pojavi tudi posredna škoda, saj rastlina postane bolj občutljiva za napad gliv ali bakterij, nekatere ogorčice prenašajo viruse. Poškodbe z ogorčicami povzročajo manjši pridelek in slabšo kakovost rastlin (Bos in sod., 2003).

2.2.3.4 Neparazitske glive

Sem sodijo glive, ki se lahko pojavijo na vrhu lončkov z rastlinami. Te glive so lahko bele, rumene, sive ali rjave barve. Zaradi debele plasti gliv na površini se pojavi določena barva in se preko življenjskega cikla spreminja. Te glive ne povzročajo rastlinskih bolezni, pač pa posredno predstavljajo določene probleme. Lahko popolnoma prerastejo zgornjo plast lončka in onemogočijo prodiranje vode in zraka v rastni substrat. Nekatere glive izločajo snovi, ki so toksične za rastline, in na ta način zavirajo rast. Tudi izgled rastlin v lončkih, kjer je zgornja plast preraščena z glivami, ni privlačen (Bos in sod., 2003).

2.2.3.5 Alge in mahovi

V rastnih substratih lahko najdemo različne alge in mahove, jetrnjake. Po rastnem substratu se širijo preko spor, zato je vnos preko vode ali vetra zelo enostaven. Rast alg in mahov je najboljša v vlažnih in toplih razmerah. Njihova prisotnost je vizualno neprivlačna. Pri močnem razraščanju na vrhu lončka pa je oteženo zalivanje in prodiranje zraka v rastni substrat. Razvoj preprečimo z uporabo bolj grobega rastnega substrata, zato da je zgornja plast posledično bolj suha. Na trgu je veliko kemičnih sredstev za preprečevanje rasti alg in mahov (Bos in sod., 2003).

2.2.4 Pleveli

Različne sestavine rastnih substratov lahko vsebujejo semena plevelov, ki med rastno dobo rastlin tudi kalijo. Pleveli povzročajo dodatno delo, saj jih je iz lončkov potrebno odstraniti, ker prihaja do tekmovanja med proizvodno rastlino in plevelom, kar povzroči slabšo kakovost rastlin. Povečano je tveganje za bolezni in škodljivce, saj veliko plevelov sodi med gostiteljske rastline. Pleveli se širijo na različne načine, najpogosteje s pomočjo vetra in vode. Pri sestavi substratnih mešanic je pomembna izbira neokuženih sestavin (Bos in sod., 2003).

2.3 SESTAVINE RASTNIH SUBSTRATOV

Na vrtnarskem področju pojem rastni substrat označuje mešanico različnih sestavin (organskih, mineralnih in sintetičnih), kot so: šota, lubje, lesna vlakna, kokosova vlakna, glina, perlit, vermikulit, kamena volna, fenolna smola, zeolit in drugo (slika 5).



Slika 5: Sestavine rastnih substratov (Kolar, 2007)
Figure 5: The growing media ingredients (Kolar, 2007)

2.3.1 Substratne mešanice – teorija in praksa

Izbira rastnega substrata je odvisna od zahtev izbranih rastlin in razmer, v katerih jih bomo gojili. To določa, kakšne fizikalne (vsebnost vode in zraka) in kemijske lastnosti (vrednost pH) naj bi imel naš izbrani rastni substrat. Ko potrebe prepoznamo, lahko sestavimo mnogo različnih rastnih substratov iz šote in ostalih materialov, ki se uporabljajo v te namene, in imajo primerne lastnosti. Ko vse izvorne sestavine zmešamo, se oblikujejo nove, rastnemu substratu lastne značilnosti, ki se razlikujejo od značilnosti osnovnih sestavin.

Sestavine, ki se uporabljajo pri sestavljanju rastnih substratov, so izbrane glede na njihove lastnosti. Pomembno je, da se dopolnjujejo z ostalimi sestavinami, ki jih uporabimo za sestavljanje določene substratne mešanice. Spomer (1974) trdi, da optimalni delež dodatkov v rastne substrate oblikuje fizikalne lastnosti, kakršne zahtevajo rastline. Optimum je največkrat dosežen z metodo poskusov in napak na okrasnih rastlinah v številnih različnih substratnih mešanicah.

Osnovna substratna mešanica je kombinacija peska in organskih sestavin. Dodatek peska vpliva na počasnejšo infiltracijo vode ob namakanju, ko se le-ta pomika skozi medij (Raviv in Lieth, 2008). Otten (1994) je ugotovil, da je krivulja vodno-zadrževalnih lastnosti mešanice tufa in šote v razmerju 1:1 (vol.) bližje poteku krivulje vodno-zadrževalne krivulje šote kot tufa, saj je hidravlična prevodnost mešanice bolj podobna hidravlični prevodnosti šote. Šotni substrati so zelo uporabni zaradi visoke sposobnosti zadrževanja hranil, dobre zračnosti in primernosti za gojenje velikega števila različnih kultur (Cooper 2001; Papadopoulos in Tan, 1991; Sheldrake, 1989). Kadar se v rastnih substratih uporablja šota, ji ponavadi dodajo pesek ali glino za povečanje gostote in stabilnosti. Glina poveča vlažnost v rastnem substratu (Raviv in Lieth, 2008).

Granulirani minerali zmanjšujejo količino lahko dostopne vode, še posebej, če jih je v mešanici več kot 25 vol. %. Dodatek finega in malo bolj grobega vermikulita ali perlita v mešanico povzroči večjo vsebnost lahko dostopne vode (Gabriëls, 1995). Riviere in sod. (2001) opazijo pomembno povečanje prostorninske mase in zmanjšanje poroznosti kot posledico mešanja finega peska (25-50 vol. %) ali grobega peska (25 vol. %) s šoto. Verhagen (2004) trdi, da ima glina močan vpliv na prevzem vode in vodno-zadrževalne lastnosti rastnega substrata, če je substratni mešanici dodana groba ali fina glina v količini 5-25 vol. %. Mešanje kamene volne v kompost, šoto ali druge sestavine povečuje zračnost in vodno-zadrževalne lastnosti rastnega substrata (Fonteno in Nelson, 1990). Dodatek gline v substratne mešanice s šoto in kokosovimi vlakni povzroči povečanje gostote, lahko dostopne vode, dostopne vode in vrednosti pH ter zmanjšanje poroznosti, organske snovi in elektroprevodnosti. Učinek dveh različnih oblik gline na vodno-zračne lastnosti rastnega substrata in elektroprevodnost je podoben, vrednost pH je večja v rastnem substratu z mletu glino kot z granulirano (Martinez in sod., 1991).

Po 40 letih intenzivnih raziskav na področju fizikalnih lastnosti rastnih substratov se še vedno pojavlja vprašanje, kako definirati optimalne fizikalne lastnosti z vidika zagotavljanja zadostne količine vode in kisika rastlinskim koreninam (Raviv in Lieth, 2008). Yeager (2004) predlaga naslednje smernice za lažje namakanje in gnojenje okrasnih rastlin: skupna poroznost (50-85 %), KK (45-64 %), AW (25-35 vol. %).

Rastni substrati se spreminjajo z namenom zmanjšanja porabe vode in hranil ter hkrati doseganja odlične kakovosti rastlin. Sestavljeni naj bi bili tako, da bi zadržali čim več vode in hranil. Gojenje rastlin v takšnih rastnih substratih je zahtevnejše, ker morajo vrtnarji prilagoditi in spremeniti vrtnarsko prakso. Pri načrtovanju namakanja je pomembno razumevanje razmerja med rastlino, rastnim substratom in zalivanjem. Pri določevanju, kdaj in kako namakati, je pomembno upoštevati vse tri dejavnike. Izbira primerne rastnega substrata za določeno rastlinsko vrsto, skupaj s pravilnim gojenjem ima velik vpliv na kakovost in količino pridelanih rastlin (Fonteno, 1996).

2.3.2 Splošne zahteve za rastne substrate

Nekaj splošnih zahtev za sestavljanje kakovostnih substratnih mešanic (Bos in sod., 2003):

- čim manjša masa, zaradi lažjega transporta,
- dovolj vlage, da ne bi bilo potrebno vsakodnevno namakanje,
- poroznost, zato da odvečna voda zlahka odteče,
- rastlinam omogočiti dovolj zraka za njihovo optimalno rast,
- higienska neoporečnost rastnega substrata (brez bolezni, škodljivcev in plevelov),
- možnost steriliziranja brez sprememb njegovih lastnosti,
- dovolj hranil za zdrav razvoj rastlin,

- velika izmenjalna kapaciteta in dobra puferna sposobnost za zmanjšanje izpiranja hranil in preprečevanja zaslanjenosti tal,
- primerna vrednost pH,
- odpornost na krčenje med gojenjem rastlin,
- sposobnost ponovnega omočenja,
- lokalna dostopnost in cenovna ugodnost,
- sestavljen iz sestavin, ki so obnovljive ali jih je možno reciklirati.
- sposobnost skladiščenja brez sprememb v kakovosti rastnega substrata,
- homogenost rastnega substrata.

2.3.3 Organske sestavine rastnih substratov

2.3.3.1 Šota

Šota je bila primarna organska sestavina prvih standardiziranih rastnih substratov za rastline v lončkih. Prve substratne mešanice so vsebovale glino (7 delov), šoto (3 dele) in pesek (2 dela), sestavili so jih Baker in sod., (1939, cit. po Raviv in Lieth, 2008) na Univerzi v Kaliforniji. Delo sta v Nemčiji nadaljevala Penningsfeld in Kurzmann, na Finskem Puustjarvi, na Irskem Woods in Kenny. Dokazali so, da se kot rastni substrat lahko uporablja šota brez dodatkov tako pri lončnih kulturah, rezanem cvetju kot pri gojenju zelenjave (Raviv in Lieth, 2008). Šota je tako postala glavna sestavina rastnih substratov v Evropi in severni Ameriki zaradi dobre dostopnosti in odličnih lastnosti.

Od sredine petdesetih let se kot osnovni del rastnega substrata zaradi mnogih dobrih lastnosti uporablja šota visokega barja, imenujemo jo tudi oligotrofna šota. Večinoma je nastala iz šotnega mahu, lahko vsebuje ostanke drugih barjanskih rastlin, kot sta resa in volnata trava. Šota je proizvod trohnenja barjanskih rastlin v razmerah brez kisika (anaerobne razmere). Visok nivo talne vode povzroča anaerobno okolje, rastline se kopičijo in trohniijo ter pretvarjajo v šoto. V idealnih razmerah lahko šotni mah zraste 1 cm na leto in ko se nastajanje umiri, ostane 1mm materiala. To pomeni, da nastajanje 1 m plasti šote traja najmanj 1000 let (Bos in sod., 2003).

Na trgu je dostopna šota različne kakovosti: od malo humificirane (sphagnum šota) do močno humificirane (izboljšana črna šota) z velikimi razlikami v velikosti delcev. Šoto lahko pridelujejo z mletjem, tako dobijo mleto šoto, z rezanjem in s poznejšim razbitjem kosov ali z razbijanjem in stiskanjem v stisnjeno šoto. Lahko vsebuje veliko vode, vsebnost zraka v njej je odvisna od velikosti delcev, iz katerih je sestavljena. Kakovost in uporabnost šote je določena glede na: (1) vrsto rastlinskih ostankov, ki jih vsebuje, (2) stopnjo razgradnje, (3) odvisnost od vremenskih razmer, v katerih nastaja, (4) način pridobivanja in (5) količino vode med samim pridobivanjem.

Najbolj kakovostne šote (baltska, finska, švedska) imajo potrjeno kontrolo RHP in morajo ustrezati naslednjim dejavnikom (Bos in sod., 2003):

- izvor šote mora biti iz še nerabljenih šotnih blokov, to so bloki, ki nikoli niso bili namenjeni kmetijski uporabi,
- ne sme vsebovati kemijskih snovi v količinah, ki bi lahko bile škodljive rastlinam,
- lahko se uporablja le fitosanitarno čista šota, ki ne sme vsebovati škodljivih organizmov, kot so ogorčice, glive, bakterije, virusi in žuželke,
- ne sme vsebovati živih korenin ali zelenih delov rastlin,
- ne sme biti zmešana z materiali, kot so skale, steklo ali les,
- ne sme biti onesnažena z radioaktivnimi snovmi.

Šota ima veliko poroznost, dobro zračno kapaciteto in veliko sposobnost za zadrževanje vode. Je fizikalno relativno stabilna, ko se jo uporablja v rastnih substratih. Pospesuje biotično aktivnost, je higiensko neoporečna – v njej ne najdemo niti povzročiteljev bolezni in škodljivcev, niti semen plevelov. Vsebuje rastne hormone. Je lahka in enostavna za transport. Fizikalne in kemijske lastnosti šote so navedene v preglednicah 4 in 5. Zaradi edinstvenih fizikalnih, kemijskih in biotičnih lastnosti ter ekonomskih razlogov se še dandanes uporablja v rastnih substratih v največjih deležih. Zelo pomembno je zavedanje, da je šota neobnovljiv naravni vir in da bo v prihodnosti potrebno v rastne substrate uvajati nove surovine, ki jo bodo lahko deloma, ali še bolje, popolnoma nadomestile. V vrtnarstvu se stopnja razgrajenosti šote uporablja kot merilo za klasifikacijo na belo in črno šoto. Mednarodno združenje za šoto je predstavilo enostaven klasifikacijski sistem za šoto, ki temelji na botanični sestavi, stopnji razgrajenosti in vsebnosti hranil (Kivinen, 1980) (preglednica 6).

Preglednica 4: Fizikalne lastnosti šote (Wever in Pon ,1990, cit. po Aendekerk in sod., 2000: 49)
Table 4: Physical characteristics of peat (Wever and Pon, 1990, op cit. Aendekerk et al., 2000: 49)

| Parameter | Povprečje | Zgornja meja |
|--|-----------|--------------|
| frakcija organske snovi g | 0,96 | 0,89-1,00 |
| gostota trdne faze, kg/m ³ | 1580 | 1550-1630 |
| prostorninska masa, kg/m ³ | 113 | 47-290 |
| poroznost (vol. %) | 0,93 | 81-97 |
| efektivni volumen por (vol %) | 0,93 | 89-97 |
| vsebnost zraka pri tenziji 10 cm vodnega stolpca (-1 kPa) (vol. %) | 0,14 | 0-45 |
| vsebnost vode pri tenziji 10 cm vodnega stolpca (-kPa) (vol %) | 0,79 | 50-96 |
| krčenje (vol. %) | 0,31 | 12-50 |

Preglednica 5: Kemijske lastnosti šote. Povprečja temeljijo na ekstrakciji s trikrat navlaženim rastnim substratom (Wever in Pon, 1990, cit. po Aendekerk in sod., 2000: 50)

Table 5: Chemical characteristics of peat. The averages are based on Extraction three times substrate moisture (Wever and Pon, 1990, op cit. Aendekerk et al., 2000: 50)

| Parameter | Povprečje | Zgornja meja |
|---|-----------|--------------|
| EC, mS/cm ⁻¹ | 0,2 | 0,1-0,3 |
| pH | 3,9 | 3,4-4,4 |
| NH ₄ , mmol l ⁻¹ | 0,3 | 0,0-1,1 |
| K, mmol l ⁻¹ | 0,0 | 0,0-0,2 |
| Na, mmol l ⁻¹ | 0,6 | 0,5-0,8 |
| Ca, mmol l ⁻¹ | 0,1 | 0,0-0,3 |
| Mg, mmol l ⁻¹ | 0,1 | 0,0-0,3 |
| NO ₃ , mmol l ⁻¹ | 0,3 | 0,1-0,5 |
| Cl, mmol l ⁻¹ | 0,4 | 0,2-0,7 |
| SO ₄ , mmol l ⁻¹ | 0,1 | 0,0-0,5 |
| HCO ₃ , mmol l ⁻¹ | <0,1 | - |
| P, mmol l ⁻¹ | 0,0 | 0,0-0,1 |
| Fe, mmol l ⁻¹ | 1,1 | 0,2-2,8 |
| Mn, mmol l ⁻¹ | 0,5 | 0,0-2,3 |
| Zn, mmol l ⁻¹ | 0,3 | 0,0-0,7 |
| B, mmol l ⁻¹ | 2,5 | 1,4-5,8 |
| Cu, mmol l ⁻¹ | 0,1 | 0,0-0,2 |

Preglednica 6: Poenostavljen klasifikacijski sistem za šoto (Kivinen, 1980: 463)

Table 6: A simplified classification system for peat based on its botanical composition, degree of decomposition and nutrient status (Kivinen, 1980: 463)

| | |
|-----------------------|---|
| Botanična sestava | 1. šotni mah (največkrat sphagnum in drugi šotni mahovi) 2. šota iz šašev (šaši, trave, zeli) 3. lesena šota (ostanki dreves grmov) |
| Stopnja razgrajenosti | 1. šibko razgrajena (H1-H3) 2. srednje razgrajena (H4-H6) 3. močno razgrajena (H7-H10) |
| Trofično stanje | 1. oligotrofna (nizka vsebnost hranil) 2. mezotrofna 3. evtrofna (visoka vsebnost hranil) |

Šota sphagnum

Šota sphagnum se nanaša na mlado, slabo humificirano šoto. Je svetle barve in jo sestavljajo izključno sphagnum vrste. Suha šota sphagnum lahko privzame devetkratno količino svoje lastne teže (Bos in sod., 2003). Ta velika vodna kapaciteta omogoča optimalno oskrbo rastlin z vodo tudi preko daljšega časovnega obdobja. Zračna kapaciteta je ponavadi 40-50 vol. %. Tako je v območju korenin vzpostavljeno razmerje zraka in vode, ki omogočata dobro rast. Vsebuje do 6 % pepela. Šota sphagnum ima visoko stabilnost strukture, s katero je zagotovljena zadostna drenaža ob prekomernem zalivanju. V huminskih snoveh šotnega humusa so prisotne biološko aktivne snovi, ki spodbujajo rast korenin. Pridobivajo jo horizontalno (mleta šota) ali vertikalno (šotni bloki). Ko šotne bloke razbijejo in presejejo, dobijo grobo strukturo. Dandanes je šota sphagnum pomembna sestavina rastnih substratov, ki je v veliki meri zamenjala belo šoto. Njena frakcija določa, za kakšen namen se bo uporabila. Groba frakcija šote sphagnum se uporablja za sestavo rastnih substratov za okrasne rastline v loncih in drevesa. Finejša frakcija se uporablja za setev, pikiranje, pa tudi v zelo kakovostnih rastnih substratih za občutljive okrasne rastline. Kakovost šote sphagnum in izdelke iz nje nadzorujejo, prav tako laboratorijsko analizirajo tudi kemijske in fizikalne lastnosti. Tak proizvod prihaja z Norveške, Švedske, Finske, Baltika in Kanade. Najdemo jo v severnih predelih, kjer je rast mahov v dolgih poletnih dnevih zelo velika.

Bela šota

Belo šoto ali šotni prah pridobivajo na območju Nemčije, Poljske in Irske. Je temnejše barve kot šota sphagnum in je sestavljena iz mešanice šotnih mahov. Fina bela šota je bolj humificirana kot šota sphagnum, zato ne zadrži tako velike količine vode. Pridobiva se s strganjem površinskih slojev na šotišču. Ker se šota pridobiva na velikih, skupaj ležečih površinah, je izključena vsebnost semen plevelov. Pri sestavljanju rastnih substratov je

izrednega pomena pravilno razmerje različnih frakcij (velikosti delcev) bele šote, ki so najpomembnejše za dober razvoj koreninske grude. Največkrat je preveč fina za kakovostne rastne substrate, zato ji dodajajo večje delce šote, imenovane frakcionirana šota, ki jo pridobivajo iz rezane šote v blokkih (Bos in sod., 2003). Uporablja se za setev, razmnoževanje potaknjencev, pikiranje. Bolj grobe frakcije se uporabljajo v rastnih substratih za okrasne rastline v loncih, njena uporaba temelji predvsem na velikosti delcev.

Črna šota in zmrznjena črna šota

Pod slojem bele šote se navadno nahaja črna šota, ki je močnejše razgrajena. Črno šoto pridobivajo iz spodnjih plasti šotnega profila in je nepopolno zamrznjena. Krčenje je večje kot pri zmrznjeni črni šoti in po izsušitvi prevzame le majhne količine vode. Ima manjšo kapaciteto za zadrževanje vode kot zmrznjena črna šota (Bos in sod., 2003).

Črno šoto uporabljajo za izdelavo šotnih lončkov za enkratno uporabo, zaradi česar je zelo iskano blago. V šotne lončke sadimo ukoreninjene in še ne ukoreninjene potaknjence in sadike enoletnic. V takšnih lončkih jih gojimo toliko časa, da so primerne za presajanje na stalno mesto. Njihova prednost je, da so sorazmerno trdi, ko jih zasajamo, ter da korenine povsem prerastejo rastni substrat in šotno steno. Rastline posadimo na stalno mesto skupaj z lončkom in tako preprečimo zastoj v rasti (Bos in sod., 2003).

Zmrznjeno črno šoto pridobivajo v Nemčiji iz spodnjih plasti šotnih blokov, potem ko je bila že odstranjena bela šota. Črna šota mora zamrzniti v mokrih razmerah. Ko z vodo prepojena šota zmrzuje, kristali ledu v šoti počasi rastejo. Kristali delno razbijajo številne vezi med trdnimi delci v šoti, kar povzroča večanje povprečnega premera por. Takšna šota je porozna, zlahka privzema in sprošča zadostne količine vode. Zaradi širokih por je zagotovljena tudi preskrba z zrakom. Šotna plast, debeline 10 cm, naj bi bila po možnosti izpostavljena pogojem zmrzovanja na povprečni temperaturi $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ vsaj tri dni, seveda brez izolacijske plasti snega na vrhu. Kakovost šote ne temelji vedno na stopnji zamrzovanja, temveč tudi na rezanju šotnih blokov. Vrednost kapacitete za zadrževanje vode je mera za stopnjo, do katere je bila šota zamrznjena. Nezmrznjena črna šota lahko privzame 100 g vode na 100 g suhe snovi (kapaciteta za zadrževanje vode 1g/g), to pomeni, da ne more privzeti več vode, kot je njena lastna mas

Uporablja se kot rastni substrat za gojenje zelenjave, enoletnic, cvetličarstvo. Ni primerna za uporabo pri gojenju rastlin v mokrih razmerah, kot je način zalivanja s poplavnimi mizami. Za take namene je vsebnost zraka prenizka, ker vsebuje preveč majhnih delcev. Navadno se uporablja kot dodatek k bolj grobim rastnim substratom za gojenje rastlin v loncih in dreves. Zaradi izčrpanja zalog zmrznjene črne šote in črne šote iz Nemčije se na trgu pojavljajo alternativne šote s Finske, Rusije in Baltika (Bos in sod., 2003).

2.3.3.2 Kompostirano lubje

Kompostirano lubje je razlomljeno lubje iglavcev in listavcev, največ pa se za kompostiranje uporabljata lubje jelke (*Picea abies*) in bora (*Pinus sylvestris*). Razdeljeno je na velikostne razrede od 0-10 mm (drobno), od 0-20 (srednje), od 0-40 (grobo). Kompostirano lubje ima vrednosti pH med 4 in 7. Lubje vsebuje substance, kot so smola, tanini in fenoli, ki sicer varujejo drevo pred škodljivci, in jih je potrebno pred kompostiranjem in preden se uporabijo za rastni substrat odstraniti, ker so lahko toksični za

rastline. Danes uporaba kompostiranega lubja v vrtnarstvu močno narašča. Drobnost in srednje veliko kompostirano lubje se uporablja v mešanicah za lončne rastline in trajnice. Zelo dobro v rastnem substratu, ki je sestavljen pretežno iz lubja, uspevajo orhideje, ker potrebujejo veliko zraka (Čufer, 2005).

Koliko vode zadrži lubje, je odvisno od frakcije. Kompostirano lubje ima manjšo kapaciteto za zadrževanje vode kot šota in je zato pri namakanju potrebna večja količina vode, vendar pa ima boljšo drenažo. V mešanicah s fino šoto se grobo lubje uporablja za povečanje zračnosti rastnega substrata. Lubje je močan in fizikalno stabilen material in zato pripomore k stabilnosti strukture rastnega substrata. Fizikalne lastnosti borovega lubja velikosti 7-15 mm so navedene v preglednici 7.

Lubje vsebuje določeno količino hranil. Vezava dušika v lubju je odvisna od vira (jelka ali bor) in stopnje kompostiranja. Prisotnost lesa v lubju lahko poveča stopnjo vezave dušika. To lahko privede do pomanjkanja dušika pri rasti rastlin in zaradi tega razloga je uporaba lubja v substratnih mešanicah omejena. Vrednost pH je 4,0, elektroprevodnost znaša 0,3 mS/cm (Bos in sod., 2003).

Preglednica 7: Fizikalne lastnosti borovega lubja velikosti 7-15 mm (Bos in sod., 2003: 33)
Table 7: Physical properties of bark 7-15 mm (Bos et al., 2003: 33)

| Fizikalne lastnosti | Vrednosti | | |
|------------------------------------|------------------|---------------|----------------|
| gostota (kg/m ³) | 197 | | |
| krčenje (vol. %) | 0 | | |
| poroznost (vol. %) | 87 | | |
| lahko dostopna voda (EAW) (vol. %) | 3 | | |
| Višina vodnega stolpca | -10 cm | -50 cm | -100 cm |
| vsebnost vode (vol. %) | 34 | 31 | 30 |
| vsebnost zraka (vol. %) | 53 | 56 | 57 |

2.3.3.3 Lesna vlakna

Lesna vlakna pridobivajo iz svežih ostankov pri žaganju in vsebujejo največ 15 - 30 % lubja. Ti lesni rezanci se pod vplivom pritiska in vroče pare spremenijo v vlakna. Posledično je tak proizvod steriliziran in ne vsebuje plevelov ter patogenih organizmov. Dosežena struktura je podobna šoti, le sposobnost vezave vode je občutno manjša kot pri šoti. Povečana uporaba lesnih vlaken v rastnih substratih povečuje kapaciteto za zrak v rastnem substratu in hkrati zmanjšuje kapaciteto za vodo. Med vsemi sestavinami rastnih substratov imajo to dobro lastnost, da je krčenje minimalno. Lesna vlakna imajo majhno gostoto in fizikalno precej stabilno strukturo preglednica 8.

Lesna vlakna vsebujejo precej velike količine mangana, njihova vrednost pH je 4,6, izmerjena elektroprevodnost je 0,1 mS/cm. Material razgrajujejo mikroorganizmi, zato je pomembno dejstvo, da vežejo precej velike količine dušika. Večinoma je stopnja vezave dušika razlog za definiranje maksimalne količine lesnih vlaken v substratnih mešanica, predvsem pri kontroli kakovosti RHP (Bos in sod., 2003).

Preglednica 8: Fizikalne lastnosti lesnih vlaken (Bos in sod., 2003: 35)

Table 8: Physical properties of wood fibres (Bos et al., 2003: 35)

| Fizikalne lastnosti | Vrednosti | | |
|------------------------------------|------------------------------|--------|---------|
| | gostota (kg/m ³) | 121 | |
| krčenje (vol. %) | 12 | | |
| poroznost (vol. %) | 94 | | |
| lahko dostopna voda (EAW) (vol. %) | 17 | | |
| Višina vodnega stolpca | -10 cm | -50 cm | -100 cm |
| vsebnost vode (vol. %) | 42 | 24 | 23 |
| vsebnost zraka (vol. %) | 52 | 70 | 71 |

2.3.3.4 Kokosova vlakna

Kokosova vlakna nastanejo kot stranski proizvod pri pridobivanju vlaken iz kokosovih orehov. Za rastne substrate se uporabljajo narezana kokosova vlakna, in sicer kot dodatek v rastne substrate za različne namene. Kokosova vlakna vsebujejo veliko zraka, zadržijo pa malo vode (preglednica 9). Kokosove niti izboljšujejo strukturo rastnega substrata in povečujejo volumen por. Struktura, ki se ustvari v substratnih mešanica s kokosovimi vlakni, omogoča hitro odtekanje vode iz rastnega substrata, zaradi širokih por. Učinek kokosovih vlaken na privzem vode še ni znan.

Kokosova drevesa največkrat najdemo ob obalah, zato je vsebnost soli prevelika. Kokosova vlakna imajo majhen adsorpcijski kompleks in v mešanica skoraj ne prihaja do izmenjave hranil. Izmerjena vrednost pH je 5,6, elektroprevodnost 0,4 mS/cm. Rastni substrat iz kokosa lahko vsebuje škodljive snovi, zato mora biti kompostiran in se lahko uporabi čez približno štiri mesece. Kokosova vlakna lahko vsebujejo semena plevelov. Tropski pleveli povzročajo dva glavna problema: a) lahko prenašajo možne rastlinske patogene organizme, kot so virusi, b) tropski pleveli se lahko zelo hitro razširijo v razmerah, kakršne obstajajo v rastlinjakih. Stabilnost kokosovih vlaken je srednja, saj jih mikroorganizmi radi razgrajujejo. Zato se v substratnih mešanica uporablja nekje do 15 vol. % kokosovih vlaken, da ne pride do razpada strukture. Uporabljajo se kot dodatek v rastnih substratih za presajanje in sajenje sobnih rastlin.

Preglednica 9: Fizikalne lastnosti kokosovih vlaken (Bos in sod., 2003: 32)
Table 9: Physical properties of coir fibre (Bos et al., 2003: 32)

| Fizikalne lastnosti | Vrednosti | | |
|------------------------------------|------------------|---------------|----------------|
| gostota (kg/m ³) | 63 | | |
| krčenje (vol. %) | 0 | | |
| poroznost (vol. %) | 92 | | |
| lahko dostopna voda (EAW) (vol. %) | 2 | | |
| Višina vodnega stolpca | -10 cm | -50 cm | -100 cm |
| vsebnost vode (vol. %) | 8 | 6 | 6 |
| vsebnost zraka (vol. %) | 84 | 86 | 86 |

2.3.4 Mineralne sestavine rastnih substratov

Mineralne sestavine se uporabljajo za izboljšanje fizikalnih lastnosti rastnega substrata, predvsem se izboljšata drenaža in zračnost. Pesek, vermikulit, perlit, kamena volna in ekspanzirana glina so naravnega mineralnega izvora. S pomočjo energije je močno spremenjena njihova struktura.

2.3.4.1 Pesek

Pesek navadno dobimo iz rek. Razlikujemo pesek iz apnenčastih kamenin (Sava – več kot 90 % apnenca) in kisljih kamenin (Drava, Mura – več kot 90 % kremenca). Ti peski imajo različno vrednost pH. Najboljši je kemično nevtralen pesek iz reke Tise. Ta deluje le na fizikalne lastnosti rastnega substrata (Šiftar, 2002).

Pesek se deli po premeru zrn na droben, srednji in grob. Najpogosteje se v vrtnarstvu uporablja pesek z delci velikosti 0,05–0,5 mm, to je srednji velikostni razred.

Pesek naredi zemljo rahlo in propustno. V težkih mineralnih tleh zvišuje vodno in zračno kapaciteto. Ima veliko gostoto, ki se giblje med 1400–1700 g/l, kar ima pozitiven vpliv pri kontejnerskih kulturah, ker izboljšuje stabilnost lončkov. Izboljšuje zračenje, vlažnost in pretok vode. Pred uporabo se mora oprati, da postane čist in brez bolezenskih klic. Kot samostojen rastni substrat ga uporabljajo za ukoreninjenje potaknjencev. Pesek se uporablja za potaknjence, ki so večji od 10 cm. V rastnih substratih, ki so namenjeni rastlinam, občutljivim na kisik, se njegova uporaba ne priporoča. Pesek je zelo obstojen, ker ni občutljiv na kemijsko in biološko razgradnjo (Aendekerk in sod., 2000).

Novejše raziskave potekajo s presejanim in zdrobljenim obalnim peskom, ki je bolj izenačen. Vendar je tak material tudi dražji.

2.3.4.2 Vulkanski pesek

Vulkanski pesek najdemo na mestih izbruhov vulkanov. Žareč alkalni material izleti iz vulkana in se v zraku strdi.

Vulkanski pesek je grobozrnat, porozen in lahko vsebuje veliko vode in zraka. Del njegovih por je zaprtih in ujet zrak nima učinka na rast rastlin. Ima odlične drenažne lastnosti, plava na vodi in je povsem porozen. V svojih porah lahko zadržuje vodo, ki jo rastline v primeru sušnega obdobja lahko izkoriščajo. Vir vulkanskega peska določa, kakšna je njegova poroznost in gostota (preglednica 10).

Na trgu najdemo vulkanski pesek različnih frakcij, le-te pa določajo razmerje med kapaciteto za vodo in zrak v materialu. Med pranjem materiala je ponavadi odstranjena najfinejša frakcija.

Vulkanski pesek ima vrednost pH med 6,5 in 7,0 in majhno vrednost elektroprevodnost. Material mora biti za uporabo v vrtnarstvu pridobljen tako, da ne vsebuje semen plevelov in patogenih ogorčic. V rastnih substratih se vulkanski pesek uporablja kot dodatek, lahko tudi samostojno (Bos in sod., 2003). Uporablja se v rastnih substratih za zunanje gojenje, za polnjenje zunanjih korit in za strešne ozelenitve.

Preglednica 10: Fizikalne lastnosti vulkanskega peska (Bos in sod., 2003: 36)

Table 10: Physical properties of volcanic sand (Bos et al., 2003: 36)

| Fizikalne lastnosti | Vrednosti | | |
|------------------------------------|------------------|---------------|----------------|
| gostota (kg/m ³) | 431 | | |
| krčenje (vol. %) | 0 | | |
| poroznost (vol. %) | 83 | | |
| lahko dostopna voda (EAW) (vol. %) | 3 | | |
| Višina vodnega stolpca | -10 cm | -50 cm | -100 cm |
| vsebnost vode (vol. %) | 40 | 37 | 37 |
| vsebnost zraka (vol. %) | 43 | 46 | 46 |

2.3.4.3 Glina in glineni minerali

V tleh zmernih klimatskih območij je v trdni fazi tal običajno med 12–14 % glinenih mineralov. Predstavljajo relativno stabilno fazo v evoluciji mineralne komponente tal. Osnovno kristalno strukturo glinenih mineralov tvorijo plasti tetraedrov silicijevega (Si) oksida, ki so s kovalentnimi vezmi povezane s plastmi oktaedrov aluminijevega (Al) hidroksida in na ta način tvorijo lamele. Vsak kristal gline je razdeljen v 10-20 lamel. V tej velikostni skali lahko razločimo rešetkasto strukturo glinenih mineralov. Lamelle glinenih mineralov so lahko dvoplastne: ena plast Si tetraedrov in ena plast Al oktaedrov in triplastne: dve plasti Si tetraedrov in ena plast Al oktaedrov. Glede na matično kamnino in

druge razmere v tleh lahko nastanejo različne glin. Ključ do mineralogije glin je majhen premer mineralnih zrn, manjši od 2 mikronov, in njihova kristalografska struktura. Ti dve značilnosti dajeta glinam zelo veliko površino glede na maso materiala v glinastih kristalnih zrnih. Velika površina daje lastnost vpijanja vode, ki je značilna za vse drobnozrnate materiale (Kočevar in Vidic, 1998).

Glina se v rastnih substratih pojavlja v različnih oblikah: sveža, posušene granule, suha glina v prahu. Uporablja se kot dodatek v različnih rastnih substratih za spreminjanje kemijskih in fizikalnih lastnosti. Uporaba različnih glin je pokazala velik vpliv na privzem vode in sposobnost za zadrževanje vode v mešanica s šoto (Riviere in sod., 1995). Zelo fini delci glin so pokazali močan učinek na vsebnost EAW in hitrost prevzema vode v zelo suhih pogojih (Verhagen, 2004). Opazili so, da so rastline, ki rastejo v mešanica šote in glin, v rasti bolj kompaktne v primerjavi s tistimi, ki rastejo v rastnih substratih brez dodane glin. Ta učinek so pripisali CEC glin, ki so jih uporabili. Glina vsebuje določeno količino elementov. V raztopini najdemo kalij, kalcij, magnezij, natrij, mangan in bor. Lahko vsebuje karbonate, ki vplivajo na vrednost pH. Razlike med rastnimi substrati so opazne glede na to, kolikšna je količina dodane glin in kakšen tip glin je dodan (preglednica 11). Glina lahko vsebuje semena plevelov ali patogene ogorčice, ki morajo biti pred uporabo v rastnih substratih odstranjene.

Preglednica 11: Izbira glinenega materiala glede na željen učinek v rastnem substratu (Bos in sod., 2003: 38)
Table 11: Selecting clay material according to the effect in the growing media (Bos et al., 2003: 38)

| Željen učinek v rastnem substratu | Glineni material |
|-----------------------------------|--|
| izboljššan privzem vode | fina do zelo fina glina, uporabljena v majhni količini (5 vol. %) |
| uravnavanje EAW | fina do zelo fina glina, uporabljena v večji količini (10-15 vol. %) |
| povečanje puferske kapacitete | glina z visoko vrednostjo kationske izmenjalne kapacitete, uporabljena v večji količini (10-15 vol. %) |

2.3.4.4 Perlit

Surovina za izdelavo perlita so aluminijevi silikati vulkanskega izvora, ki vsebujejo 2-5 % kristalno vezane vode. Silikate najprej zmeljejo, nato pa jih termično obdelujejo pri 1100 – 1200 °C. Pri segrevanju postanejo le-ti plastični, kristalno vezana voda se osvobaja in izpareva. Po izparevanju vode se oblikujejo majhna zrnca, premera 1 do 3 mm. Osnovni material ekspandira ter pri tem poveča svoj volumen za 10–40 %. Zaradi hitrega povečanja volumna postane perlit lahek. Zrnca ekspandiranega perlita so porozna in napolnjena z zrakom, zato je perlit zelo dober termoizolacijski material. Perlit je izjemno porozen material. Je sterilan medij in ne vsebuje hranil. Povečuje sposobnost rastnega substrata hkrati za sprejemanje vode in zraka ter zmanjšuje nihanje temperature rastnega substrata. Ima majhno gostoto in dobro drenažno delovanje. Fizikalne lastnosti perlita so navedene v preglednici 12. Je kemijsko inerten, negorljiv in nima vonja. Običajna vrednost pH je od 6,5 do 7,5, elektroprevodnost je majhna. V substratne mešanice se dodaja za povečanje vsebnosti zraka in povečanje privzema vode. Zato se v veliki meri uporablja v rastnih

substratih za gojenje rastlin na poplavnih mizah. Uporablja se tudi kot rastni substrat za potaknjence. V substratnih mešanica daje dobre rezultate, če ga je do 20 vol. %.

Preglednica 12: Fizikalne lastnosti perlita velikosti 1-8 mm (Bos in sod., 2003: 41)

Table 12: Physical properties of perlite, size 1-8 mm (Bos et al., 2003: 41)

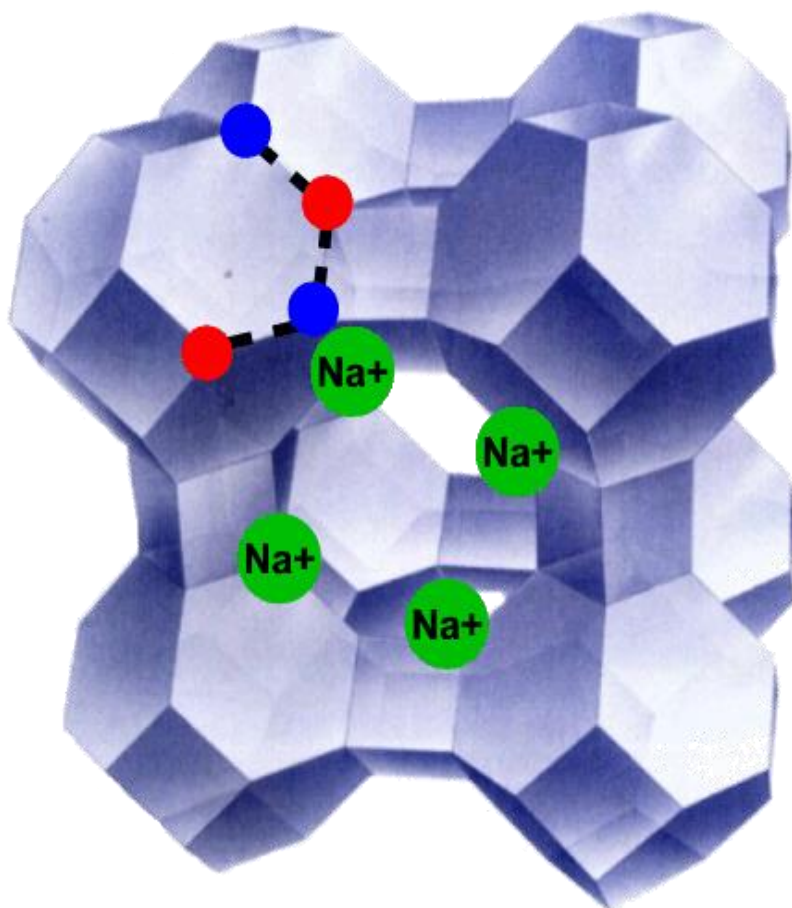
| Fizikalne lastnosti | Vrednosti | | |
|------------------------------------|------------------|---------------|----------------|
| gostota (kg/m ³) | 142 | | |
| krčenje (vol. %) | 0 | | |
| poroznost (vol. %) | 95 | | |
| lahko dostopna voda (EAW) (vol. %) | 9 | | |
| Višina vodnega stolpca | -10 cm | -50 cm | -100 cm |
| vsebnost vode (vol. %) | 34 | 25 | 23 |
| vsebnost zraka (vol. %) | 61 | 70 | 72 |

2.3.4.5 Zeolit

Zeoliti sodijo v izredno pomembno skupino kamenotvornih mineralov, med alumosilikatne gline vulkanskega izvora s tridimenzionalno kristalno strukturo in se navadno oblikujejo z metamorfizmom vulkanskih skal. Pomembna nahajališča naravnih zeolitov so na Kubi, Združenih državah Amerike, Rusiji, Japonski, Italiji, Južni Afriki, Madžarski, Bolgariji in Turčiji (Polat in sod., 2004), manjša so tudi v Sloveniji (Držaj, 1990).

Imajo izredno porozno skeletno strukturo, ki sestoji iz medsebojno povezanih kanalčkov in votlinic, vzdolž katerih potekajo procesi ionske izmenjave, adsorpcije in hidratizacije. Posamezne vrste zeolitov se razlikujejo med seboj po kemijski sestavi, še bolj pogosto pa po skeletni strukturi. Osnovna skeletna struktura vseh zeolitov sestoji iz tetraedrov in oktaedrov, ki se med seboj povezujejo v višje enote, te pa tvorijo veččlenske enojne in dvojne obročje. Tako dobimo neskončno tridimenzionalno strukturo, v kateri so premeri kanalčkov in votlinic za določen zeolit stalni. Deer, Howie in Zussman (1963) ter Breck (1973), cit. po Držaj (1990), jih razvrščajo med vlaknate, listnate in ogrodne. V skupino listnatih zeolitov prištevamo heulandit, klinoptilolit, stilbit, epistilbit in brewsterit. Zeolite izgrajujejo primarne tetraederske gradbene enote SiO_4^{4-} , AlO_4^{5-} in tudi FeO_4^{5-} , podobno kot je pri smektitih, le da je način vgradnje tetraedrov drugačen: sekundarne gradbene enote, sestavljene iz več tetraedrov se prostorsko razporejajo tako, da se Si^{4+} in Al^{3+} (Fe^{3+}) nahajajo v vrhovih obročev in poliedrov. V normalnih razmerah so votlinice in kanali v strukturi zapolnjene z molekulami vode, ki ustvarjajo hidratacijsko okolje okoli izmenljivih kationov (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}). Z odstranitvijo vode iz strukture povzročimo nastanek prostih mest, ki jih lahko zasedejo drugi kationi ali molekule z ustreznim premerom. Ker se le-ti ne vežejo, ampak le ujamejo v strukturo, jih lahko nemoteno izmenjujejo. Ravno ta princip "molekulskega sita" daje velike možnosti uporabe zeolitov. Tako dobi zeolit svojo strukturo ne le v eni plasti, temveč prostorsko, premreženo s

sistemom kanalov in votlin molekularnih dimenzij, v katerih se nahajajo izmenljivi, lahko gibajoči se ioni in voda (Baninasab, 2009). Odvisno od zasedbe z vrsto kationov prihaja do sprememb dimenzij-premerov in prostornine kanalov, kar omogoča zeolitom specifične adsorpcijske lastnosti in sposobnosti vgradnje drugih molekul, pri čemer zeolit nastopa kot molekularno sito (slika 6) (Držaj, 1990). Njihova kristalna rešetka ima veliko notranjih tunelov in veliko CEC (Cativello, 1995).



Slika 6: Struktura zeolita in njegove lastnosti (Qian, 2011)
Figure 6: The structure and properties of zeolite (Qian, 2011)

Zeoliti imajo veliko sposobnost za zadrževanje vode in mehansko stabilnost. Fizikalne lastnosti različnih zeolitnih frakcij so podane v preglednici 13. Ugotovili so, da ima zeolit, večji od 2 μm , manjšo sposobnost zadrževanja vode kot mikronski (Cativello, 1991; Mumpton, 1999; Stamatakis in sod., 2001; Baninasab, 2009). Zaradi takšnih lastnosti lahko delujejo kot molekularno sito za sredstva za varstvo rastlin, težke kovine, radioaktivne elemente in so naravna počasi topna gnojila. Zaradi velike CEC in hidratacijskih lastnosti so zeoliti, še posebej klinoptilolit, deležni velike pozornosti tudi na področju kmetijskih raziskav. Uporaba naravnih zeolitov pri proizvodnji funkcionalnih rastnih substratov v hidroponiki je v preverjanju in se zaradi njihovih fizikalnih in kemijskih lastnosti zdi zelo izzivalna ideja (Stamatakis in sod., 2001).

Dodatek zeolitov v rastne substrate za gojenje kumar in paradižnika je imel pozitiven učinek na njihov pridelek. Pri njuni kultivaciji so porabili celo manj vode, energije in gnojil (Cativello, 1995; Polat in sod., 2004). Uporaba klinoptilolita pri gojenju glavnote solate je pokazala boljšo rast rastlin, višjo vsebnost K in N v rastlinskih tkivih in manjše izpiranje K (Gül in sod., 2007). Strojny in Nowak (2004) poročata o pozitivnem učinku zeolita na pridelek paprik (Gül in sod., 2007). Dodatek zeolita v rastne substrate je pokazal pozitiven učinek na rast tagetesa (Cativello, 1995) in nageljnov (Challinor in sod., 1995) ter izboljšano kaljenje semen, število rastlin in cvetov pri gladiolah (Cativello, 1995). Rezultati so pokazali, da ima dodatek zeolita pozitiven učinek predvsem pri rastlinah, kjer gojenje poteka daljše časovno obdobje, kot primer so navedli gojenje ciklam in primul (Cativello, 1995).

Preglednica 13: Fizikalne lastnosti različnih frakcij zeolita (Raviv in Lieth, 2008)

Table 13: Physical properties of different fractions of zeolite (Raviv and Lieth, 2008)

| Velikost frakcije (mm) | Gostota (g/cm ³) | Poroznost (%) | Lahko dostopna voda (%) |
|------------------------|------------------------------|---------------|-------------------------|
| 2-6 | 0,69 | 50 | 4 |
| 6-10 | 0,65 | 40 | 10 |
| 10-14 | 0,64 | 35 | 1 |

2.3.5 Sintetične sestavine rastnih substratov

Sintetične dodatke uporabljamo v vrtnarstvu pri izdelavi specialnih rastnih substratov. Surovina le-teh je nafta. Sintetični dodatki so rezultat industrijskih prizadevanj, da bi ugodili vrtnarjem in njihovim potrebam. V novejšem času se predvsem zaradi ekoloških vzrokov kažejo težnje za zmanjšanje oz. popolno odpravo uporabe sintetičnih snovi.

2.3.5.1 Fenolna smola

Fenolno smolo pridelujejo s penjenjem proizvodov mineralnih olj. Fenol je benzen z OH-skupino. Velikost por variira. Oasis pena je eden od proizvodov, ki se pojavlja na trgu v obliki ploščic, lahko tudi v granulah.

Fenolna smola zadržuje veliko vode, vendar v granulirani obliki vsebuje več zraka zaradi luknjic med granulami. Vrednost pH je zelo majhna (3,5), zato mora biti pred uporabo rastnemu substratu dodano apno. V rastne substrate se dodaja zato, ker zelo dobro učinkuje na korenine, ima baktericidno delovanje. Med kompostiranjem se fenolna smola spremeni v nerazpoznavno strukturo in ne pušča škodljivih substanc (Aendekerk in sod., 2000).

2.3.5.2 Poliuretan

Poliuretan proizvajajo z mešanjem proizvodov olj, ki med seboj reagirajo. Med proizvodnjo te umetne pene diizocianat reagira z glikolom in vodo. Presežek diizocianatnih skupin v polimeru reagira z vodo, to se rezultira v obliki CO₂ in penasti obliki polimera. Poliuretan zadržuje veliko zraka in malo vode. Oskrba z vodo mora biti zato konstantna. Poliuretan je prilagodljiv, ima nizko vrednost EC in vrednost pH 6. Je zelo dolgo

uporaben, tudi 10 let. Kisline in mikroorganizmi nanj ne učinkujejo. Zelo dobro ga lahko steriliziramo (Aendekerk in sod., 2000). Uporabljajo ga v rastnih substratih za gojenje orhidej in zelenjave.

2.4 NAMAKANJE V RASTLINJAKIH

Pri pridelavi rastlin je pravilno ravnanje z vodo izrednega pomena. Kljub temu je težko določiti kratkoročne potrebe rastlin po vodi, ker rastlina lahko določljivih indikatorjev stresa takoj ne pokaže. Rastlina porablja vodo na različne načine (kot je ohranjanje turgorja, za privzem hranil in fotosintezo), ki se spreminjajo glede na pogoje v okolju.

Klasičen način preskrbe rastlin z vodo je, da se v območju koreninskega sistema zagotovi zaloga vode in v tem primeru le-ta postane takoj dostopen vir. Najbolj praktično dodajanje vode rastlinam temelji na minimiziranju prevelikega dodatka vode in preprečevanju vodnega stresa z uporabo učinkovitih klasičnih namakalnih tehnik (Saarinen, 1995). Tla ali rastni substrati imajo vsebnost vode tako, da variira od kontejnerske kapacitete po namakanju, do visoke tenzije vode, ki se nanaša na nastop venenja pri rastlinah (Giacomelli, 1998).

V teoriji rastline transpirirajo vodo in to zahteva dopolnjevanje z vodo v količinah, ki so odvisne od rastlinske mikroklimе (temperature listov, sončnega obsevanja, zračne vlage, hitrosti vetra) kot tudi starosti rastlin, morfologije, zdravja in sposobnosti za pridobivanje vode preko koreninskega sistema.

Tradicionalno rastline rastejo tako, da merimo in preverjamo makroklimo v rastlinjaku. Okoljski parametri makroklimе so naslednji: povprečna temperatura zraka, vlažnost in/ali vrednosti za sončno obsevanje določenega okolja. Priporočljivo je spremljati tudi temperaturo listov rastlin. Rastlinski procesi, kot so transpiracija, fotosinteza, respiracija, privzem hranil se ne spremljajo neposredno, ko se preverja okolje, v katerem rastejo rastline.

Na žalost ljudje ne razumemo jezika rastlin. Računalniško vodena proizvodnja rastlin omogoča možnost pridobivanja podatkov preko različnih senzorjev, da lahko kvantitativno ovrednotimo trenutno stanje rastline in hitrost oziroma stopnjo, s katero se razvija. Na žalost je tudi to omejeno na pomanjkanje primernih senzorjev in tudi interpretacijo njihovih podatkov (Cox, 2004).

2.4.1 Načini namakanja v rastlinjakih

Namakanje rastlin v rastlinjakih je zelo zahtevno opravilo. Dobro poznavanje dejavnikov, ki vplivajo na vlago v zemlji, je nujno za zagotovitev optimalnih pogojev rasti rastlin.

Namakalni sistemi morajo zagotavljati primerno količino vode (in raztopljenih hranil) rastlinskim koreninam. To mora biti učinkovito, enotno in temeljiti na tem, da se zagotovi kakovosten pridelek in enotna velikost in zrelost gojene kulture (Giacomelli, 1998).

V večini primerov se voda dodaja z vrha. Ta voda je dodana kot površinsko namakanje ali zalivanje, namakanje z oroševanjem, obročno oroševanje, kapljično namakanje,

mikronamakanje. Površinsko namakanje oziroma zalivanje s cevjo in namakanje z oroševanjem imata tendenco trošenja velikih količin vode. Pri teh dveh načinih je omočena listna površina, zato se poveča možnost za pojav rastlinskih bolezni in poškodb.

Kapljično namakanje je sistem, kjer je kontrola nad porabo vode največja. Listje rastlin se pri tem sistemu ne omoči, zato je zmanjšana nevarnost pojava bolezni.

Voda se lahko dodaja tudi kot subirigacija, kar pomeni, da se voda absorbira v rastni substrat s spodnje strani lončka in se po rastnem substratu razporedi po principu kapilarnosti. Sem sodijo poplavne mize ali ebb-and-flow namakanje.

2.4.1.1 Površinsko namakanje ali zalivanje

Najosnovnejši način površinskega namakanja je ročno zalivanje z zalivalno cevjo. To je zelo intenziven sistem in hkrati zelo neenoten, saj je količina vode odvisna od delavca, ki zaliva rastline. Tak način namakanja rastlin se uporablja v majhnih rastlinjakih (Čufer, 2005). Za postavitev je to najenostavnejši način namakanja, saj potrebujemo samo pipo, gumijasto cev in razpršilnik (Dole, 2001). Ročno zalivane rastline naj bi bile zalivane tako, da vsak lonček doseže svojo kontejnersko kapaciteto. Raviv in Lieth (2008) trdita, da odtekanje vode z dna lončka ni nujno pokazatelj, ali je bil rastni substrat enakomerno zalit do nastopa kontejnerske kapacitete, saj v poroznih rastnih substratih voda zlahka odteka in ni vedno pravilo, da jo rastlinske korenine zlahka prevzamejo. Pri tem načinu namakanja je velika verjetnost pojava bolezni listov zaradi omočenosti.

2.4.1.2 Namakanje z oroševanjem

Pri tem načinu namakanja je voda razpršena v zrak in potem pade na rastline podobno kot pršenje dežja (Schwab in sod., 1996). Cilj je razporediti vodo po celotni površini čim bolj enakomerno. Pri tem načinu namakanja damo rastlini čim večji obrok namakanja, kolikor to dopuščata rastni substrat in rastlina. Najprimernejše je oroševanje v dopoldanskem času, da se listje preko dneva osuši (Pintar, 2003).

2.4.1.3 Obročno oroševanje

Ugotovili so, da je v rastlinjakih učinkovito obročno namakanje z oroševanjem, kar pomeni, da rastline namakamo v različnih obdobjih dneva z majhno količino vode. Takšen način omogoča namakanje nadzemnih organov rastlin kot tudi zgornjo plast rastnega substrata, kjer se razvija velika večina korenin in kjer se nahajajo tudi hranila. Zaradi majhne količine namakalne vode, le-ta ne prodira v nižje plasti rastnega substrata. V primerjavi z običajnimi tehnikami namakanja (poplavljanje in oroševanje pod visokim pritiskom) je obročno oroševanje z majhnim volumnom vode znižalo temperaturo rastlin včasih za 14 °C in temperaturo zraka za 8 °C. Relativna zračna vlaga se je povečala za 35 %. Količina uporabljene vode za namakanje se na tak način zmanjša za 30 - 40 %, omogoča ohranjanje vode in vire dovajanja energije in tako je namakanje bolj rentabilno. Primeri uporabe obročnega oroševanja so pokazali, da se proizvodnja rastlin poveča za 120-180 % v primerjavi z osnovnim namakanjem z oroševanjem in ostalimi namakalnimi metodami (Lebedev, 1998).

2.4.1.4 Kapljično namakanje

Kapljično namakanje ima veliko prednosti pred ostalimi vrstami in je namakalna tehnika, ki omogoča najintenzivnejšo rastlinsko pridelavo ob največji stopnji varovanja okolja. Ideja namakanja je, da rastlini praktično vsak dan dodajamo toliko vode, kolikor jo potrebuje (Pintar, 2003). To je način namakanja, kjer se počasi dodajajo majhne količine vode v območje korenin rastlin. Voda se dodaja vsak dan zaradi preprečitve stresa in vzdrževanja optimalnih pogojev vlažnosti v ravnem substratu (Lieth in Oki, 2008).

Pri kapljičnem namakanju porabimo približno 50 % manj vode kot pri namakanju z oroševanjem. Namakamo samo del, kjer rastejo rastline, zato je poraba vode manjša. Namakalna oprema deluje pri nižjih tlakih (0,5-1 bar) in zato je tudi uporaba energije manjša kot pri ostalih vrstah namakanja. Voda se pri tem načinu namakanja lahko dodaja rastlinam, ko in kjer jo potrebujejo. Zmanjša se tudi možnost pojava bolezni, ker listi med namakanjem niso mokri, zmanjšana je škoda zaradi insektov, ker se zmanjša vodni stres rastlin. Vodi za namakanje lahko dodajamo topna gnojila, ki so na ta način dodana v območje korenin. Ker je voda dodana v območje korenin rastlin, potrebujemo tudi manj gnojila.

2.4.1.5 Namakanje s poplavnimi mizami ali 'Ebb in flow' namakanje

Namakanje s poplavnimi mizami je postala zelo vsakdanja tehnika namakanja in gnojenja rastlin v rastlinjakih. Kadar rastline namakamo na tak način, pride spodnji del lonca in območje rasti korenin v kontakt z vodo in le-ta po principu kapilarnosti potuje po lončku navzgor in se razporeja v območje koreninskega sistema rastlin. Prednosti take vrste namakanja je več: prihranek na številu delavcev, ki morajo zalivati rastline, ker je sistem voden računalniško, potencialen prihranek pri vodi in gnojilih, ker krožijo in se ne izgubljajo z izpiranjem, bolj enotna rast rastlin je lahko posledica enakomernega močenja rastnega substrata in boljše razporeditve hranil, ki so absorbirana s kapilarnim tokom, manj listnih bolezni, ker so rastline namakane s spodnje strani lončka, pri zaprtem sistemu namakanja se gnojila in sredstva za varstvo rastlin ne izpirajo v vodotoke (Cox, 2004). Na eni mizi naenkrat poplavljammo eno velikost lonca in eno vrsto rastlin, zato je tak način namakanja priporočljiv za veliko proizvodnjo. Raziskave so pokazale, da je ebb in flow sistem izboljšal izenačenost in kakovost rastlin, če so rastle v minimalnem vodnem stresu (Buwalda in Frenck, 1995). Med namakalnim ciklusom ne prihaja do stiskanja in izpiranja ravnih substratov, posledično lahko vodno-zadrževalne lastnosti ravnega substrata ostajajo visoke. Tudi možnost pojava listnih bolezni in bolezni cvetov je majhna, saj le-ti ostajajo suhi.

Kadar je pri tej tehniki namakanja namakalna voda uporabljena v več ciklih, se lahko zgodi, da pride do razmnoževanja patogenih organizmov, kot so glive ali bakterije, zato je vodo potrebno razkuževati. Ugotovili pa so, da se bolezni, ki se sproščajo iz korenin obolelih rastlin, hitro razširjajo z uporabo vode in na tak način se v kratkem času lahko okuži celotno kulturo. Pri uporabi tega načina namakanja povzročata največ škode glivi, kot sta *Pythium spp.* in *Phytophthora spp.* (Buwalda in Frenck, 1995). Pri tem sistemu namakanja se ne priporoča uporaba sredstev za varstvo rastlin v namakalni vodi, ker so količine uporabljene vode velike in sorazmerno s tem tudi količina sredstev za varstvo rastlin (Cox, 2004).

Pri uporabi namakanja s poplavnimi mizami se morajo vrtnarji naučiti novih načinov namakanja in gnojenja, da lahko sistem uspešno uporabljajo. Vodni raztopini in rastnemu substratu je potrebno meriti vrednost pH in elektroprevodnost, ki pokaže proste soli, topne v rastnem substratu. Za uspešno uporabo moramo posebno pozornost nameniti čistoči, da se izognemo boleznim in insektov.

Sistem je sestavljen iz posebej oblikovane plastične mize, ki je ob zalivanju in gnojenju rastlin poplavljen za približno 5 - 20 minut (Raviv in Lieth, 2008). Vsak izmed lončkov naj bi bil poplavljen do enake višine in namakalnemu času izpostavljen enako dolgo, da se doseže maksimalna enotnost. Ko je namakalni cikel zaključen, odvečna voda odteka z mize in se vrača v zbiralno cisterno, da se kasneje lahko ponovno uporabi.

Namakalni cikel se začne s poplavljanjem mize. Trajanje te faze temelji na tem, kako hitro voda priteka na poplavno mizo, in od velikosti mize. Potrebno je paziti, da pritekajoča voda ne začne prevračati lončkov z rastlinami. Voda na poplavni mizi naraste toliko, da so lončki poplavljeni do višine 2 - 5 cm, merjeno od dna lončkov. Nivo poplavljanja lončkov je odvisen od hidravlične prevodnosti rastnega substrata. Manjša kot je hidravlična prevodnost rastnega substrata, bolj visoko in dlje časa morajo biti lončki poplavljeni. Poplavljanje lončkov mora trajati toliko časa, da voda prodre v zgornje plasti rastnega substrata in poplavi celoten koreninski sistem. Med tem časom je velik del koreninskega sistema nad vrednostjo kontejnerske kapacitete. Ko voda odteka z mize, odvečna voda prav tako odteče iz lončkov (Raviv in Lieth, 2008).

2.4.2 Nadzorovanje pravilnosti namakanja

Pravilno upravljanje namakanja je eden glavnih dejavnikov rasti in razvoja rastlin v rastnih substratih. Kulture, ki rastejo v lončkih v rastnih substratih, imajo nizko sposobnost zadrževanja vode in omejeno dostopnost hranil zaradi omejenega volumna. Zato takšni sistemi zahtevajo točno in dinamično kontrolo količine dodane vode in gnojil.

Pri namakanju je količina dodane vode mogoče še celo bolj pomembna kot kako in kdaj namakati. Splošno pravilo pri namakanju v rastlinjakih je dodati 10-15 % več vode, kot jo lahko zadrži rastni substrat. To pospešuje izpiranje pri vsakem obroku namakanja in zmanjšuje potencial za akumulacijo topnih soli v rastnem substratu. Seveda mora biti obrok namakanja zadosti majhen, da omogoča samo pronicanje vode skozi rastni substrat.

2.4.3 Evapotranspiracija

Evapotranspiracija je sestavljena iz dveh procesov: evaporacije in transpiracije. Evaporacija je izhlapevanje vode z vodne površine ali iz tal, transpiracija pa je izhajanje vode iz rastline preko listnih rež ali drugih nadzemnih organov. Evapotranspiracija je odvisna od več vremenskih parametrov (zračne vlage, temperature, sončnega obsevanja, vetra). Podajamo jo v debelini vodne plasti, ki izhlapi v določenem časovnem obdobju (npr. mm/dan, mm/mesec). Referenčna evapotranspiracija (ET_0) se nanaša (odvisno od metode računanja) na prosto vodno gladino ali na referenčno kulturo, ki je 12 cm visoka, z vodo optimalno oskrbljena trava. Evapotranspiracija ni odvisna le od podnebnih dejavnikov, temveč tudi od vrste rastline in stopnje njenega razvoja. Ob upoštevanju teh dejstev lahko izračunamo potencialno evapotranspiracijo rastline (ET_c), kar pomeni, koliko

vode, izraženo v mm/dan ali v l/m²/dan, potrebuje rastlina za nemoten razvoj (Pintar, 2003).

Analitični evapotranspiracijski modeli, namenjeni kulturam v rastlinjakih, kot so paradižnik, kumare, vrtnice, okrasne rastline, temeljijo na klimatskih parametrih (sončno obsevanje, zračna vlaga) in fizioloških parametrih obravnavane kulture (indeks listne površine – LAI in primanjkljaju stomatalne prevodnosti). Takšni modeli zagotavljajo točno oceno o tem, koliko vode potrebuje določena kultura (Lorenzo in sod., 1998).

Voda, ki jo rastline oddajajo s transpiracijo izvira iz zalog v območju korenin in prehaja v atmosfero. Ta proces temelji na: rastlinski mikroklimi (temperatura listov, sončno obsevanje, vlažnost zraka), starosti rastline, morfologiji in zdravju, sposobnosti pridobivanja vode v območju korenin.

2.4.4 Gibanje vode v rastlinah

Voda se kontinuirano prevaja iz območja korenin v stebelni ksilem in v liste, kjer preko listnih rež transpirira iz rastline v atmosfero (masni tok). Voda se stalno shranjuje in učinkovito porablja v rastlinskih organih in celicah.

Če je poškodovan koreninski sistem, steblo ali listi, rastline zmanjšajo transpiracijo. Posledično je vsebnost vode v rastlini zmanjšana in rastline ne morejo odvajati toplote s transpiracijo. To se izraža v višji temperaturi listov, ki zmanjšuje učinkovitost fotosinteze in poveča respiracijo. Merjenje transpiracije rastlin in temperature listov je po navadi indikator zdravja rastlin (Lorenzo in sod., 1998).

Na splošno naj bi bila velika pozornost namenjena dostopnosti vode rastlinskim koreninam in s tem načrtovanju namakanja, še posebej v rastnih substratih, kjer imajo rastlinske korenine na voljo omejen prostor. Omejen prostor v lončkih vpliva na prostorsko razporeditev korenin, na njihovo dolžino ter druge fiziološke in okoljske parametre.

2.4.5 Naloge koreninskega sistema rastlin

Rast korenin je stalen proces, nujno potreben za zdravo rast rastlin. Korenine omogočajo rastlini odkrivati vodo in hranila v zemlji ter nudijo oporo razvijajoči se rastlini. Vsakršno oviranje rasti korenin negativno vpliva na rast in delovanje nadzemnih rastlinskih organov. Podaljševanje in rast korenin sta nujna za mehansko pritrditev rastlin v rastni substrat, privzem vode in hranil in izogibanju sušnim razmeram. Znani okoljski dejavniki, ki škodujejo rasti korenin, vključujejo fizikalne dejavnike, kot so stiskanje rastnega substrata, pomanjkanje vode, nezadostna preskrba z zrakom, ekstremne temperature rastnega substrata in kemijske dejavnike, kot so slanost, rastni substrati z nizko vrednostjo pH (povzročajo toksičnost in presežek izmenljivega aluminija), pomanjkanje ali presežek makrohranil ali težkih kovin. Vsebnost kisika je odločilni dejavnik orientacije korenin in njihovega metabolnega stanja. Pri rastlinah, ki rastejo v loncih, je naloga korenin zagotavljanje sprejema vode in hranil ter proizvodnje rastno regulacijskih hormonov. Glavna razlika med rastlinami v loncih in tistimi, ki rastejo na prostem je ta, da so prve takoj izpostavljene vsem spremembam v njihovem okolju. Tako pri rastlinah v loncih ni prostora za človeške napake, kot so izpostavljanje kritičnim temperaturam in vsebnostim

vode, pomanjkanju hranil ali akumulaciji soli. Manjši je lonček, večja je verjetnost poškodbe koreninskega sistema zaradi nepravilne oskrbe v rastlinjaku.

Značilne posledice napak pri rastlinah v lončkih so naslednje: propadanje korenin zaradi pomanjkanja kisika, kar je posledica prekomernega namakanja, akumulacija soli, ko se le-ta ne izpere zadosti iz območja korenin z namakalno vodo; izpostavljanje neposredni sončni radiaciji, kar povzroči pregrevanje in posledično smrt korenin (Kafkafi, 2008).

2.4.6 Območje korenin

Območje korenin predstavlja prostor, ki ga zapolnjujejo korenine rastlin in je hkrati tudi zapolnjen z rastnim substratom. Velikokrat v tem območju prihaja do neenakomerne prerazporeditve korenin, ki je lahko posledica neugodnih razmer, ali zato, ker rastlina še ni uspela razviti močnega in enakomernega koreninskega sistema. Zaradi heterogenosti pri razporeditvi korenin lahko pride do problemov pri namakanju rastlin. Z območja, kjer je prisotnih veliko korenin, voda odteka hitreje kot z območja z manj koreninami (Lieth in Oki, 2008). Posledica je, da odtekanje vode ni enotno preko celotnega območja korenin. Pri prerazporejanju vode preko rastnega substrata je pomembna njegova hidravlična prevodnost, ki se nanaša na hitrost, s katero se voda giblje v območju korenin. Za vse rastne substrate velja, da prihaja do velikih razlik v hidravlični prevodnosti, ko je rastni substrat moker ali suh (Lieth in Oki, 2008). Večja je hidravlična prevodnost, hitreje se bo voda gibala med in takoj po namakanju. Obstaja pa možnost izsušitve določenih delov koreninskega območja. V primeru, da je hidravlična prevodnost zelo šibka, se voda, ki je bila dodana z vrha ali s spodnje strani lončka, ne more uspešno prerazporediti po lončku med dvema namakalnima intervaloma. Območja, ki so močnejše izpostavljena izsušitvi, so tista, kjer se nahaja več korenin. V takih primerih je težko enotno namočiti območje korenin, še posebej tam, kjer korenine prevladujejo. To povzroča rastlinam vodni stres, kljub dejstvu, da je lonček poln vode. Še posebej je to problematično, če je rastlina izpostavljena visokim temperaturam in suhemu vetru. V takih primerih je najbolje neposredno dovajanje vode, da se rastlini zagotovi hlajenje in poveča vlažnost, da se zmanjša hitrost izgubljanja vode. Območje korenin mora biti namakano v nekaj urah večkrat zaporedoma, da se poskuša dvigniti hidravlično prevodnost v območju korenin in zagotoviti kisik preko masnega toka (Lieth in Oki, 2008).

V primeru, da se določen del korenin v koreninskem območju izsuši, to pomeni odmrtnje korenin v tem predelu. Da bi se takim problemom izognili, poskušamo rastlinam dovesti več vode, kot je v resnici rastni substrat lahko sprejme. Dodajamo jo zelo počasi, da se voda lahko lateralno razporedi v koreninskem območju.

V praksi veliko vrtnarjev poskuša paziti na to, da ne namakajo prepogosto, pač pa poskušajo obdržati območje korenin kar se da vlažno. V takih primerih se velikokrat pojavi pomanjkanje kisika. Kadar rastlinam dodajamo vodo, le-ta s seboj prinaša raztopljen kisik. Če kisik rastline porabljajo hitreje kot vodo, pride do pomanjkanja kisika in posledično slabe rasti in pojava bolezni (Lieth in Oki, 2008).

2.5 METODE ZA MERJENJE FIZIKALNIH IN KEMIJSKIH LASTNOSTI RASTNIH SUBSTRATOV

Laboratoriji po svetu uporabljajo veliko različnih analitičnih metod za določanje fizikalnih in kemijskih lastnosti rastnih substratov. Cilj je usmerjen k primerljivim in standardiziranim laboratorijskim metodam. Delovna skupina za rastne substrate v vrtnarstvu (ISHS) se zavzema za poenotenje metod. Za zanesljivost analiz bi bilo potrebno tudi zmanjšati razlike med samimi laboratoriji, ki sicer izvajajo enake metode. Proizvajalci rastnih substratov potrebujejo hitro in enostavno metodo, da odkrijejo ali njihov proizvod ustreza določenim minimalnim priporočilom. Ta priporočila se nanašajo in razlikujejo glede na rastline, katerim je rastni substrat namenjen, na način namakanja, kakovost vode, trajanje rastne dobe. Vsaka kombinacija rastline, načina gojenja in namakanja zahteva določene lastnosti rastnega substrata. Analize rastnih substratov morajo biti enostavne in hitre tudi zaradi določanja količine hranil med rastno dobo rastlin.

Poenotena metoda, ki se uporablja za merjenje fizikalnih lastnosti rastnih substratov, je standardizirana evropska metoda ali CEN metoda (Gabriëls, 1995; Blok in sod., 2008). Po njej določamo parametre, kot so: gostota, poroznost, zadrževanje vode, vsebnost zraka, krčenje, nesaturirana hidravlična prevodnost, saturirana hidravlična prevodnost.

Pri kemijskih analizah rastnih substratov ni dovolj samo ena ekstrakcijska metoda zaradi velike raznolikosti sestavin rastnih substratov in elementov, ki jih želimo analizirati. Metode so zasnovane tako, da v prvi vrsti želijo analizirati vsebnost elementov v rastnem substratu in predvsem določiti, ali morda rastni substrat vsebuje visoke koncentracije elementov, ki so škodljivi za rastline in posledično za ljudi, ki so lahko porabniki teh rastlin. Eden od smotrnih faktorjev je, kako hitro se element sprošča iz rastnega substrata. Mobilne sestavine so v vodi topne, na pol mobilne sestavine so topne v vodni raztopini amonijevega acetata ali v reagentu, ki tvori kompleks (DTPA). Ekstrakcija z amonijevim acetatom se največkrat uporablja za določevanje kationov in DTPA za elemente v sledovih (De Kreij in sod., 1995).

Za analize rastnih substratov v vrtnarstvu se večinoma uporabljajo vodne ekstrakcije z različnim volumskim razmerjem (voda/volumen). CEN je razvil enotno volumsko metodo 1:5 (voda/volumen), za elemente, ki niso topni v void, pa ekstrakcijo CaCl_2 / DTPA (Blok in sod., 2008). V ekstrakcijah se določajo: EC, N, NO_3^- , NH_4^+ , Cl, P, K, Ca, Mg, SO_4 , Na (De Kreij in sod., 1995).

2.6 PELARGONIJE

Šegula (2012) navaja, da so rezultati raziskave pokazali, da so med najbolj prodajnimi vrstami balkonskega cvetja pelagonije, tako pokončne (*Pelargonium zonale*) kot povešave, ki jih imenujemo tudi bršljanke (*Pelargonium peltatum*).

Pelargonije štejemo med najbolj priljubljene balkonske rastline zato, ker izpolnjujejo naslednje kriterije:

- imajo opazne cvetove, ki so ponavadi zelo številčni;

- cvetijo do pozne jeseni;
- cvetovi so odporni na dež, še posebej pri pelargonijah z enostavnimi cvetovi;
- dobro prenašajo stalno menjavanje sončnega in deževnega vremena ter temperaturne ekstreme ob hladnem in vročem vremenu;
- dobro prenašajo vetrovne lege.

Na gojenje pelargonij se je potrebno vsako leto znova pripraviti, saj se izbor nenehno širi, pojavljajo se nova spoznanja, ki nam pomagajo v predvidenem času vzgojiti kakovostne rastline. V Evropi se z žlahtnjenjem ukvarja kar nekaj trgovskih hiš (Fisher, Selecta, Elsner pac Jungpflanzen, Dümmer, Geranien Endisch). Naštete trgovske hiše imajo skupine pelargonij zaščitene z licenčnimi znamkami: PELFI, SEL, PAC, RED FOX, GEN. Vsako leto izboljšujejo izbor in predstavljajo nove sorte. Poleg novih barv in oblik cvetov je pomembna tudi barva listov in oblika rasti. Najvažneje je, da so rastline zdrave, saj so testirane na različne viruse in bakterije.

2.6.1 Splošen opis pelargonij

Družina : *Geraniaceae* – krvomočničevke

Latinsko rodovno ime: *Pelargonium* L. Herit.

Pelargonije izvirajo iz južne in jugozahodne Afrike. Poznamo okoli 250 vrst pelargonij. Leta 1701 so prišle prve pelargonije na evropska tla. Žlahtnitelji pelargonij so vzgojili številne križance, pri čemer so sodelovale različne osnovne vrste. Delimo jih v 5 večjih skupin: pelargonije zonalke, pelargonije bršljanke, pelargonije regalke, dišeče gojene pelargonije in naravne ali botanične vrste, pelargonije unique (Podgornik-Reš, 2000).

Latinsko poimenovanje izvira iz grške besede pelargos, kar v prevodu pomeni štorclja. Plod pelargonij je podoben štorcljinemu kljunu (Elsner in sod., 1995).

2.6.2 Morfologija pelargonij zonalke

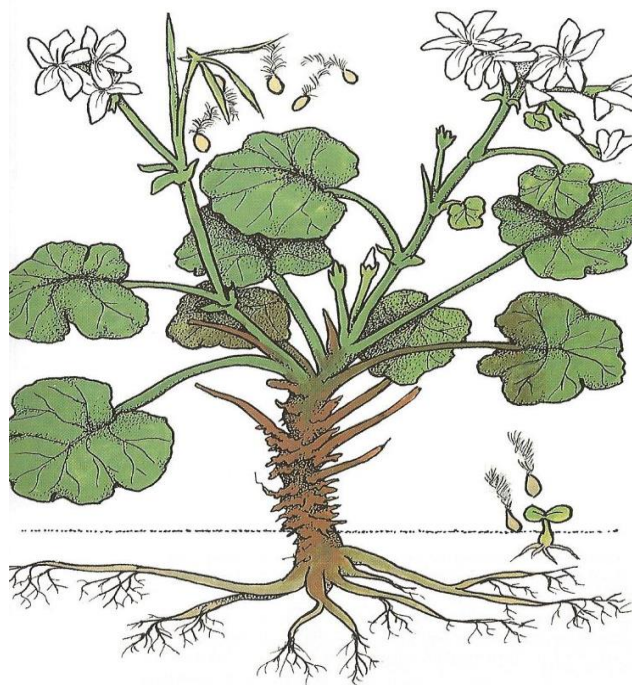
Pelargonije zonalke so poznane tudi pod imenom geranije, *Pelargonium x hortorum* (Bailey). Njihovi najpomembnejši predniki so *P. inquinans* in *P. zonale*, *P. frutetorum* in *P. alchemilliodes*. Pokončne pelargonije – zonalke so nastale s križanjem in selekcijo iz *Pelargonium zonale*.

Cvetovi so lahko: enojni (pet cvetnih listov), polpolnjeni (šest do osem cvetnih listov), dvojni (več kot osem cvetnih listov). Pri najosnovnejši obliki cvetov sta zgornja dva cvetna lista ločena od spodnjih treh. Velikost cvetov je zelo različna, najmanjši cvetovi so veliki okrog 6 mm, največji 7 - 8 cm v premeru. Cvetovi so bele, kremaste, roza, oranžne, rdeče, do skoraj črne barve in variirajo v različnih odtenkih. Imajo obrise ali sijaje, ki prehajajo iz ene v drugo barvo. Pelargonije zonalke imajo lahko v eni cvetni glavi več kot sto cvetkov.

Rastline imajo okrogle do ledvičaste liste z zelo izrazitim, temneje obarvanim predelom ali cono. Cona je vidna kot široka ali tanka obroba blizu roba ali na samem robu lista. Lahko

se pojavlja tudi kot temno obarvanje na sredini lista, vedno jo najdemo na zgornji strani lista. Ponavadi so listi zelene do temno zelene barve, najdemo pa tudi svetlo zelene do rumene ali pisane liste. Velikokrat je spodnja stran listov obarvana rdeče. Nekatere sorte imajo majhne, svilene liste, kar daje mehak občutek, nekateri so tudi lepljivi. Listi so na dotik mehki, njihovo površino prekrivajo dlačice. Velikost listov se giblje med 1 cm do 10 cm, največji do 38 cm v premeru (Taylor, 1990). Steblo je mesnato, oleseni šele na starost.

Imajo tri vrste različnih korenin; grčaste, nitkaste in cevaste korenine, ki so posledica prilagoditve rastlin na naravne razmere. Cevaste korenine shranjujejo vodo v času suše. Nitkaste korenine so pri odraslih rastlinah nekoliko olesenele in rastejo v vodoravni smeri, iz njih se lahko oblikuje tudi nova rastlinica. Take korenine se razvijajo v razmerah, kjer je na voljo dovolj vlage in zadostna prisotnost hranil (slika 7) (Podgornik Reš, 2000).



Slika 7: Slika pelargonije (Taylor, 1990: 11)

Figure 7: The picture of pelargonium (Taylor, 1990: 11)

2.6.3 Gojenje pelargonij

2.6.3.1 Razmnoževanje

Pelargonije razmnožujemo s potaknjenci, pokončne pelargonije lahko tudi sejemo. V obeh primerih potrebujemo matične rastline, s katerih pridobimo seme oz. poganjke za potaknjence. Za vzgojo zdravih sadik pelargonij je zelo pomembno, da so matične rastline zdrave in vitalne, tudi proste različnih znanih virusov. V zadnjih letih zato matične rastline pelargonij večinoma razmnožujemo z metodami *in vitro* razmnoževanja. Razmnoževanje in gojenje matičnih rastlin je v Evropi predvsem v zimskem delu leta (kratek dan, nizke temperature) povezano z velikimi stroški (dodatno ogrevanje, osvetljevanje). Proizvodnja matičnih rastlin se zato pogosto seli v države v bližino ekvatorja. Žlahtniteljske hiše imajo

svoje centre z matičnimi rastlinami pelargonij locirane predvsem v afriških državah (Kenija, Tanzanija). Tako pridobljene potaknjence lahko razmnožujemo kar v teh državah ali pa neukoreninjene potaknjence pripeljemo v Evropo, v vrtnarije, kjer sledi ukoreninjanje in nadaljnje gojenje (Osterc, 2013). Potaknjence ukoreninjamo v lončkih Jiffy (močno stisnjene šotne tablet) ali Paper Pot (šotne tablet v papirnem ovoju, zemlja je rahlo stisnjena), pri temperature zraka 18 °C in ravnega substrata 20 °C prvih 14 dni, nato temperature znižamo za 2 °C (Elsner in sod., 1995).

V času koreninjenja rastlin ne dognojimo, če pa se faza koreninjenja zaradi različnih vzrokov podaljša, lahko rastline dognojimo s pospeševalci koreninjenja (npr. Peters Professional 27 + 15 + 12 + mikroelementi, in sicer 1 g/l vode). Le pri vegetativnem razmnoževanju se ohranjajo značilnosti matičnih rastlin, pri nekaterih hibridih je ta način edini način razmnoževanja, saj je seme sterilno (Šegula, 2012).

2.6.3.2 Presajanje in gnojenje

Pred presajanjem mize razkužimo z dezinfekcijskim sredstvom, 0,5 do 1 % M&ENNOTER-FORTE (aktivna snov je očetna kislina razpršena v vodi), ki je bilo razvito prav za pelargonije in ima fungicidno in baktericidno delovanje. Pelargonije sadimo v plastične lončke. Velikost lončka je odvisna od časa sajenja.

Ukoreninjene rastline presadimo v lončke. Rastni substrat izberemo glede na razmere za rast. Pelargonijam na splošno ustreza malo težji rastni substrat, ob rednem zalivanju in gnojenju pa zelo bujno rastejo tudi v rahlih šotnih rastnih substratih. Zelo dobro se obnesejo mešanice črne in bele šote z dodatkom gline in specialnega gnojila. Rastni substrat naj bi bil rahlo kisel (vrednost pH 6,0 do 6,5). Dodanega ima lahko največ 1,7 kg specialnega gnojila na m³ ravnega substrata ali 4 kg počasi topnega gnojila Osmocote na m³ ravnega substrata. Vrtnarije z urejenim sistemom namakanja in gnojenja lahko uporabljajo lažje, bolj zračne rastne substrate. Imajo pa manjšo adsorpcijsko sposobnost kot težji rastni substrati, zato moramo biti pri gnojenju bolj natančni. Rastni substrat namreč ne bo vezal nase viškov hranil, ki bi jih rastline ob kasnejšem pomanjkanju lahko črpale.

Po presajanju lahko rastline za boljše prekoreninjenje dognojimo ena- do dvakrat s pospeševalcem koreninjenja (npr. Peters Professional 10 + 52 + 10 + mikroelementi, in sicer 0,5 g/l vode). Nadaljnje gnojenje je odvisno od svetlobe in temperature, ki jo imamo na razpolago. Na splošno velja, da koncentracije vodotopnih gnojil lahko povečamo za 40 %, če ob sajenju nismo dodajali gnojil Osmocote, ker so to založna počasi topna gnojila. Za gnojenje rastlin, ki jih dodatno osvetljujemo, uporabljamo gnojila, ki imajo izenačene vsebnosti dušika in kalija (npr. Peters Professional 20 + 20 + 20 + mikroelementi, in sicer 1,0 do 1,2 g/l vode vsakih 7 dni). Pred prodajo rastline utrjujemo z gnojili, ki vsebujejo več kalija (npr. Peters Professional 15 + 11 + 29 + mikroelementi) (Podgornik Reš, 2000).

Šotni rastni substrati vsebujejo štartno gnojilo. Ko se to porabi, kar se običajno zgodi v dveh do treh tednih, je rastni substrat prazen, brez hranil. Potrebna količina hranil v mg/l ravnega substrata na začetku in na koncu rasti pelargonij je navedena v preglednici 14.

Preglednica 14: Potrebna količina hranil v mg/l ravnega substrata na začetku in na koncu rasti pelargonij (Elsner in sod., 1995: 54)

Table 14: The required amount of nutrients in mg/l of growing medium at the beginning and end of the growth of Pelargonium (Elsner et al., 1995: 54)

| Mg/l hranila | Začetek rasti | Konec rasti |
|-------------------------------|---------------|-------------|
| N | 150 | 250 |
| P ₂ O ₅ | 100 | 200 |
| K ₂ O | 200 | 500 |

2.6.3.3 Temperatura

Prvih 14 dni po presajanju temperatura ravnega substrata ne sme pasti pod 16 °C. Optimalna temperatura za hitro prekoreninjenje ravnega substrata je 18 °C. Pelargonije optimalno rastejo pri srednji dnevni temperaturi 16 do 18 °C, kar pomeni 20 do 22 °C podnevi in 14 do 16 °C ponoči. Poskusi so pokazali, da se z uporabo metode »Negativ-Diff« (višje nočne in nižje dnevne temperature) lahko gojijo kompaktne rastline. Pametneje pa je uporabljati metodo hladnih jutur, pri kateri pred sončnim vzhodom z zračenjem spustimo temperaturo s 16 °C na 13 °C. Po 2 do 4 urah se temperatura zaradi vpliva sončnih žarkov optimalno dvigne. Rastlinjak zračimo pri doseženih 24 °C. Po sončnih dneh ponoči znižamo temperaturo na 12 °C, ker bi bila sicer presežena optimalna povprečna dnevna temperatura 18 °C. Iz navedenega je razvidno, da je pri gojenju pelargonij spremljanje temperature izrednega pomena (Podgornik Reš, 2000).

2.6.3.4 Svetloba in dodajanje CO₂

Pelargonije potrebujejo za asimilacijo najmanj 2000 luxov. Počasi rastejo pri osvetlitvi 2000 do 10000 luxov, optimalno pa pri 25000 luxov. Previsoke vrednosti (nad 50000 luxov) rast pelargonij zavirajo, zato jih senčimo.

Z dodajanjem CO₂ v jutranjih urah, ko je zračenje še zaprto, močno pripomoremo k dobri rasti, zgodnejšemu cvetenju in k zmanjšanju nevarnosti zaradi okužbe z botritisom (Podgornik Reš, 2000).

2.6.3.5 Zračna vlaga

Izrednega pomena za gojenje zdravih rastlin je optimalna zračna vlaga, ki znaša 80 % ali manj. Z ustreznim zračenjem in pravočasnim razmikanjem rastlin dosežemo optimalno mikroklimo, pri kateri je manjša nevarnost glivičnih obolenj, ki so zelo pogosta pri gojenju pelargonij (Podgornik Reš, 2000).

2.6.3.6 Pomen elementov za rast in razvoj rastlin

Pomanjkanje elementov povzroči simptome, ki se odražajo v spremenjeni rasti korenin, stebel in listov. Pogost znak so kloroza, v skrajnih primerih pa tudi nekroza, odmiranje posameznih delov in lahko celo organov (Podgornik Reš, 2000).

3 MATERIALI IN METODE DELA

3.1 SESTAVA UPORABLJENIH RASTNIH SUBSTRATOV

Na podlagi pregledane literature in praktičnih izkušenj smo sestavili homogene substratne mešanice z različno vsebnostjo in velikostjo zeolitnega tufa. Le-te smo primerjali s tržnima rastnima substratoma Humko (H=K) in Jongkind (J6). Substratne mešanice so bile pripravljene iz litvanske bele šote velikosti 0-20 mm, litvanske frakcionirane bele šote velikosti 8-16 mm, avstrijske črne šote velikosti 0-10 mm, oasis fenolne smole velikosti 0-20 mm, gline z območja Komende, natančneje glinokopa z ledinskim imenom Kuharjev boršt (Horvat, 2008), in zeolit z območja Žalca, natančneje z Zaloških Goric. Substratne mešanice so bile pripravljene na osnovi volumskih odstotkov in zmešane z rokami (preglednica 15). Izgled enega izmed rastnih substratov je prikazan na sliki 8.

Preglednica 15: Sestavine in sestava v raziskavi uporabljenih rastnih substratov
Table 15: Ingredients and composition of growing media used in the research

| Sestavine r. substrat. | Substratne mešanice | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|-----|-----|-----|------|------|-----|----|
| | Z20 | Z30 | Z40 | Z50 | Z100 | Z150 | H=K | J |
| bela šota 0-20 mm, vol. % | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 25 |
| frak. b. šota 0-10 mm, vol. % | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | |
| črna šota 0-10 mm, vol. % | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 25 |
| rjava šota, vol. % | | | | | | | | 40 |
| fen. smola 0-20 mm, vol. % | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | |
| zeolit 300 µm, kg/m ³ | 20 | 30 | 40 | | | | | |
| zeolit 0-4 mm, kg/m ³ | | | | 50 | 100 | 150 | | |
| glina, kg/m ³ | | | | | | | 150 | 10 |



Slika 8: Slika enega izmed uporabljenih rastnih substratov, Z50 (2007)
Figure 8: Picture of the used growing medium, Z50 (2007)

3.2 LASTNOSTI ZEOLITNEGA TUFA

Vestne primerjave kakovosti slovenskih bentonitov z navedbami o bentonitih iz drugih nahajališč po strokovnih virih kažejo, da razpolagamo s kakovostnimi surovinami. Nahajališče Zaloška Gorica pa razpolaga z bentonitom, bentoniziranim tufom, pretežno klinoptilolitnim tufom in z na aktivnih komponentah revnejšimi glinami; vsem tem pa je potrebno določiti primerno ekonomsko-tehnološko oceno in predelavo za potrebe trga, kar doslej zbrani podatki že v veliki meri omogočajo (Držaj, 1990).

3.2.1 Kemijska sestava zeolitnega tufa

V preglednici 16 so navedene kemijske lastnosti zeolitnega tufa z območja Zaloških Goric, ki je bil uporabljen v rastnih substratih.

Preglednica 16: Rezultati kemijskih analiz zeolitnega tufa Zaloške Gorice (Žibrat, 2009)

Table 16: The results of chemical analyses of zeolite tuff from Zaloške Gorice (Žibrat, 2009)

| Vrednost v % | | | |
|--------------------------------|------|-------|--------------------|
| Element | min. | maks. | povprečna vrednost |
| SiO ₂ | 63,4 | 70,7 | 67,00 |
| Al ₂ O ₃ | 11,2 | 16,7 | 13,83 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,0 | 5,5 | 3,75 |
| CaO | 3,4 | 6,1 | 5,26 |
| MgO | 0,6 | 1,7 | 1,25 |
| SO ₃ | 0,2 | 1,7 | 0,60 |
| K ₂ O | 1,0 | 3,6 | 2,45 |
| Na ₂ O | 1,2 | 2,9 | 1,60 |
| CO ₂ | 0,4 | 2,2 | 1,58 |
| žaro izguba 900°C | 3,4 | 5,7 | 4,87 |
| vlaga | 8,1 | 17,0 | 11,60 |

3.2.2 Mineralna sestava zeolitnega tufa

V preglednici 17 je navedena mineralna sestava zeolitnega tufa iz Zaloških Goric, uporabljenega v rastnih substratih.

Preglednica 17: Minerološka sestava zeolitnega tufa (Žibrat, 2009)

Table 17: Mineralogical composition of zeolite tuff (Žibrat, 2009)

| Mineral | Povprečna vrednost % |
|-----------------------------------|----------------------|
| zeolit (heulandit, klinoptilolit) | 45-55 |
| kremen, kristobalit | 15-35 |
| montmorillonit, illit | 5 |
| plagioklaz | 5 |
| biotit, apatit, amorfno steklo | 5 |

3.2.3 Gostota zeolitnega tufa

Gostota zeolitnega tufa je 2,32-2,55 g/cm³ (Žibrat, 2009). V preglednici 18 je opisana sestava zeolitnega tufa iz Zaloških Goric.

Preglednica 18: Kemijska sestava zeolitnega tufa iz Zaloških Goric (Žibrat, 2009)

Table 18: Chemical composition of the zeolite tuff from Zaloške Gorice (Žibrat, 2009)

| Glavni oksidi | Utežni odstotek (%) |
|--------------------------------|---------------------|
| SiO ₂ | 62,95 |
| Al ₂ O ₃ | 15,92 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,21 |
| CaO | 3,82 |
| MgO | 1,81 |
| Na ₂ O | 1,72 |
| K ₂ O | 3,26 |
| SO ₃ | 0,03 |
| žarilna izguba | 7,19 |

3.2.4 Kationska izmenjalna kapaciteta zeolitnega tufa

Sposobnost ionske izmenjalne kapacitete je poleg adsorpcije najpomembnejša lastnost zeolitov. Zaradi nadomeščanja štirivalentnega Si s trovalentnim Al v zeolitovi kristalni strukturi prihaja do negativne nabitosti celotne strukture. Ta se izravnava s prisotnostjo eno- ali dvovalentnih ionov drugje v strukturi. Ti ioni niso trdno vezani v strukturo, zato jih lahko prosto izmenjujemo z drugimi. Kationska izmenjalna kapaciteta naravnih zeolitov znaša od 2 do 4 mekv/g s preferenco do večjih kationov: Cs > Rb > K > NH₄ > Ba > Sr > Na > Ca > Fe > Al > Mg > Li (Mumpton 1999, Polat in sod., 2004). Kationska izmenjalna kapaciteta za zeolitni tuf iz Zaloških Goric znaša 1,29-1,53 mekv/g (Žibrat, 2009).

3.3 RAZISKOVALNI POSKUSI

V okviru izdelave doktorske disertacije smo izvedli štiri različne poskuse, ki so naštetih v preglednici 19.

Preglednica 19: Pregled poskusov, ki so bili izvedeni v okviru izdelave doktorske disertacije
Table 19: Overview of experiments that were carried out in the framework of a doctoral dissertation

| Ime poskusa | Lokacija | Št. rastnih substratov | Št. ponovitev | Št. lončkov |
|---|--|------------------------|---------------|-------------|
| poskus z namakanjem rastnih substratov v lončkih | rastlinjak BF, Ljubljana | 8 | 8 | 768 |
| merjenje fizikalnih in kemijskih lastnosti po standardih EN | laboratorij Silva Tarouca Inštitut, Pruhonice, Češka | 6 | 3 | 18 |
| predposkus ravnega poskusa na vrtnariji Reš | rastlinjak vrtnarija Reš, Mošnje | 6 | 30 | 180 |
| rastni poskus na Biotehniški fakulteti | rastlinjak BF, Ljubljana | 6 | 10 | 60 |

3.3.1 Potek poskusa z namakanjem rastnih substratov v lončkih

V prvem delu raziskave smo obravnavali osem različnih rastnih substratov. V rastlinjaku smo naredili poskus z namakanjem rastnih substratov v lončkih na poplavnih mizah. Lončke smo napolnili z rastnimi substrati in jih namakali do različne višine in različno dolgo časa. Rastnim substratom smo želeli določiti optimalno višino in optimalen čas namakanja.

Pred začetkom poskusa smo merili čas polnjenja in praznjenja poplavnih miz. Do prvih lončkov je voda prišla po 3 minutah, do vseh lončkov po 7 minutah. Da je voda prišla do višine 2 cm, je minilo 15 minut, do višine 4 cm pa 21 minut.

V poskusu smo uporabili lončke premera 12 cm in jih napolnili z rastnim substratom. Vsak lonček, napolnjen z rastnim substratom, smo med poskusom večkrat stehali. Poskus smo

izvajali na poplavnih mizah, na vsaki mizi sta bili postavljeni po dve seriji rastnih substratov.

Uporabili smo 768 lončkov, napoljenih z rastnimi substrati, v dvanajstih serijah. Vsaka serija je bila sestavljena iz osmih različnih rastnih substratov in vsak rastni substrat v seriji se je osemkrat ponovil, kar pomeni, da je ena serija vsebovala 64 lončkov. Razporeditev osmih različnih rastnih substratov znotraj serije smo določili naključno – z žrebom.

Na prvo mizo smo postavili dve seriji, in sicer serijo v1g1t1 in v1g2t1, da smo imeli enaki višini poplavljanja in enak čas poplavljanja. Višina je bila v tem primeru 4 cm, gostota različna, čas poplavljanja oz. lončki so stali v vodi 5 minut.

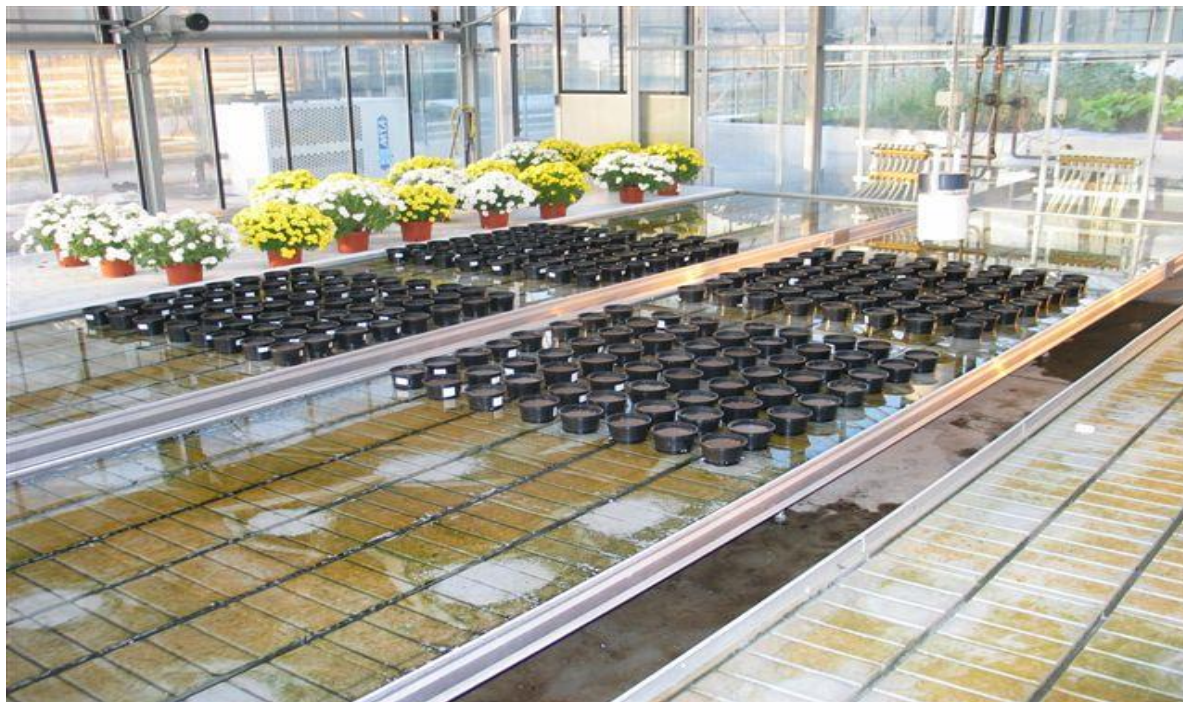
Na drugo mizo smo dali naslednji dve seriji, v2g1t1 in v2g2t1, da smo prav tako imeli enako višino poplavljanja, ki je bila 2 cm, gostota različna in čas poplavljanja 5 minut. Na obe mizi smo hkrati spustili vodo. Na prvo do višine 4 cm in nato pustili lončke poplavljenе v vodi 5 minut, na drugi mizi pa smo vodo spustili do višine 2 cm. Tudi na tej višini smo lončke pustili poplavljenе 5 minut. Tak postopek poplavljanja smo naredili tudi s preostalimi osmimi serijami še za čas poplavljanja 10 minut in 30 minut. Po tem smo vodo izpustili in merili čas odtekanja, ki pa je bil 25 minut na mizi, ki je bila poplavljenа do višine 4 cm glede na lonček, in 20 minut na mizi, ki je bila poplavljenа do višine 2 cm glede na lonček.

Imeli smo dve različni gostoti. Začetno gostoto smo določili tako, da smo vzeli 10 lončkov rastnega substrata in izračunali povprečje. Tako smo naredili z vsemi rastnimi substrati Z20, Z30, Z40, Z50, Z100, Z150, J in K. Drugo gostoto - g2 pa smo določili tako, da smo začetno povečali za 20 %. Količina zeolita narašča po rastnih substratih, in sicer od Z20 do Z150, zato tudi začetna masa narašča (preglednica 20).

Preglednica 20: Začetna masa in 20 % večja masa rastnega substrata
Table 20: Initial mass and 20 % increase in mass of growing media

| Rastni substrat | Začetna masa rastnega substrata | 20 % večja masa rastnega substrata |
|-----------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Z20 | 187,7 g | 225,2 g |
| Z30 | 202,3 g | 242,7 g |
| Z40 | 209,7 g | 251,7 g |
| Z50 | 217,8 g | 261,4 g |
| Z100 | 244,2 g | 292,9 g |
| Z150 | 254,7 g | 305,6 g |
| K | 207,6 g | 249,1 g |
| J | 205,3 g | 246,4 g |

V rastlinjaku smo vsak dan merili temperaturo zraka, da bi videli, ali ima vpliv na sušenje rastnih substratov. Prvi dan, ko smo poplavljali, je bila temperatura zraka 15 °C, drugi dan, ko smo tehtali, je bila temperatura 15 °C, tretji dan 17 °C in četrti dan 16 °C. Temperature so bile vse štiri dni dokaj izenačene, predvidevamo, da le-te ne bi smele vplivati na sušenje rastnih substratov, ker ni bilo velikega nihanja. Na podlagi dobljenih rezultatov smo izbrali 6 rastnih substratov, ki smo jih natančneje analizirali.



Slika 9: Namakanje lončkov na poplavnih mizah (Biotehniška fakulteta, 2007)

Figure 9: Irrigation of pots on the ebb-flow irrigation system (Biotechnical university, 2007)

3.3.2 Merjenje fizikalnih in kemijskih lastnosti rastnih substratov po evropskih standardih ali metodi CEN

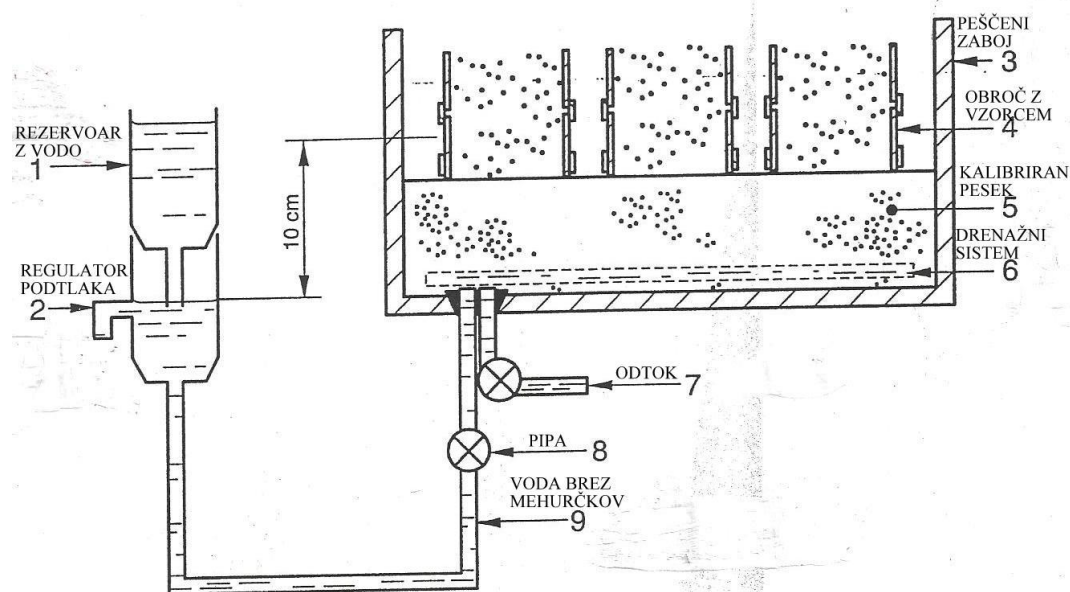
Poskus smo izvedli v fizikalnem laboratoriju na inštitutu Silva Tarouca za krajinsko arhitekturo in okrasno vrtnarstvo v Pruhonicah na Češkem januarja 2006. Rastnim substratom smo po evropskih standardih, ki jih je sprejel evropski odbor za standardizacijo (CEN) oktobra 1999, določali fizikalne in kemijske parametre, rastnim določali smo jim tudi vodno-zadrževalne lastnosti. Evropski standard določa rutinsko metodo priprave vzorca rastnega substrata pred izvajanjem merjenja fizikalnih parametrov in kemijskimi analizami.

V poskus smo vključili štiri rastne substrate z zeolitom, ki so se v prvem poskusu z namakanjem lončkov izkazali kot najprimernejši za nadaljnje analize, ter dva tržna kontrolna rastna substrata H = K (Humko) in J6 (Jongkind). Mešanici Z30 in Z40 sta vsebovali 30 in 40 kg m⁻³ finega (mikronskega) zeolita. Mešanici Z50 in Z150 sta vsebovali 50 in 150 kg m⁻³ granuliranega zeolita.

3.3.2.1 Laboratorijska oprema

Oprema za drenažo in regulacijo podtlaka

Plastična cev, dolga 1 m in z notranjim premerom 1 cm, perforirana z 2 mm luknjicami je ovita z najlonsko tkanino in položena na dno zaboja s peskom, kjer služi za drenažo. Na izhodu iz zaboja s peskom je v cev nameščena 2-smerna zaklopka, ki povezuje zaboje rezervoarja z vodo, in regulator podtlaka. Vsi spoji morajo biti zračno tesni. Regulator podtlaka z letvijo, na kateri so označene višine vodnega stolpca (-10, -50 in -100 cm), je pritrjen ob zaboju s peskom (slika 12). Zaboji s peskom morajo biti narejeni iz robustnega, odpornega materiala (npr. PVC), višine 25 cm, širine 35 cm in dolžine 55 cm. Zaboje se napolni s peskom do višine 12 cm. Za enakomerno porazdelitev peska po zaboju ga med polnjenjem zaboja stalno pretresamo. Pesek poravnamo in pokrijemo z najlonsko ali poliestersko tkanino (gazo). Vodo dolivamo počasi in previdno toliko časa, dokler ni nivo približno 1 cm nad nivojem peska. Preprečiti je potrebno nastajanje zračnih mehurčkov. Ko je pesek popolnoma saturiran z vodo, se ne sme nikoli izprazniti in izsušiti. Rezervoar z vodo mora držati vsaj 10 l. V vodo je priporočljivo dati algicid.



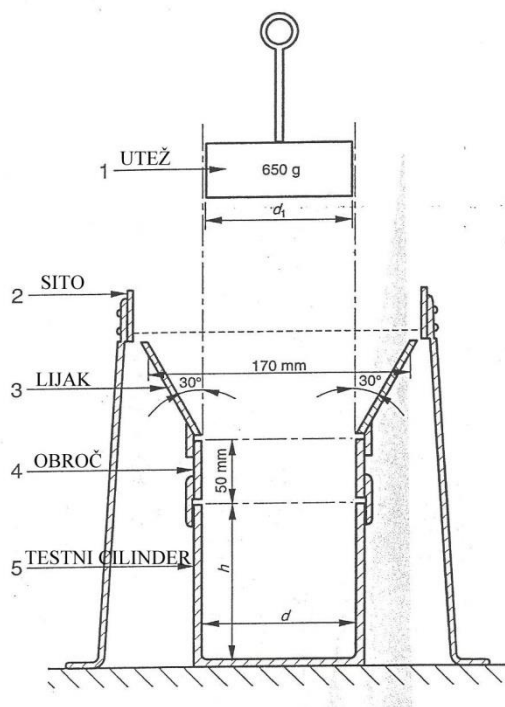
Slika 10: Oprema za drenažo dvojnih obročev in regulacijo podtlaka (EN 13041, 1991: 15)
Figure 10: Sand suction table (EN 13041, 1991: 15)

Določanje laboratorijsko stisnjene gostote po standardu EN 13040

Aneks A k EN standardu 13040 določa metodo za ocenjevanje laboratorijsko določene stisnjene gostote vzorca rastnega substrata. Omogoča računanje teže vzorca, ki natančno

predstavlja določen (majhen) volumen podzorca, določenega z analitičnimi metodami (EN 13040, 1999).

Testni cilindri, volumen 1 l, opremljeni z razširjenim obročkom, fiksnim sitom in lijakom se napolni z rastnim substratom (slika 11). Testni cilindri imajo kapaciteto 1000 ml \pm 30 ml, narejeni iz cilindrične oblike, premera 100 mm in višine 127 mm. Obroč, ki se odstrani, je visok 50 mm in ima enak notranji premer kot cilindri. Utež ima premer 5 mm manj kot oba cilindra in maso 650 g, lijak z zgornjim premerom 170 mm in spodnjim premerom, da ustreza zgornjemu obroču. Sito s premerom 200 mm je nameščeno 5 mm nad lijakom.



Slika 11: Testni cilindri (EN13040: 13)

Figure 11: Test cylinders (EN13040: 13)

Z zajemalko vzamemo 5 l rastnega substrata in ga presejemo skozi sito z rahlim tresenjem, če je to potrebno. Stehajo prazen testni cilindri na 1 g natančno. Zgornji obroč, lijak in sito postavimo v primerno pozicijo. Skozi sito presejemo rastni substrat in napolnimo tako, da količina rastnega substrata sega do lijaka. Odstranimo sito in lijak ter z ravnilom izravnamo rastni substrat. Nežno namestimo utež, jo pustimo 180 sekund, pazljivo jo odstranimo. Odstranimo tudi zgornji obroč in z ravnilom izravnamo površino rastnega substrata, tako da je poravnana s površino cilindra. Stehajo material in cilindri na 1 g natančno. Postopek ponovimo 3 krat s svežim materialom, da dobimo povprečno vrednost (EN 13040, 1999).

Izračunamo aritmetično sredino vseh vzorcev z uporabo naslednje enačbe:

$$m_L = \text{vsota } m_x / n \quad \dots(1)$$

m_L = aritmetična sredina mas v gramih vzorcev in cilindrov

m_x = masa v gramih vzorcev in cilindrov

vsota m_x = vsota mas v gramih n ponovitev, kjer je n število ponovitev

Laboratorijsko stisnjena gostota je izračunana po naslednji enačbi:

$$L_d = m_L - m_o / V \quad \dots (2)$$

L_d = laboratorijska gostota v g/l

m_o = masa v g praznega cilindra

m_L = aritmetična sredina mas v g vzorcev in cilindrov

V = prostornina v litrih testnega cilindra

Gostota rastnega substrata po standardu EN 13041

Pri izračunu gostot obravnavanih vzorcev stehtamo spodnji cilinder z vlažnim vzorcem ter ga nato posušimo pri 105 °C do konstantne mase.

$$\text{Gostota : } \rho_v = \frac{m_3 - m_1}{V_1} \text{ [g suhe snovi / ml]} \quad \dots(3)$$

ρ_v = gostota v g/ml oz. g/cm³

m_1 = masa spodnjega cilindra v g

m_3 = masa suhega vzorca + cilindra pri tenziji 10 cm vodnega stolpca v g

V_1 = prostornina spodnjega cilindra v ml oziroma cm³

Poroznost po standardu EN 13041

Gostoto za izračun poroznosti smo določali z uporabo piknometrov. Vzorce rastnih substratov smo najprej zmleli. Stehtali smo 10 g zmletega vzorčka in ga zavreli na kuhalniku skupaj z vodo. Vse skupaj smo zlili v piknometer in dali v vodno kopel za pol ure, da je doseglo temperaturo 20 °C. Stehtali smo maso in določili gostoto vzorca glede na vodo.

$$\rho = \frac{m_v}{V_v} \quad \dots(4)$$

ρ = gostota v g/cm³

m_v = masa vzorca (10g)

V_v = prostornina vzorca, cm³

$$P = \frac{\rho_s - \rho_v}{\rho_s} \times 100 \quad \dots(5)$$

P = poroznost pri tenziji 10 cm vodnega stolpca, v volumskih %

ρ = gostota v g/m³

Volumen vode pri tenziji 10 cm, 50 cm in 100 cm vodnega stolpca po EN13041

$$V_v = \frac{(m_2 - m_3)}{V_1} \times 100 \quad \dots(6)$$

V_v = volumen vode pri tenziji 10 cm (50 cm, 100 cm) vodnega stolpca v volumskih % mokrega vzorca

V_1 = prostornina spodnjega cilindra v ml oziroma cm³

m_2 = masa mokrega vzorca + cilindra pri tenziji 10 cm (50 cm, 100 cm) vodnega stolpca v g

m_3 = masa suhega vzorca + cilindra pri tenziji 10 cm (50 cm, 100 cm) vodnega stolpca v g

Volumen zraka pri tenziji 10 cm, 50 cm in 100 cm vodnega stolpca po EN 13041

$$V_z = P - V_v \quad \dots(7)$$

V_z = volumen zraka pri tenziji 10 cm (50 cm, 100 cm) vodnega stolpca v volumskih % mokrega vzorca

P = poroznost pri tenziji 10 cm (50 cm, 100 cm) vodnega stolpca, v volumskih %

V_v = volumen vode pri tenziji 10 cm (50 cm, 100 cm) vodnega stolpca v volumskih % mokrega vzorca

Vodno-zadrževalne lastnosti rastnih substratov

Krivuljo vodno-zadrževalnih lastnosti rastnih substratov smo določevali na dveh zabojih s peskom. Na prvem zaboju s peskom smo merili vzorce do tenzije – 30 cm vodnega stolpca, na drugem tenzije od – 40 do – 100 cm vodnega stolpca. Pred namestitvijo na zaboj s peskom so bili cilindri z vzorci saturirani tako, kot navaja metoda EN 13041 (1999). Pri merjenju vodno-zadrževalnih lastnosti na zaboju s peskom smo uporabili samo spodnje cilindre napolnjene z rastnimi substrati. Vzorci so bili izpostavljeni naslednjim tenzijam: - 2.5 cm, - 5 cm, - 10 cm, - 20 cm, - 30 cm, - 40 cm, - 50 cm in - 100 cm vodnega stolpca. Po doseženem ravnotežju pri določeni tenziji vodnega stolpca je bila stehtana količina vode, ki jo je vzorec zadržal. Vzorci so bili po tehtanju izpostavljeni večji tenziji. Pri tenzijah do – 50 cm vodnega stolpca se ravnotežje vzpostavi po 48 urah, pri večjih tenzijah po 24 urah.

EAW izračunamo iz razlike vodnih volumnov pri tenzijah –10 cm vodnega stolpca in – 50 cm vodnega stolpca, izraženo v volumskih %.

WBC izračunamo iz razlike vodnih volumnov pri tenzijah –50 cm vodnega stolpca in –100 cm vodnega stolpca, izraženo v volumskih %.

AW izračunamo iz razlike vodnih volumnov pri tenzijah –10 cm vodnega stolpca in –100 cm vodnega stolpca, izraženo v volumskih %.

Merjenje kontejnerske kapacitete po Fonteno

Kontejnersko kapaciteto lončkov določamo tako, da prvi dan lončke napolnimo z rastnimi substrati, in sicer tako, da v lonček damo rastni substrat, trikrat potolčemo po mizi, da se rastni substrat sesede in namestimo zgornji nastavek, da lahko lončke saturiramo 24 ur. Naslednji dan lončke odcejamo in pustimo 48 ur, da se rastni substrat usede. Po dveh dneh sledi ponovna saturacija, 24 ur. Po eni uri odcejanja lončkom stehtamo kontejnersko kapaciteto. Rastne substrat izlončimo, jih premestimo na pladnje in pripravimo na sušenje. Dva dni jih pustimo da se sušijo na zraku, nato jih damo v pečico na 105 °C za 8 ur in stehtamo suhe vzorce (Fonteno, 1996).

$$KK = \frac{(m_m - m_s)}{V_l} \times 100 \quad \dots(8)$$

KK = kontejnerska kapaciteta, odstotek vode po saturaciji in odtekanju, v volumskih %

m_m = masa mokrega vzorca, v g

m_s = masa suhega vzorca, v g

V_l = volumen vode, ki jo zadrži obravnavan lonček, v ml = g

Določanje kemijskih lastnosti po standardih EN

Pred dodajanjem gnojil s kontroliranim sproščanjem in gnojil s počasnim sproščanjem smo rastnim substratom izmerili električno prevodnost, vrednost pH in vsebnost elementov po evropski standardizirani metodi. Rastne substrate smo za določanje kemijskih analiz najprej presejali skozi 20 mm sito.

Določanje elektroprevodnosti po evropskem standardu EN 13038

Elektroprevodnost smo določali v vodnem ekstraktu 1:5 vol : vol, pri temperaturi 25 °C. Potem, ko so bili vzorci rastnih substratov presejani skozi 20 mm sito, smo vzeli 60 ml vzorca in dodali 300 ml vode, vse skupaj smo stresali na stresalniku 1 uro. Sledilo je filtriranje s filtrirnim papirjem, kjer smo prvih 10 ml filtrata zavrgli. 1 uro po filtriranju smo vzorcem rastnih substratov z aparatom Konduktometer LF 191 izmerili elektroprevodnost v milisiemens/cm (mS/cm).

Določanje vrednosti pH po evropskem standardu EN 13037

Vrednost pH smo določali v vodnem ekstraktu 1:5 volumen: volumen, pri temperaturi 25 °C. Potem, ko so bili vzorci rastnih substratov presejani skozi 20 mm sito, smo vzeli 60 ml vzorca in dodali 300 ml vode, vse skupaj smo stresali na stresalniku 1 uro.

Pred začetkom merjenja vrednosti pH smo morali narediti umeritev pH metra. Pri umeritvi Laboratory digital pH meter OP-211/1 pH metra (ravnotežje se vzpostavi po približno 30 sekundah) smo preverili, da so bile elektrode v dobrem stanju. Zagotovili smo, da se puferska raztopina in vzorci suspenzij niso temperaturno razlikovali za več kot 1 °C. Pred merjenjem smo suspenzijo z vzorcem pretresli in počakali, da se je naredila usedlina. Vrednost pH smo odčitali po doseženi stabilizaciji, ko se vrednost ni spremenila za več kot 0,1 pH enote več kot 15 sekund.

Umeritev pH 4 pri 20 °C

Raztopimo 10,21 g kalijevega hidrogen ftalata ($C_8H_5KO_4$) v vodi, ki pri 25 °C nima vrednosti pH višje od 5,6, in razredčimo na 1000 ml.

Umeritev pH 7 pri 20 °C

Raztopimo 3,8 g kalijevega dihidrogen fosfata (KH_2PO_4) in 3,4 g dinatrijevega hidrogen fosfata (Na_2HPO_4) v vodi, ki pri 25 °C nima vrednosti pH višje od 5,6, in razredčimo na 1000 ml.

Umeritev pH 9,22 pri 20 °C

Raztopimo 3,8 g dinatrijevega tetraborata dekahidrata ($Na_2B_4O_7 \cdot 10 H_2O$) v vodi, ki pri 25 °C nima vrednosti pH višje od 5,6, in razredčimo na 1000 ml.

Določanje vsebnosti dostopnih hranil po evropskem standardu EN 13651

Vsebnosti dostopnih hranil smo določali v ekstrakcijski raztopini $\text{CaCl}_2/\text{DTPA}$ (CAT). Koncentracija ekstrakcijske raztopine je znašala 0,01 mol/l CaCl_2 in 0,002 mol/l DTPA, ekstrakcijsko razmerje 1: 5 volumen : volumen. Potem, ko so bili vzorci rastnih substratov presejani skozi 20 mm sito, smo vzeli 60 ml vzorca in dodali 300 ml ekstrakcijske raztopine $\text{CaCl}_2/\text{DTPA}$, vse skupaj smo stresali na stresalniku 1 uro. Sledilo je filtriranje s filtrirnim papirjem, kjer smo prvih 10 ml filtrata zavrgli. Vsebnost elementov smo določali:

Topne dušikove frakcije (N- NO_3 , N- NH_4): spektrofotometrična določitev, aparat Flamom B, flame photometer.

Dostopni fosfor (P): spektrofotometrična določitev, aparat Flamom B, flame photometer.

Izmenljivi kationi (Mg^{2+} , K^+): atomska absorpcijska spektroskopija, aparat Perkin Elmer Atomic Absorption Spectrophotometer 1100B.

3.3.3 Predposkus rastnega poskusa na vrtnariji Reš

Predposkus rastnega poskusa smo izvajali v rastlinjaku vrtnarije Reš v Mošnjah od 25. januarja 2007 do 11. marca 2007. V poskusu nas je zanimalo, kako velikost in količina zeolita v šotnih rastnih substratih vplivata na zadrževanje vode pri namakanju s poplavljanjem. V poskus je bilo zajetih šest rastnih substratov: rastna substrata Z30 in Z40, ki sta vsebovala 30 kg/m^3 in 40 kg/m^3 mikronskega zeolita, substrata Z50 in Z150, ki sta vsebovala 50 kg/m^3 in 150 kg/m^3 granuliranega zeolita, kontrolni rastni substrat Humko (H=K) in primerjalni rastni substrat Jongkind (J6). Rastnim substratom smo dva tedna pred sajenjem dodali gnojilo s počasnim sproščanjem (SRF) Osmoform Premix Scotts 18N:4P:10.8K v količini 1.5 kg/m^3 in gnojilo s kontroliranim sproščanjem (CRF) Osmocote Exact 16N:3.9P:10K v količini 3.5 kg/m^3 . Rastni substrat Jongkind (J6) je tržni rastni substrat in je imel gnojilo s počasnim sproščanjem (SRF) že dodano, zato smo mu dodali samo gnojilo s kontroliranim sproščanjem (CRF). Za testno rastlino smo vzeli pelargonijo (*Pelargonium zonale* L. 'Esprit') žlahtniteljske hiše Selecta, Italija.

3.3.3.1 Potek predposkusa rastnega poskusa na vrtnariji Reš

V poskus smo zajeli 6 obravnavanih rastnih substratov, vsak rastni substrat je imel 30 ponovitev – 1 rastlina v lončku je bila 1 ponovitev, skupno 180 rastlin. Rastline so bile na mize razporejene naključno. Razdalja med lončki je bila 20 x 20 cm. Rastline so bile posajene v plastične lončke s premerom 12 cm, starost rastlin ob sajenju je bila 4 tedne. Vsem lončkom posameznega rastnega substrata je bila ob polnjenju dodana enaka količina rastnega substrata, vsi lončki posameznega rastnega substrata so imeli enake mase. Ob začetku poskusa in vsak teden smo vzeli po eno rastlino iz posameznega rastnega substrata, jo stehali in izmerili višino, da smo spremljali potek razvoja rastlin.

3.3.3.2 Zalivanje

Rastline smo zalivali zjutraj dvakrat tedensko. Zalivali smo jih z vrha, da ne bi prišlo do zakisanja preveč mokrega rastnega substrata, ker rastline še niso razvile gostega koreninskega spleta.

3.3.3.3 Temperature v rastlinjaku

Ponoči je bila temperatura v rastlinjaku 17 °C, podnevi pa 22 °C.

3.3.3.4 Osvetljevanje

Ni bilo potrebe po dodatnem osvetljevanju.

3.3.3.5 Varstvo

Med rastno dobo ni prišlo do pojava bolezni in škodljivcev na poskusnih rastlinah. V rastlinjaku na drugih rastlinah smo opazili cvetličnega resarja (*Frankliniella occidentalis* P.), zato smo poskusne rastline preventivno poškopili s pripravkom Regent 80 VG (aktivna snov je fipronil 80 %) v koncentraciji 50 mg/l.

3.3.4 Poskus z rastlinami na Biotehniški fakulteti

3.3.4.1 Potek poskusa

Poskus z rastlinami je potekal v rastlinjaku na Biotehniški fakulteti od 12. marca 2007 do 9. aprila 2007. V poskus smo zajeli 6 obravnavnih rastnih substratov: Z30, Z40, Z50, Z150, J6, H. Vsak rastni substrat je imel 10 ponovitev – 1 rastlina v lončku je bila 1 ponovitev, skupno 60 rastlin. Poskusne rastline so bile na mizo razporejene naključno. Za zagotovitev enakih poskusnih razmer smo okrog poskusnih rastlin na robovih mize razporedili rastline, ki niso bile vključene v poskus. Razdalja med lončki je bila 20 x 20 cm. V poskus je bilo zajetih tudi 30 rastlin – 5 rastlin posameznega rastnega substrata. Vsak teden smo po eno rastlino iz posameznega rastnega substrata stehali in izmerili višino, da smo spremljali potek razvoja rastlin. Poskus je potekal na dveh mizah, saj ob vsakokratnem namakanju nismo namakali vseh rastnih substratov. Na prvi so bile razporejene rastline, na drugi mizi se je izvajalo namakanje. Tja smo preselili rastline, ki smo jih namočili, in jih po eni uri odcejanja zopet postavili na stalno mesto.

Rastline so bile med poskusom v zelo dobri kondiciji, korenine so se lepo razvijale in bile bele. Na pogled so bile rastline iz posameznega rastnega substrata homogene.

3.3.4.2 Namakanje

Ko smo rastline razporedili na mizo, smo jih poplavili do višine 4 cm. Poplavljanje oziroma polnjenje mize z vodo in odtekanje je trajalo 19 minut. Eno uro potem, ko na mizi ni bilo več vode, smo lončke stehali in jim določili kontejnersko kapaciteto po eni uri odcejanja. Naslednje namakanje s poplavljanjem smo izvedli, ko je teža lončkov posameznega rastnega substrata padla na 45 % laboratorijsko določene kontejnerske kapacitete. Rastline smo po vsakem namakanju in po eni uri odcejanja stehali, nato še vsak dan, dokler ni teža polovice lončkov posameznega rastnega substrata padla na 45 % laboratorijsko določene kontejnerske kapacitete. Mase, do katere naj bi se osušili rastni substrati, so se vsak teden spreminjale glede na prirast rastlin.

3.3.4.3 Temperatura in vlaga v rastlinjaku

Ponoči je bila povprečna temperatura v rastlinjaku 12 °C, podnevi pa 20 °C. Povprečna minimalna zračna vlaga je znašala 68,5 %, maksimalna pa 90,4 %.

3.3.4.4 Osvetljevanje

Potrebe po dodatnem osvetljevanju ni bilo.

3.3.4.5 Varstvo

Do konca rastne dobe ni prišlo do pojava bolezni in škodljivcev, zato rastline niso bile tretirane s fitofarmaceutskimi sredstvi.

3.3.4.6 Konec poskusa

S poskusom smo končali 9. 4. 2007, rastline so dosegle tehnološko zrelost in bile primerne za prodajo (slika 12). Korenine rastlin v vseh rastnih substratih so prerasle lončke in razvile močan spodnji venec, bile so bele barve.

Rastlinam smo z navadnim ravnilom izmerili dolžino nadzemnega dela, dolžino korenin, širino rastlin. Svežo maso rastlin, svežo maso nadzemnega dela in svežo maso korenin smo stehali z laboratorijsko precizno tehtnico KERN EW, nosilnost 6000g (slika 13, slika 14).

Rastline smo posušili v sušilniku pri temperaturi 70 °C in jim stehali suho maso nadzemnega dela in suho maso korenin na zgoraj opisani tehtnici.



Slika 12: Poskusne rastline v rastlinjaku (Biotehniška fakulteta, 2007)

Figure 12: Experimental plants in the greenhouse (Biotechnical university, 2007)



Slika 13: Določevanje sveže mase nadzemnega dela rastlin (Biotehniška fakulteta, 2007)

Figure 13: Determination of fresh weight of above-ground plant (Biotechnical university, 2007)



Slika 14: Določevanje sveže mase korenin rastlin (Biotehniška fakulteta, 2007)

Figure 14: Determination of plant root fresh weight (Biotechnical university, 2007)

3.4 STATISTIČNE ANALIZE

Podatke meritev in kemičnih analiz smo statistično obdelali. Statistično značilne razlike med obravnavanji smo ugotavljali po metodi analize variance (ANOVA) in Duncanovega testa mnogoterih primerjav. Povsod smo upoštevali 5 % tveganje.

Uporabljena programska oprema

Za statistično vrednotenje rezultatov smo uporabili računalniška programa:

- EXCEL 2000
- STATGRAPHIC Plus for Windows 4.0 (podprograma Simple Regression in Analysis of Variance: One Way Anova: ANOVA Table in Multiple Range Test)

Podatke smo analizirali s parametričnimi statističnimi metodami kot je izračun aritmetičnega povprečja (povp.), standardnega odklona (SD), standardne napake (SE), minimalne in maksimalne vrednosti (min., max.).

Uporabili smo še t-test za odvisne in t-test za neodvisne vzorce, analizo variance (enosmerna ANOVA) test najmanjših statistično značilnih razlik v preskusih mnogoterih primerjav (Duncanov test) in linearno regresijo.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 POSKUS Z NAMAKANJEM RASTNIH SUBSTRATOV V LONČKIH

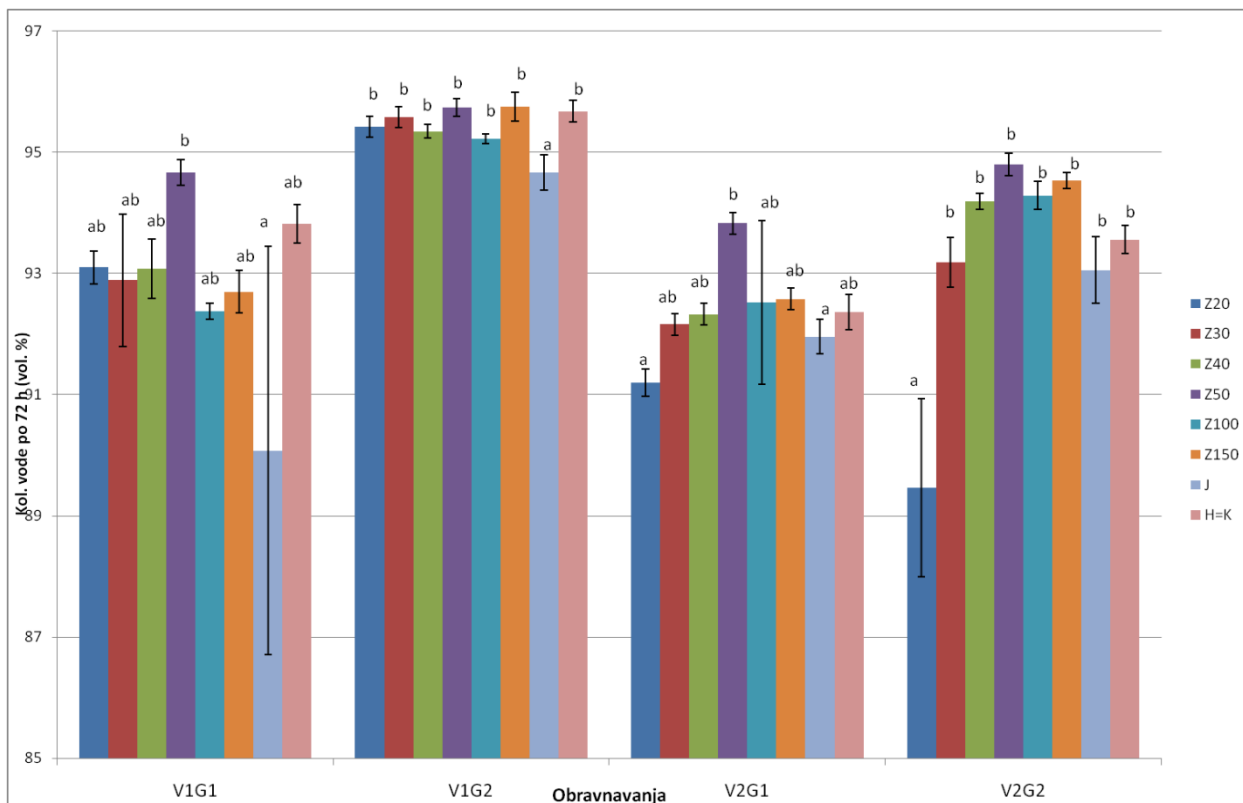
4.1.1 Primerjava volumskega odstotka vode (vol. %) v različnih rastnih substratih po 72 urah osuševanja

Primerjava volumskega odstotka vode v različnih rastnih substratih po 72 urah odcejanja (slika 15) prikazuje, da rastni substrati, ki imajo povečano začetno gostoto za 20 %, na splošno zadržijo več vode kot rastni substrati z začetno oziroma osnovno gostoto. Rastni substrati, ki smo jih namakali do višine 4 cm, na splošno zadržijo več vode kot rastni substrati, ki so bili namakani do višine 2 cm.

Iz obravnavanja, kjer je povečana začetna gostota in višina namakanja 4 cm (v1, g2), statistično značilno manj vode zadrži rastni substrat J6, ostali rastni substrati zadržijo statistično značilno več vode in se statistično značilno med seboj ne razlikujejo. Obravnavanje (v2, g1) kaže, da statistično značilno najmanj vode zadržita rastna substrata J6 in Z20, največ pa rastni substrat Z50 z dodatkom granuliranega zeolita, ki se tudi statistično značilno razlikuje od drugih rastnih substratov.

Rastni substrati iz obravnavanja (v1, g1), kjer je višina namakanja 4 cm in imajo začetno gostoto kažejo, da statistično značilno največ vode zadrži rastni substrat Z50, najmanj pa tržni rastni substrat J6.

Pri obravnavanju, kjer je višina namakanja 2 cm in povečana osnovna gostota (v2, g2), statistično značilno najmanj vode zadrži rastni substrat Z20, ki ima dodanega najmanj mikronskega zeolita, ostali rastni substrati se med seboj statistično ne razlikujejo, vseeno pa največ vode zadrži rastni substrat Z50 z dodatkom granuliranega zeolita.



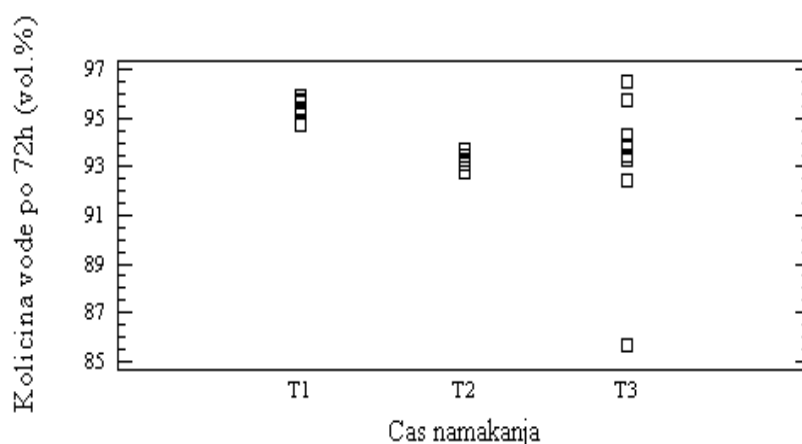
Slika 15: Primerjava volumskega odstotka vode v različnih rastnih substratih po 72 urah osuševanja med različnima višinama namakanja ($v_1 = 4$ cm, $v_2 = 2$ cm) in različnima gostotama ($g_1 =$ začetna gostota, $g_2 =$ povečanje začetne gostote za 20 %). Različne črke označujejo statistično značilne razlike po Duncanovem preizkusu mnogoterih primerjav, $P < 0.05$ ($N=8$)

Figure 15: Comparison of volume percent of water in the growing media after 72 hours of drainage between different heights (4cm = v_1 , $v_2 = 2$ cm) and different densities (initial density = g_1 , $g_2 =$ increase in initial density of 20 %). Different letters indicate statistically significant differences according to Duncan's multiple range test, $P < 0.05$ ($N=8$)

4.1.2 Zadrževanje vode v rastnih substratih glede na različen čas namakanja

Zadrževanje vode v rastnih substratih glede na različen čas namakanja ($T_1 = 5$ min, $T_2 = 10$ min, $T_3 = 30$ min) prikazuje slika 16. P – vrednost F -testa je več kot 0,05 zato ne obstajajo statistično značilne razlike med različnimi časi namakanja rastnih substratov in zadrževanja vode v njih pri 95 % stopnji zaupanja. Obstaja velika variabilnost med rastnimi substrati glede zadrževanja vode pri najdaljšem času namakanja (T_3).

Glede na rezultate poskusa z namakanjem rastnih substratov v lončkih smo se odločili, da v nadaljnje obravnavanje vzamemo dva rastna substrata z dodatkom mikronskega zeolita v večjih količinah, (30 in 40 kg m^{-3}), dva rastna substrata z dodatkom granuliranega zeolita, (50 in 150 kg m^{-3}), ki sta dala boljše rezultate, ter kontrolni rastni substrat ($H=K$) in tržnega, ki ga zastopa Jonkgind (J_6).



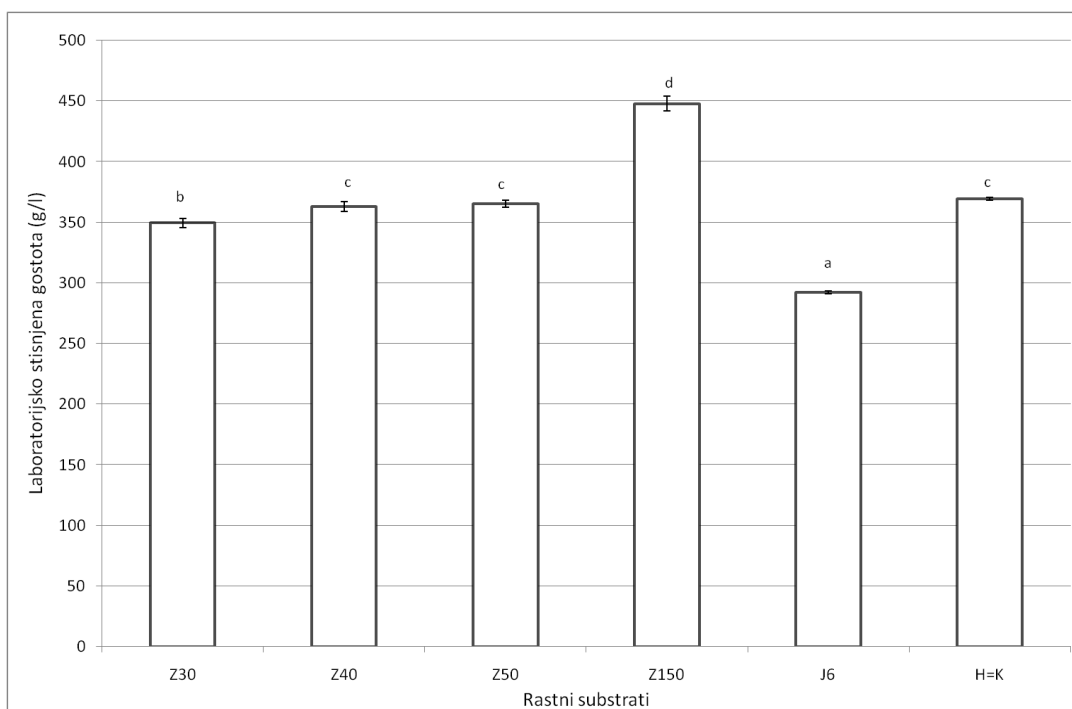
Slika 16: Zadrževanje vode v rastnih substratih glede na različen čas namakanja, $P > 0.05$, ($N=64$)

Figure 16: Water retention in growing media according to different irrigation times, $P > 0.05$, ($N=64$)

4.2 FIZIKALNE ANALIZE RASTNIH SUBSTRATOV

4.2.1 Laboratorijsko stisnjena gostota (g/l)

Povprečne vrednosti laboratorijsko stisnjene gostote rastnih substratov se statistično značilno razlikujejo zaradi različnih sestavin in njihovega deleža. Rastni substrat Z150, ki ima dodanega največ granuliranega zeolita, ima statistično značilno najvišjo vrednost laboratorijsko stisnjene gostote, ki znaša 447,8 g/l (slika 17). Rastna substrata Z40 z dodatkom mikronskega zeolita in Z50 z dodatkom granuliranega zeolita se v izmerjenih vrednostih laboratorijsko stisnjene gostote statistično značilno ne razlikujeta od kontrole (H=K). Statistično značilno najnižjo vrednost laboratorijsko stisnjene gostote ima rastni substrat J6, in sicer 292,3 g/l, ki ima dodano najnižjo količino gline.



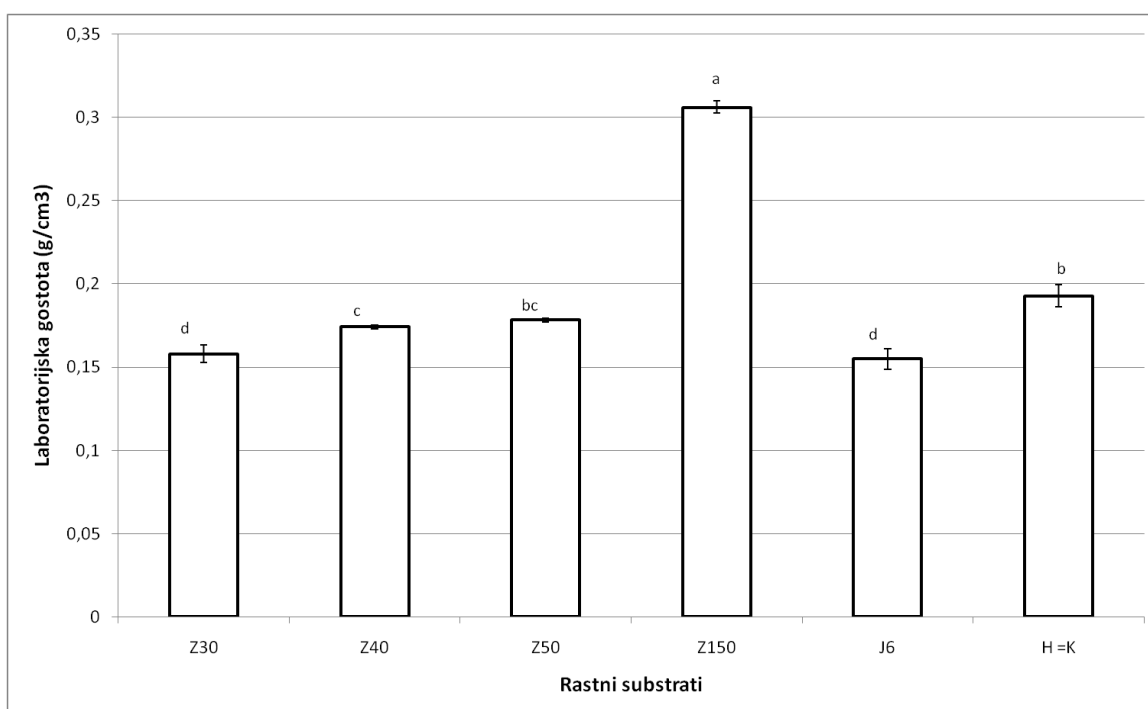
Slika 17: Povprečne vrednosti laboratorijsko stisnjene gostote v g/l, merjeno po standardu EN 13040 za obravnavane rastne substrate. Različne črke označujejo statistično značilne razlike po Duncanovem preizkusu mnogoterih primerjav, $P < 0.05$ ($N=3$)

Figure 17: Average value of laboratory compacted bulk density in g/l, as measured by the standard EN 13040 for the growing media. Different letters indicate statistically significant differences according to Duncan's multiple range test, $P < 0.05$ ($N=3$)

4.2.2 Gostota določena po standardu EN 13041

Povprečne vrednosti gostote g/cm^3 so prikazane na sliki 18. Največje vrednosti gostote imajo rastni substrati, ki vsebujejo največje količine zeolitov in se tudi statistično značilno razlikujejo med seboj.

Statistično značilno največjo vrednost smo izmerili rastnemu substratu Z150, in sicer ($0,306 \text{ g/cm}^3$). Ta rastni substrat ima dodano največjo količino granuliranega zeolita. Kontrola ($0,193 \text{ g/cm}^3$) in rastni substrat Z50 ($0,178 \text{ g/cm}^3$) predstavljata naslednjo skupino, ki ima statistično značilno manjšo gostoto. Najmanjšo gostoto imata rastna substrata Z30 ($0,158 \text{ g/cm}^3$) in J6 ($0,155 \text{ g/cm}^3$), ki imata tudi dodanega najmanj zeolita oziroma gline.



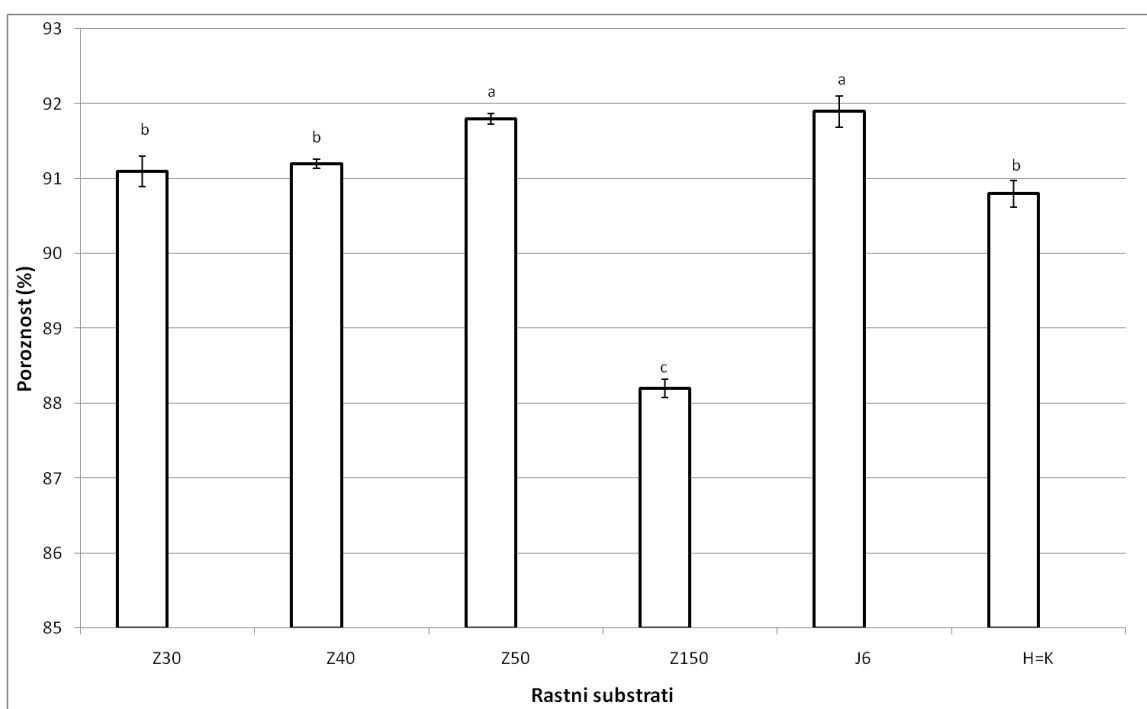
Slika 18: Povprečne vrednosti laboratorijske gostote g/cm^3 za obravnavane rastne substrate, določene po standardu EN 13041. Različne črke označujejo statistično značilne razlike po Duncanovem preizkusu mnogoterih primerjav, $P < 0.05$ ($N=3$)

Figure 18: Average value of laboratory density in g/cm^3 for the growing media as measured by the standard EN 13041 for the growing media. Different letters indicate statistically significant differences according to Duncan's multiple range test, $P < 0.05$ ($N=3$)

4.2.3 Poroznost po standardu EN 13041

Fonteno (1993) trdi, da imajo idealni rastni substrati vrednosti za poroznost večjo od 85 volumskih %. V našem primeru imajo vsi rastni substrati večje vrednosti za poroznost, to pomeni, da so vsi primerni za rastlinsko pridelavo glede tega parametra.

Rastna substrata J6 (91,9 vol. %) in Z50 (91,8 vol. %) sta najporoznejša in imata statistično značilno večjo vrednost poroznosti kot ostali obravnavani rastni substrati. Naslednjo skupino sestavljajo rastni substrat kontrola H=K (90,8 vol. %) in rastna substrata z dodatkom mikronskega zeolita Z30 (91,1 vol. %) in Z40 (91,2 vol. %). Statistično značilno najmanjšo vrednost poroznosti ima rastni substrat Z150 (88,2 vol. %), ki vsebuje največji delež granuliranega zeolita (slika 19).



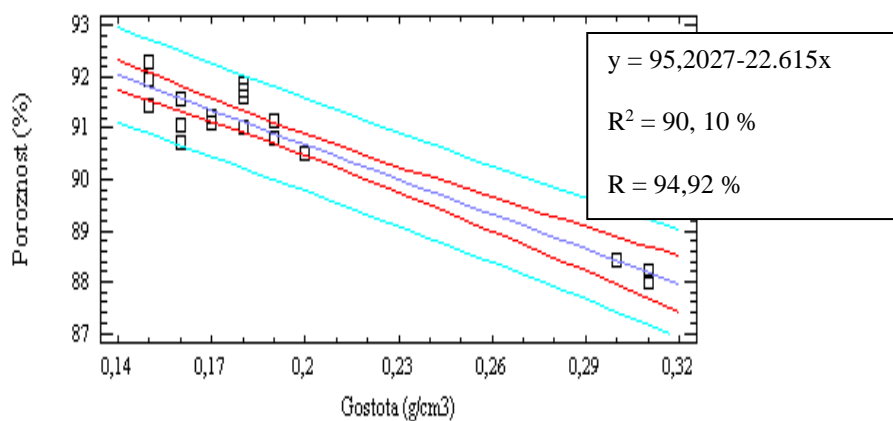
Slika 19: Povprečne vrednosti poroznosti v volumskih % za obravnavane rastne substrate, določene po standardu EN 13041. Različne črke označujejo statistično značilne razlike po Duncanovem preizkusu mnogoterih primerjav, $P < 0.05$ ($N=3$)

Figure 19: Average value of porosity in % volume, as measured by the standard EN 13041 for the growing media. Different letters indicate statistically significant differences according to Duncan's multiple range test, $P < 0.05$ ($N=3$)

4.2.4 Linearno regresijska povezava med laboratorijsko gostoto in poroznostjo EN 13041

Na sliki 20 je prikazana linearna regresijska povezava med gostoto (g/cm^3) in poroznostjo, določeno po standardu EN 13041 (vol. %). Povezava med spremenljivkama je opisana z osnovno linearno funkcijo: $y = a + bx$, kjer je poroznost odvisna spremenljivka (y) in gostota neodvisna spremenljivka (x).

Ker je P-vrednost $< 0,01$, obstaja statistično značilna povezava med poroznostjo in gostoto v rastnih substratih pri 99 % stopnji zanesljivosti. R^2 kaže, da linearni model pojasni 90 % variabilnosti poroznosti. Korelacijski koeficient (94,92 %) kaže na močno povezavo med spremenljivkama. Večja gostota pomeni manjšo poroznost in obratno.



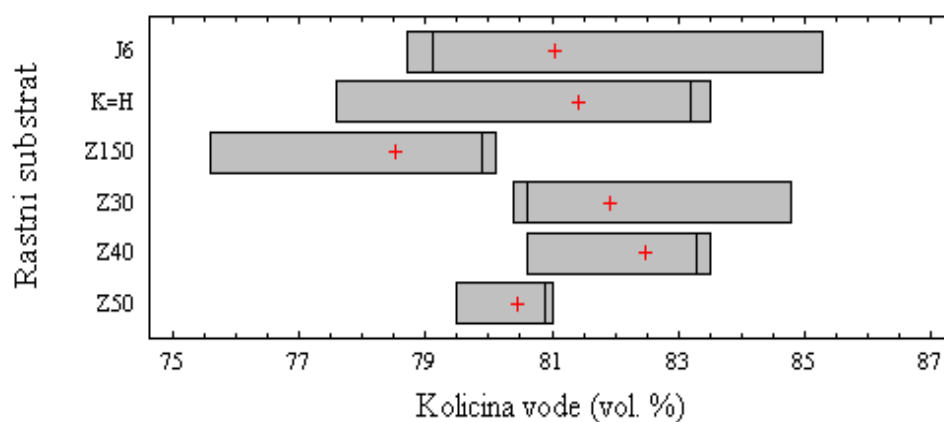
Slika 20: Linearno regresijska povezava med laboratorijsko gostoto (g/cm^3) in poroznostjo EN 13041 (vol.%) rastnih substratov, $P < 0,01$

Figure 20: Linear regression correlation between laboratory density (g/cm^3) and EN 13041 porosity (vol.%) of growing media, $P < 0,01$

4.2.5 Volumni vode in zraka v rastnih substratih

4.2.5.1 Količina vode (vol. %) v rastnih substratih pri tenziji 10 cm vodnega stolpca

Povprečne vrednosti nakazujejo, da najmanj vode pri tenziji 10 cm vodnega stolpca zadrži rastni substrat Z150 (78,53 vol. %), ki ima dodano največjo količino granuliranega zeolita. Predvidevamo, da je to rastni substrat z najbolj velikimi porami, iz katerih voda najhitreje odteče. Največ vode pri tej tenziji zadrži rastni substrat Z40 (82,46 vol. %). Najmanjša variabilnost med meritvami je izmerjena pri rastnem substratu Z50, ki ima dodan granuliran zeolit (slika 21).

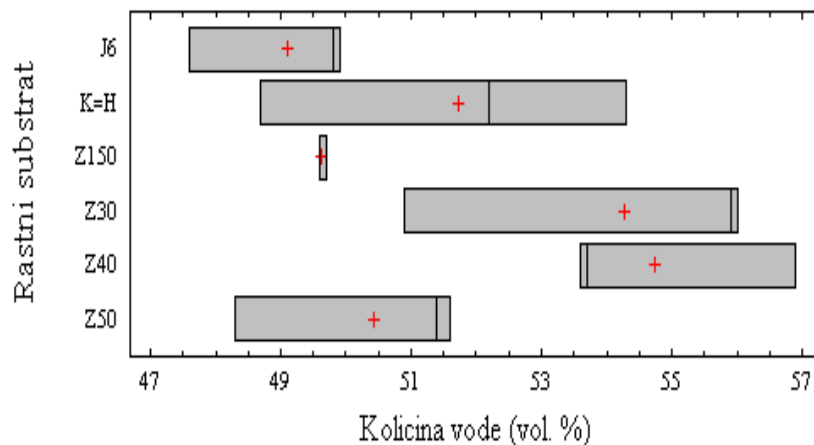


Slika 21: Primerjava rastnih substratov pri tenziji 10 cm vodnega stolpca za vodni volumen (WV) v vol. %, $P > 0.05$ ($N=3$)

Figure 21: Comparison of growing media in tension 10 cm of the water column for the water volume (WV) in vol. %, $P > 0.05$ ($N=3$)

4.2.5.2 Količina vode (vol. %) v rastnih substratih pri tenziji 50 cm vodnega stolpca

Pri tenziji 50 cm vodnega stolpca statistično značilno največ vode v vol. % zadržita rastna substrata Z30 (54,26 vol. %) in Z40 (54,73 vol. %) z dodatkom mikronskega zeolita, pri tem merjenju se kontrolni rastni substrat statistično značilno ne razlikuje. Naslednjo statistično značilno različno skupino sestavljajo oba rastna substrata z dodatkom granularanega zeolita in tržni rastni substrat J6, ki pri tej tenziji zadržijo statistično značilno manj vode. Najmanjša variabilnost med meritvami je izmerjena za rastni substrat Z150 z dodatkom največje količine granularanega zeolita (slika 22).

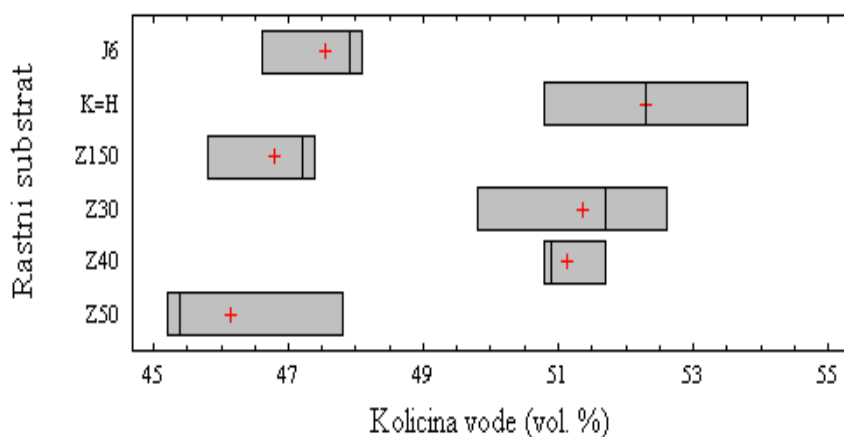


Slika 22: Primerjava rastnih substratov pri tenziji 50 cm vodnega stolpca za vodni volumen (WV) v vol. %, $P < 0.05$ ($N=3$)

Figure 22: Comparison of growing media in tension 50 cm of the water column for the water volume (WV) in vol. %, $P < 0.05$ ($N=3$)

4.2.5.3 Količina vode (vol. %) v rastnih substratih pri tenziji 100 cm vodnega stolpca

Pri tenziji 100 cm vodnega stolpca statistično značilno največ vode v vol. % zadrži kontrolni rastni substrat H = K (52,30 vol. %) in rastna substrata Z30 (51,30 vol. %) in Z40 (51,0 vol. %) z dodatkom mikronskega zeolita, ti rastni substrati se med seboj statistično značilno ne razlikujejo. Statistično značilno najnižjo vsebnost vode pri tej tenziji vodnega stolpca ima rastni substrat Z50 (46,50 vol. %) (slika 23).

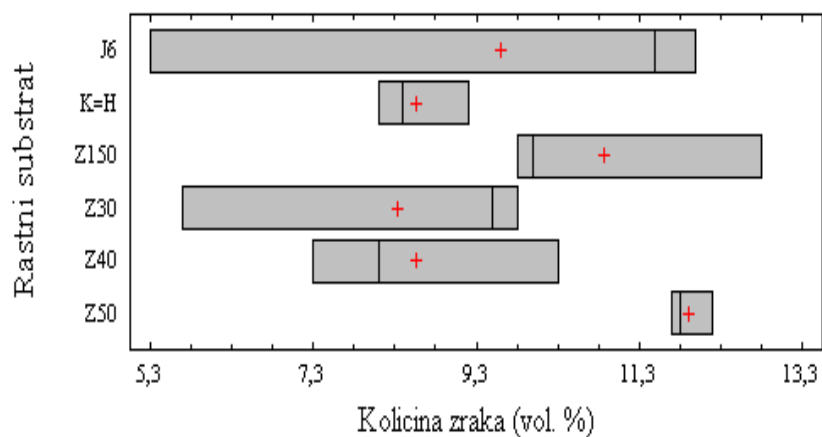


Slika 23: Primerjava rastnih substratov pri tenziji 100 cm vodnega stolpca za vodni volumen (WV) v vol. %, $P < 0.05$ ($N=3$)

Figure 23: Comparison of growing media in tension 100 cm of the water column for the water volume (WV) in vol. %, $P < 0.05$ ($N=3$)

4.2.5.4 Količina zraka (vol. %) v rastnih substratih pri tenziji 10 cm vodnega stolpca

Statistično neznačilno večjo količino zraka pri tenziji 10 cm vodnega stolpca imata rastna substrata z dodatkom granuliranega zeolita Z50 (11,6 vol. %) in Z150 (10,5 vol. %), najmanjšega pa rastna substrata z dodatkom mikronskega zeolita Z30 (8,5 vol. %) in Z40 (9,2 vol. %) (slika 24).

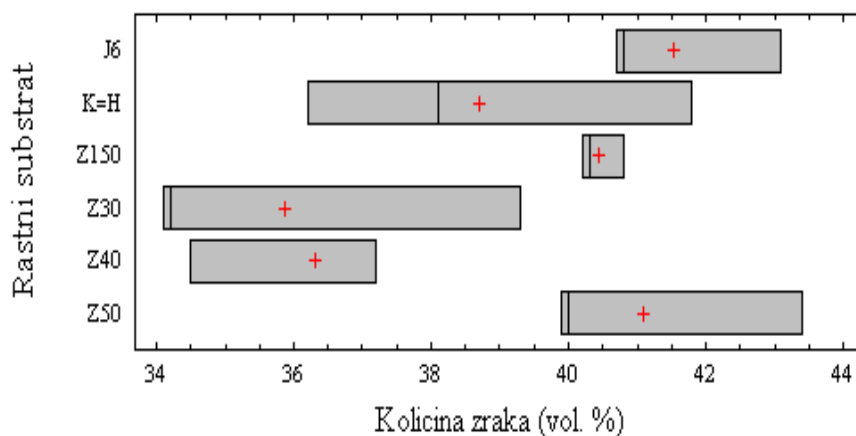


Slika 24: Primerjava rastnih substratov pri tenziji 10 cm vodnega stolpca za zraka volumen (AV) v vol. %, $P > 0.05$ ($N=3$)

Figure 24: Comparison of growing media in tension 10 cm of the water column for the air volume (AV) in vol. %, $P > 0.05$ ($N=3$)

4.2.5.5 Količina zraka (vol. %) v rastnih substratih pri tenziji 50 cm vodnega stolpca

Pri tenziji 50 cm vodnega stolpca statistično značilno največ zraka v vol. % vsebujejo rastni substrati J6, Z150 in Z50 z dodatkom granuliranega zeolita, pri tem merjenju se kontrolni rastni substrat (H=K) statistično značilno ne razlikuje. Naslednjo statistično značilno različno skupino sestavljata oba rastna substrata z dodatkom mikronskega zeolita Z30 in Z40, ki pri tej tenziji vsebujeta statistično značilno manj zraka. Najmanjša variabilnost med meritvami je izmerjena za rastni substrat Z150 z dodatkom največje količine granuliranega zeolita (slika 25).

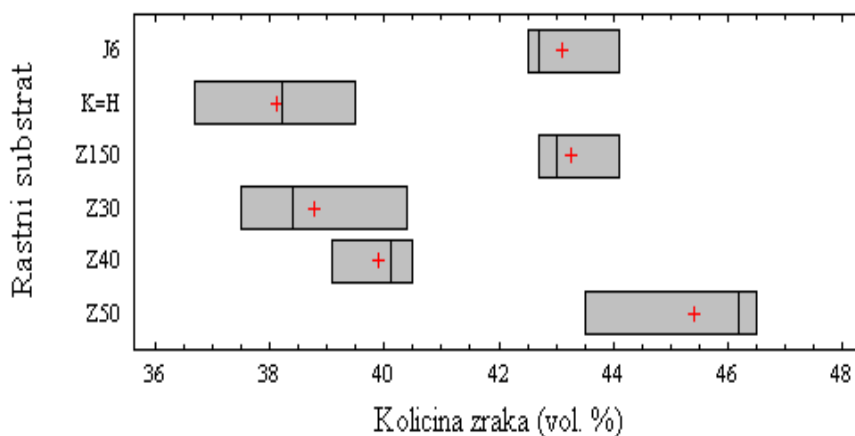


Slika 25: Primerjava rastnih substratov pri tenziji 50 cm vodnega stolpca za volumen zraka (AV) v vol. %, $P < 0.05$ ($N=3$)

Figure 25: Comparison of growing media in tension 50 cm of the water column for the air volume (AV) in vol. %, $P < 0.05$ ($N=3$)

4.2.5.6 Količina zraka (vol. %) v rastnih substratih pri tenziji 100 cm vodnega stolpca

Pri tenziji 100 cm vodnega stolpca statistično značilno največ zraka v vol. % vsebuje rastni substrat Z50 (45,40 vol. %) z dodatkom granuliranega zeolita, ki se statistično značilno ne razlikuje od ravnega substrata Z150 (43,26 vol. %). Rastni substrat Z150 se v vsebnosti zraka statistično značilno ne razlikuje od tržnega ravnega substrata J6 (43,10 vol. %). Statistično značilno različno skupino sestavljajo kontrolni rastni substrat in oba rastna substrata z dodatkom mikronskega zeolita Z30 (38,76 vol. %) in Z40 (39,90 vol. %), ki pri tej tenziji vsebujejo statistično značilno manj zraka (slika 26).

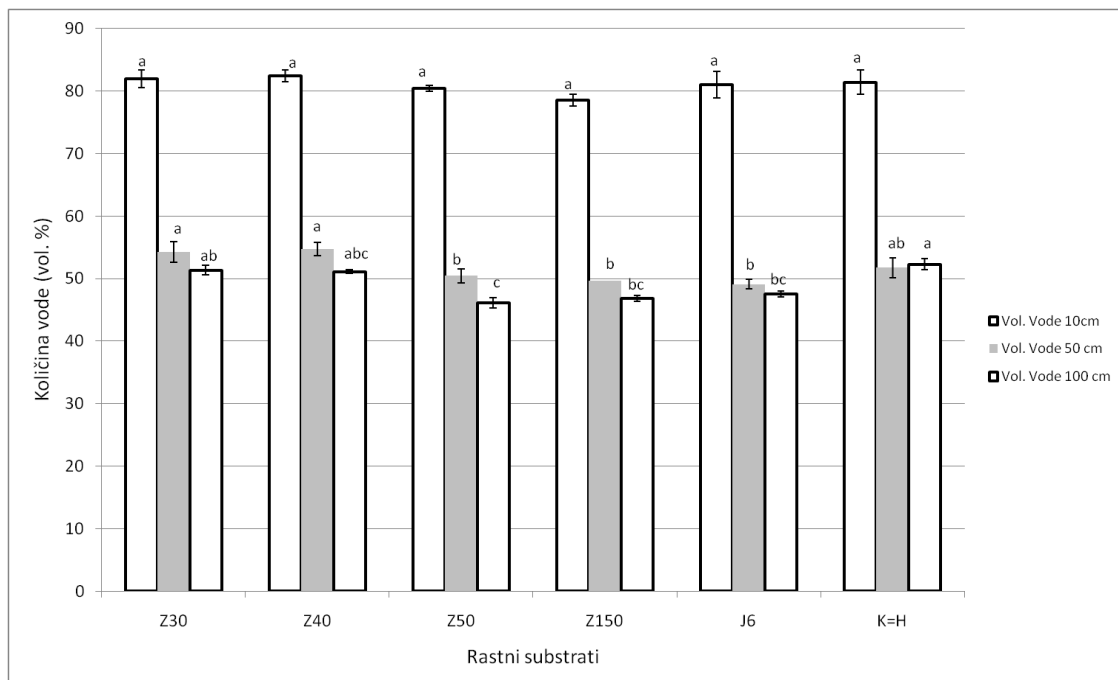


Slika 26: Primerjava rastnih substratov pri tenziji 100 cm vodnega stolpca za volumen zraka (AV) v vol. %, $P < 0.05$ ($N=3$)

Figure 26: Comparison of growing media in tension 100 cm of the water column for the air volume (AV) in vol. %, $P < 0.05$ ($N=3$)

4.2.5.7 Povprečne količine vode in zraka (vol. %) v rastnih substratih pri različnih tenzijah vodnega stolpca

Primerjava količin vode in zraka v rastnih substratih (vol. %) pri različnih tenzijah vodnega stolpca je pokazala, da rastna substrata Z30 in Z40 zadržita več vode kot rastna substrata Z50 in Z150 pri vseh merjenih tenzijah vodnega stolpca. Pri tenzijah 50 cm in 100 cm vodnega stolpca so razlike statistično značilne, pri tenziji 10 cm vodnega stolpca pa ne. Rastni substrat H = K se po vsebnosti vode statistično značilno ne razlikuje od rastnih substratov z mikronskim zeolitom, J6 se po vsebnosti vode statistično značilno ne razlikuje od rastnih substratov z granuliranim zeolitom pri tenzijah 50 in 100 cm vodnega stolpca. Rastna substrata z granuliranim zeolitom vsebujeta največ zraka med obravnavanimi rastnimi substrati in se v tem parametru statistično značilno ne razlikujeta od rastnega substrata J6 (slika 27).

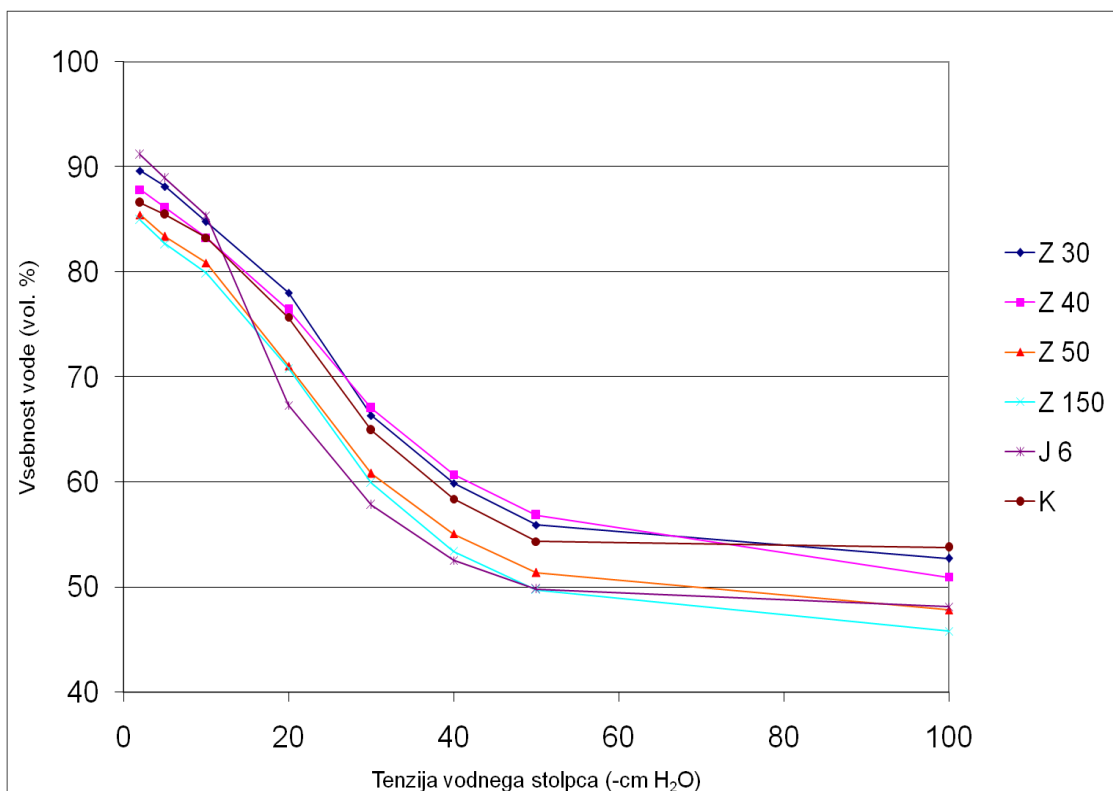


Slika 27: Povprečne količine vode (vol. %) v rastnih substratih pri različnih tenzijah vodnega stolpca
Figure 27: Average amount of water (vol.%) in growing media at different water potential

4.2.5.8 Krivulja vodno-zadrževalnih lastnosti rastnih substratov

Vodno-zadrževalne lastnosti obravnavanih rastnih substratov so prikazane na sliki 28 in imajo za vse obravnavane rastne substrate podobno, lepo obliko. Med tenzijama 2,5 in 50 cm vodnega stolpca (-0,25 kPa in -5 kPa) se vsebnost vode hitro zmanjšuje, krivulja je zelo strma. Med tenzijama 50 cm in 100 cm vodnega stolpca (-5kPa in -10kPa) je krivulja položnejša.

Na krivulji lahko opazimo razlike med rastnimi substrati, ki imajo dodan mikronski (Z30, Z40) in tistimi, ki imajo dodan granuliran zeolit (Z50, Z150). Krivulja se pri rastnih substratih z dodatkom mikronskega zeolita (Z30, Z40) spušča manj strmo kot pri rastnih substratih z dodatkom granuliranega zeolita (Z50, Z150) (slika 28). Vodno-zadrževalne lastnosti kontrolnega ravnega substrata H = K so podobne kot pri rastnih substratih Z30 in Z40. Omenjeni rastni substrati zadržijo več vode pri tenziji 100 cm vodnega stolpca (10 kPa) kot rastna substrata z granuliranim zeolitom.



Slika 28: Krivulja vodno-zadrževalnih lastnosti obravnavanih rastnih substratov merjeno po standardu EN 13 041 (1999)

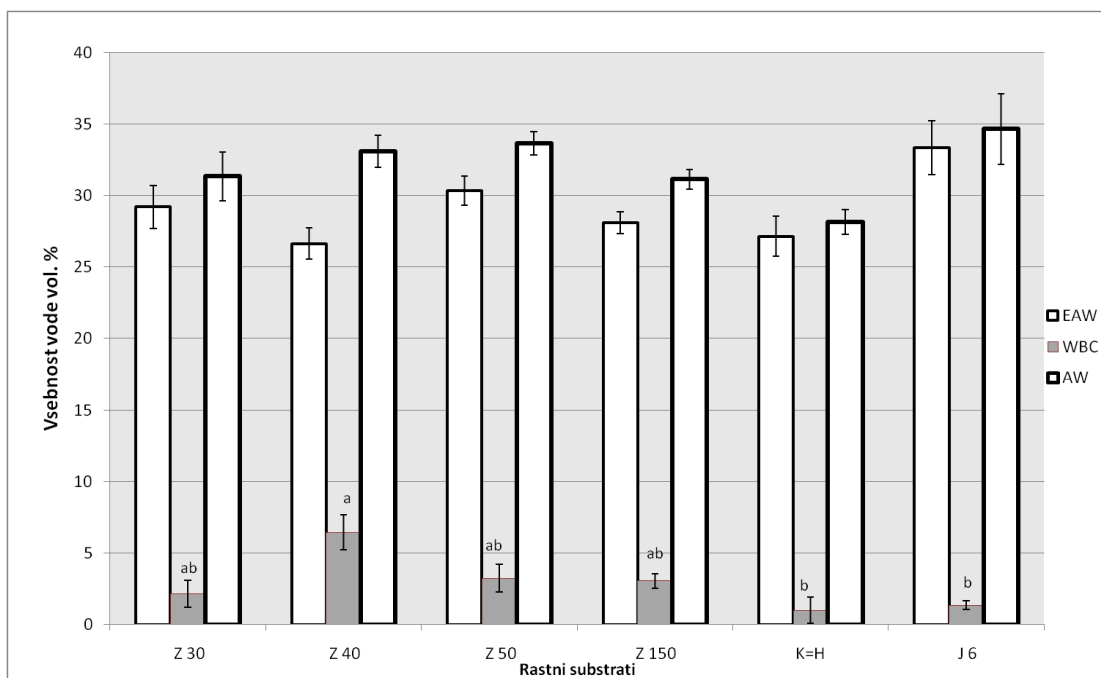
Figure 28: Water retention characteristics curve of the growing media according to EN 13 041 (1999)

4.2.5.9 Primerjava povprečnih vrednosti za vsebnosti vode v rastnih substratih v različnih območjih zadrževanja vode

Primerjava povprečnih vrednosti za vsebnosti vode v rastnih substratih v različnih območjih zadrževanja vode je prikazana na sliki 29. V območju EAW med rastnimi substrati ne obstajajo statistično značilne razlike. Največ vode v tem območju zadržita rastna substrata J6 in Z50 z dodatkom granuliranega zeolita, najmanj pa rastni substrat Z40 z največjo količino dodanega mikronskega zeolita.

V območju WBC med rastnimi substrati obstajajo statistično značilne razlike. Največ vode v tem območju zadrži rastni substrat Z40, ki vsebuje največjo količino mikronskega zeolita. Njegova vrednost se statistično značilno razlikuje le od rastnih substratov kontrola, ki v tem območju zadrži najmanj vode, in tržnega rastnega substrata J6.

Vrednosti za območje AW se med rastnimi substrati statistično ne razlikujejo. Največ dostopne vode za rastline ima rastni substrat J6, sledi mu rastni substrat z granuliranim zeolitom Z50.

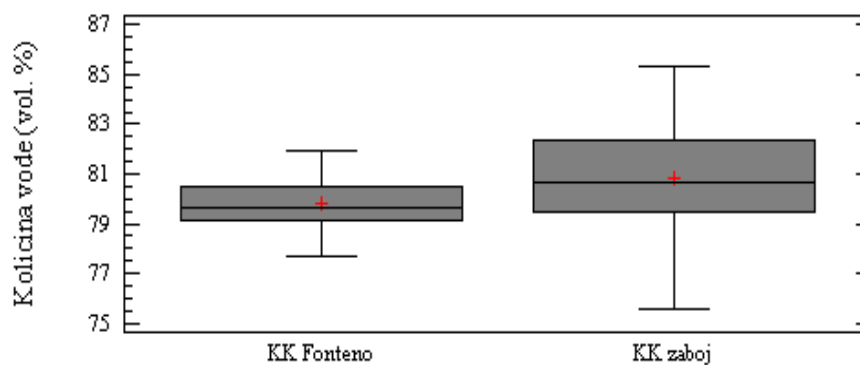


Slika 29: Povprečne vrednosti za vsebnosti vode v rastnih substratih v različnih območjih zadrževanja vode; EAW, WBC, AW. Različne črke označujejo statistično značilne razlike po Duncanovem testu mnogoterih primerjav (N=3)

Figure 29: Average values for the water content of the growing media at different areas to retain water; EAW, WBC, AW. Different letters indicate statistically significant differences according to Duncan's multiple range test, (N=3)

4.2.5.10 Primerjava vsebnosti vode v rastnih substratih pri kontejnerskih kapacitetah lonca, določene po metodi Fontena in po standardu EN 13 041 na zaboju s peskom

Primerjava povprečij vsebnosti vode v rastnih substratih pri kontejnerski kapaciteti lonca, določena po metodi Fontena in po standardu EN 13 041 (1999), je prikazana na sliki 30. Primerjava metod je pokazala, da rastni substrati, pri katerih smo določali kontejnersko kapaciteto po metodi Fontena, na splošno zadržijo manj vode kot pri enakem vodnem potencialu na zaboju s peskom. Varianca in standardni odklon sta manjša pri merjenju kontejnerske kapacitete po metodi Fonteno kot po standardu EN 13 041 (1999), kar pomeni, da so vrednosti pri kontejnerski kapaciteti po metodi Fonteno bolj skoncentrirane okrog aritmetične sredine meritev.



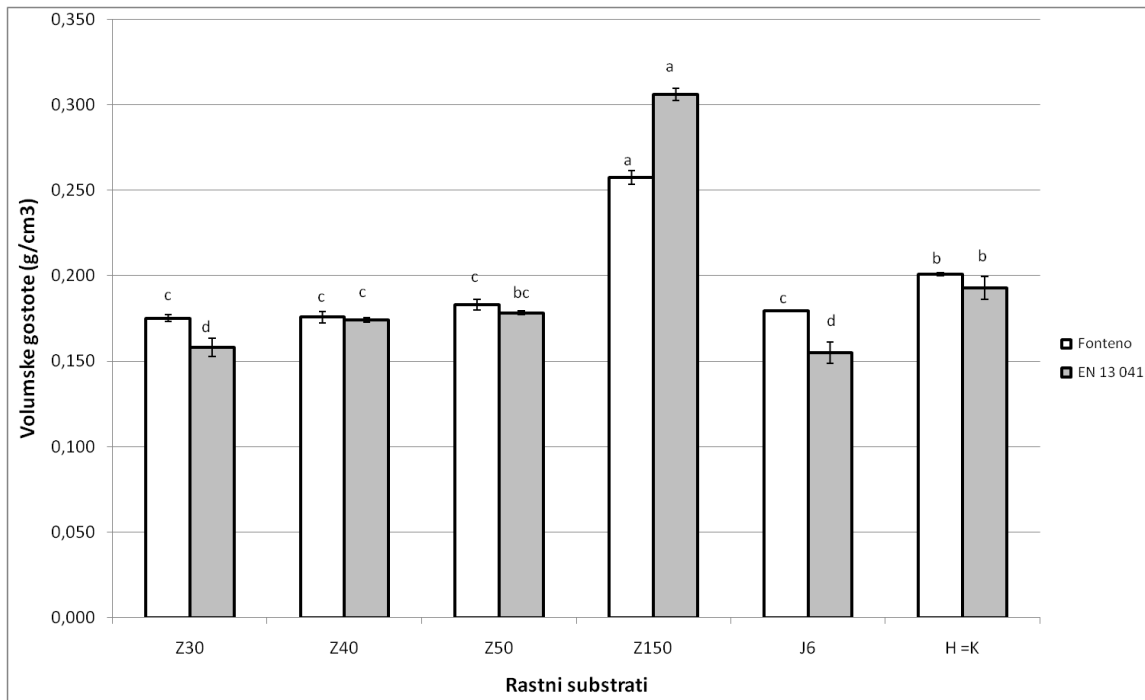
Slika 30: Primerjava povprečnih vrednosti vsebnosti vode pri kontejnerski kapaciteti lonca določena po metodi Fontena in po standardu EN 13 041 (1999) na zaboju s peskom, N=18

Figure 30: Comparison of average water content in growing media for pot container capacity, as determined by the method of Fonteno and the standard EN 13 041 (1999) in the sand box, N=18

4.2.6 Primerjava gostote rastnih substratov, merjene po metodi Fontena in po standardu EN 13 041

Primerjava povprečnih vrednosti gostot (g/cm^3), merjenih po metodi Fontena in po standardu EN 13 041, je prikazana na sliki 31. Statistično značilno največje vrednosti za gostoto, izmerjeno po obeh metodah, ima rastni substrat Z150 z največjim dodanim deležem granuliranega zeolita. Statistično značilno najmanjšo vrednost gostote po Fonteno ima rastni substrat kontrola (H = K), prav tako tudi po standardu, vendar se v tem primeru statistično značilno ne razlikuje le od ravnega substrata Z50. Naslednjo skupino rastnih substratov, ki se po metodi Fonteno statistično značilno ne razlikujejo med seboj, predstavljajo Z30, Z40, rastna substrata z dodatkom mikronskega zeolita, Z50, rastni substrat z dodatkom granuliranega zeolita in J6 tržni rastni substrat. Povprečne vrednosti, merjene po standardu EN 13 041, pa kažejo, da se v gostotah med seboj statistično značilno ne razlikujeta rastna substrata Z40 in Z50, medtem ko imata rastna substrata Z30 in J6 statistično značilno manjše povprečne vrednosti gostote, merjene po standardni metodi.

Primerjalno gledano se najmanjša odstopanja med povprečnimi vrednostmi meritev za gostoto med obema metodama pojavijo pri rastnih substratih Z40, z največjo dodano količino mikronskega zeolita Z50, z najmanjšo dodano količino granuliranega zeolita in kontrolnem ravnem substratu H = K.



Slika 31: Primerjava gostot (g/cm^3), merjenih po metodi Fontena in po standardu EN 13 041. Različne črke označujejo statistično značilne razlike po Duncanovem testu mnogoterih primerjav ($N=3$)

Figure 31: Comparison of bulk density (g/cm^3) measured by the method of Fonteno and standard EN 13 041. Different letters indicate statistically significant differences according to Duncan's multiple range test, ($N=3$)

4.3 KEMIJSKE ANALIZE RASTNIH SUBSTRATOV

Kemijske analize rastnih substratov so bile izvedene po evropskih standardih, še preden smo jim dodali počasi topna gnojila (SRF) in gnojila s kontroliranim sproščanjem (CRF). Meritve kemijskih analiz so navedene v preglednici 21.

Preglednica 21: Kemijske lastnosti rastnih substratov, merjene po standardih EN pred dodatkom SRF in CRF. Tržni rastni substrat J6 je pri merjenju že imel dodan SRF.

Table 21: Chemical properties of the growing media measured according to European standards before the application of SRF and CRF. Market growing medium J6 is to measure already had added slowly SRF

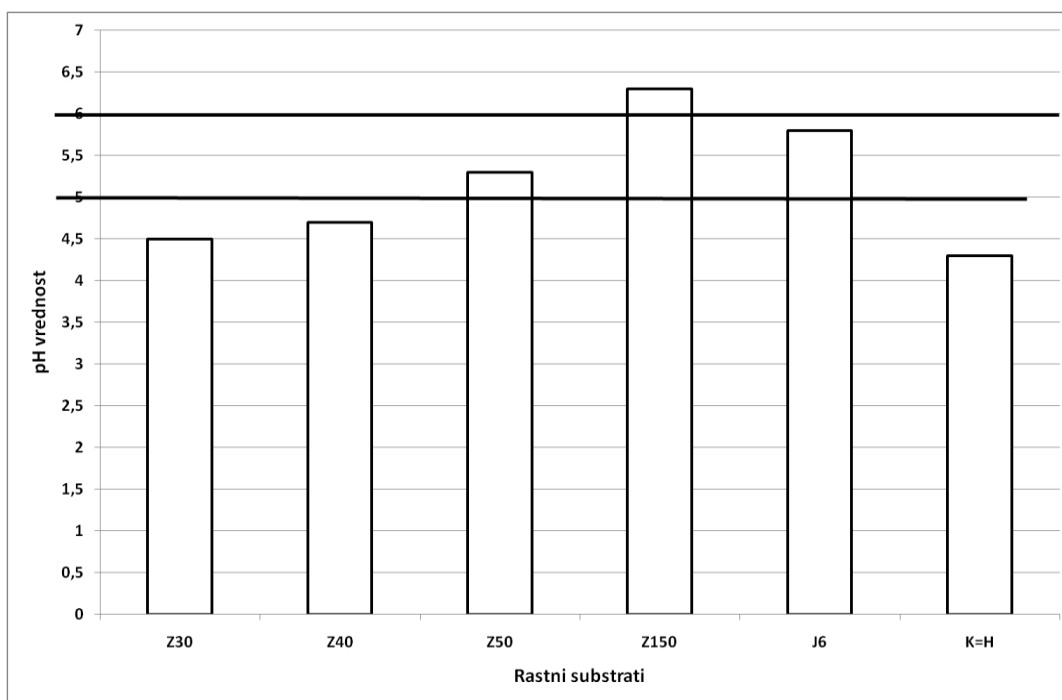
| Rastni substrat | pH* | EC* | N-NH ₄ ** | N-NO ₃ ** | P** | K** | Mg** |
|-----------------|-----|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | mS cm ⁻¹ | mg l ⁻¹ | mg l ⁻¹ | mg l ⁻¹ | mg l ⁻¹ | mg l ⁻¹ |
| Z30 | 4.5 | 0.30 | 49 | 24 | 2 | 5 | 89 |
| Z40 | 4.7 | 0.32 | 39 | 21 | 3 | 6 | 92 |
| Z50 | 5.3 | 0.31 | 54 | 37 | 2 | 8 | 238 |
| Z150 | 6.3 | 0.29 | 48 | 42 | 1 | 12 | 235 |
| J6 | 5.8 | 0.27 | 85 | 94 | 33 | 129 | 243 |
| H = K | 4.3 | 0.35 | 51 | 36 | 5 | 11 | 109 |

*pH, EC: vodna ekstrakcija 1v/5v

** N, P, K, Mg: CAT ekstrakcija 1v/5v

4.3.1 Vrednosti pH rastnih substratov po standardu EN 13 037

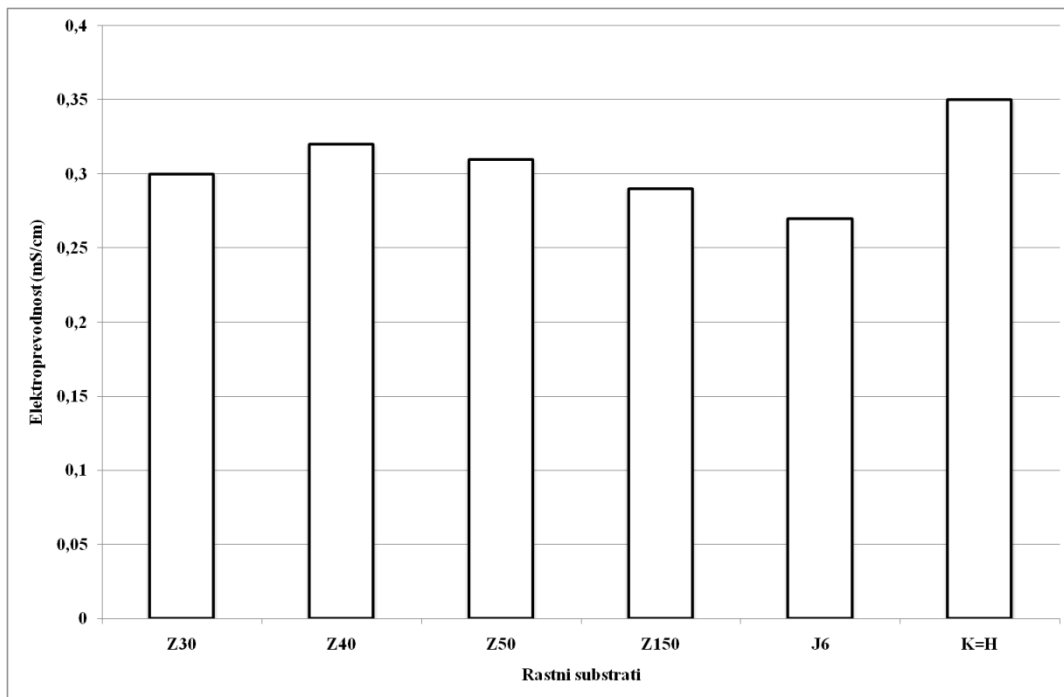
Vrednosti pH rastnih substratov so prikazane na sliki 32. Iz slike je razvidno, da vrednosti pH naraščajo z dodajanjem zeolita, saj vrednost pH zeolita znaša 9,9. Priporočena vrednost pH za gojenje pelargonij se nahaja v območju med 5.5 in 6.5 (Maatsch in sod., 1997). Tej zahtevi v našem primeru ustrezata rastna substrata Z150 z dodatkom največje količine granuliranega zeolita in tržni rastni substrat J6. Vrednosti pH ostalih rastnih substratov so pod tem idealnim območjem, še najbolj se mu približa rastni substrat Z50 s 5.3 (preglednica 21).



Slika 32: Vrednosti pH rastnih substratov po standardu EN 13 037, vodna ekstrakcija 1v/5v
Figure 32: pH values of the growing media according to EN 13 037, water extract 1v/5v

4.3.2 Elektroprevodnost rastnih substratov po standardu EN 13 038

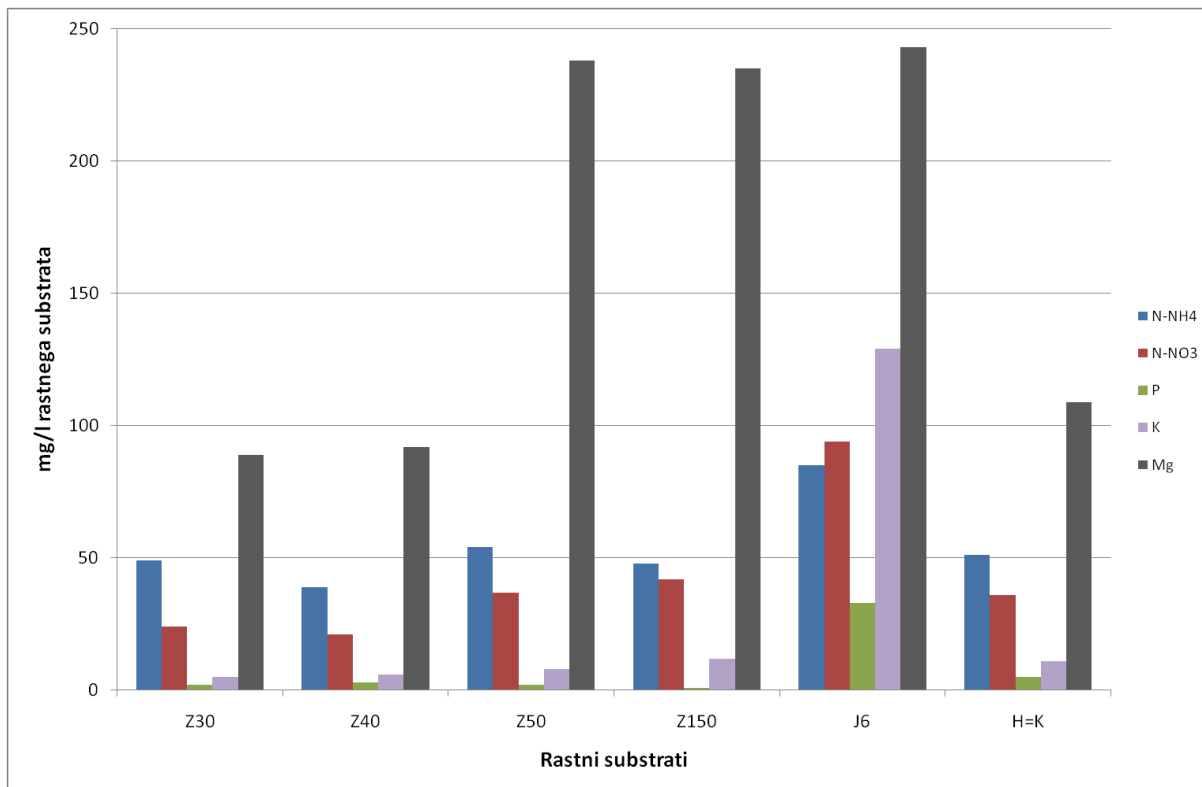
Elektroprevodnost rastnih substratov, izmerjena po standardu EN 13 038, je prikazana na sliki 33. Med izmerjenimi vrednostmi ni velikih razlik. Največja vrednost je izmerjena za rastni substrat kontrola H = K, (0,35 mS/cm), najmanjša pa za tržni rastni substrat J6 (0,27 mS/cm).



Slika 33: Elektroprevodnost rastnih substratov (mS/cm), izmerjena po standardu EN 13 038
Figure 33: Electroconductivity of growing media (mS/cm) according to standard EN 13 038

4.3.3 Dostopna hranila v rastnih substratih, merjena po standardu EN 13 651

Vrednosti za dostopni fosfor in kalij so podobno nizke v vseh rastnih substratih, z izjemo tržnega rastnega substrata J6, ki mu je bilo že pred merjenjem dodano počasi topno gnojilo. Vrednosti za dostopen dušik so relativno visoke v vseh rastnih substratih. Zelo visoke so vrednosti za Mg v rastnih substratih z granuliranim zelitom (slika 34).



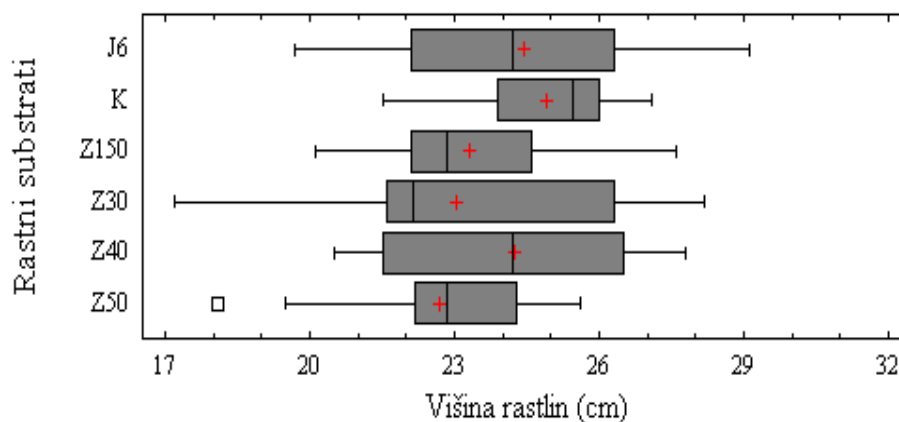
Slika 34: Dostopna hranila v rastnih substratih (mg/l), merjena po standardu EN 13 651

Figure 34: Available nutrients in the growing media (mg/l), measured according the standard EN 13 651

4.4 POSKUS Z RASTLINAMI

4.4.1 Višina rastlin (cm) dosežena v obravnavanih rastnih substratih

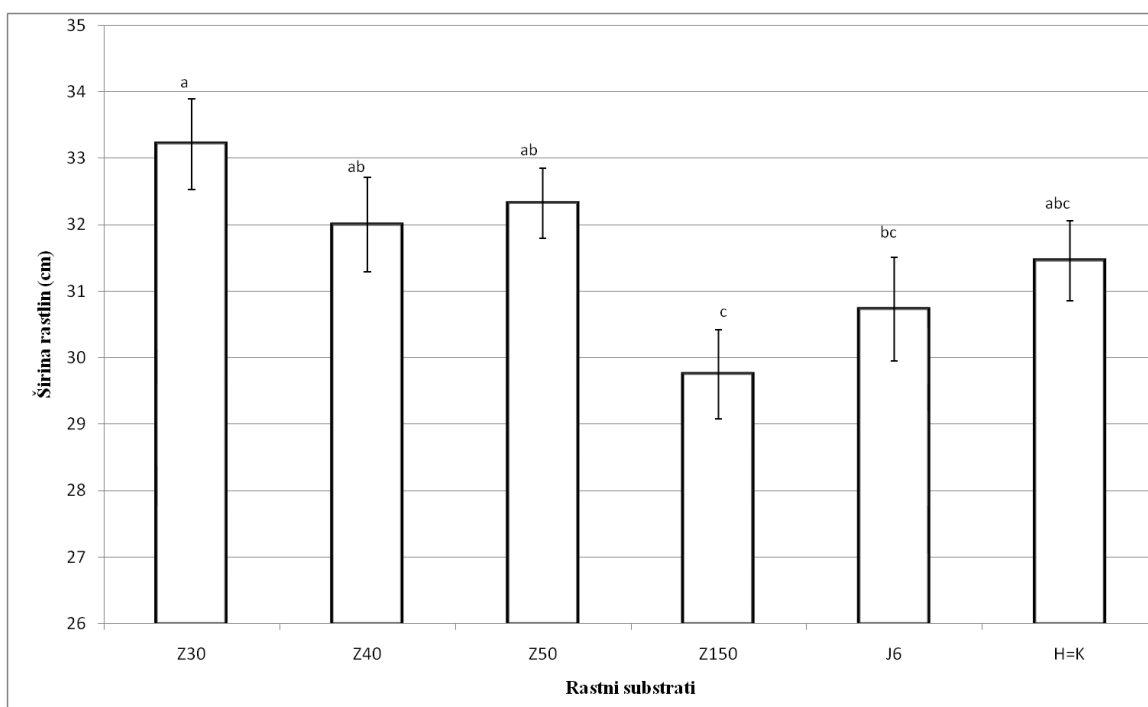
P-vrednost F-testa je več kot 0,05, zato med povprečnimi višinami, ki so jih dosegle rastline v obravnavanih rastnih substratih, ne obstajajo statistično značilne razlike. Največjo povprečno višino so dosegle rastline iz kontrolnega ravnega substrata (K = H), (24,91 cm) in iz tržnega ravnega substrata J6 (24,44 cm). Najmanjšo povprečno višino so dosegle rastline iz ravnih substratov Z50 (22,7 cm) in Z30 (23,0 cm), (slika 35).



Slika 35: Povprečna višina (cm), ki so jo rastline dosegle v obravnavanih rastnih substratih, $P > 0.05$, (N=10)
Figure 35: The average height (cm) of plants, which was achieved in the growing media, $P > 0.05$, (N=10)

4.4.2 Povprečna širina rastlin (cm), dosežena v obravnavanih rastnih substratih

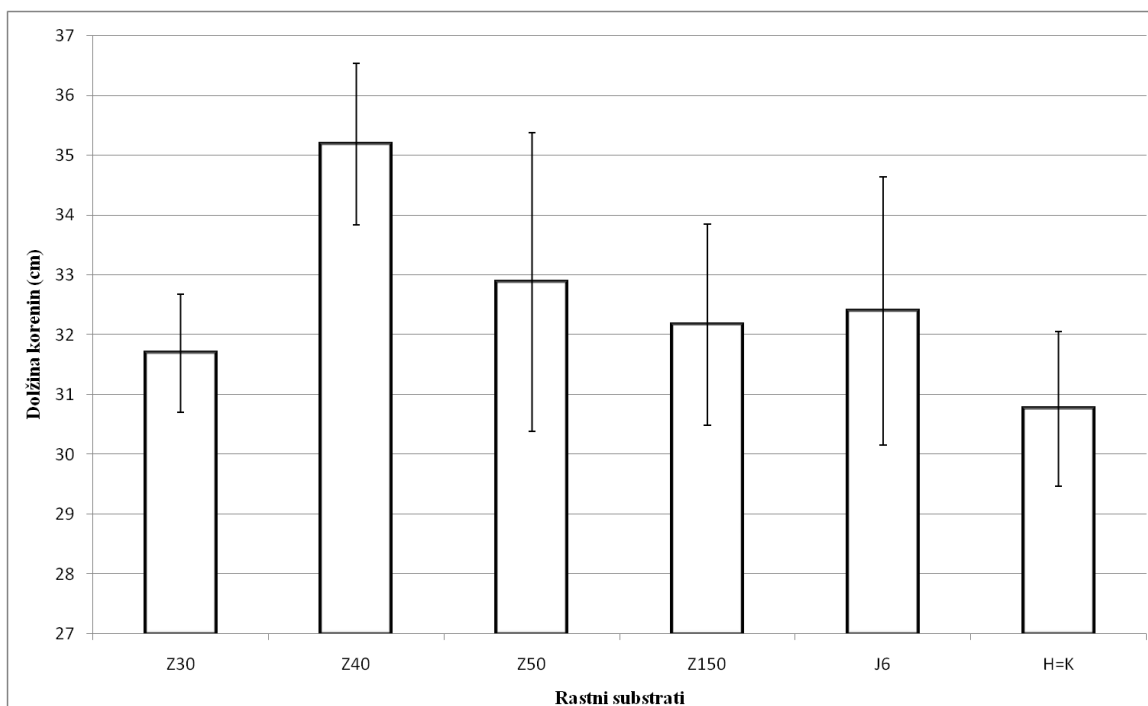
P-vrednost F-testa je manj kot 0,05, zato med povprečnimi širinami, ki so jih dosegle rastline v obravnavanih rastnih substratih, obstajajo statistično značilne razlike (slika 36). Rastline, ki so rasle v ravnem substratu Z30 z dodatkom mikronskega zeolita, so dosegle statistično značilno največjo širino. Najmanjšo doseženo širino so dosegle rastline iz ravnega substrata Z150 z dodano največjo količino granuliranega zeolita. Ostali rastni substrati se v tem parametru med seboj statistično značilno ne razlikujejo.



Slika 36: Povprečna širina rastlin (cm), dosežena v obravnavanih rastnih substratih. $P < 0.05$, (N=10)
Figure 36: The average diameter of plants (cm), achieved in the growing media. $P < 0.05$, (N=10)

4.4.3 Povprečna dolžina korenin (cm), dosežena v obravnavanih rastnih substratih

Povprečne dolžine korenin se med obravnavnimi rastnimi substrati med seboj statistično značilno ne razlikujejo, saj je P-vrednost F-testa večja od 0,05 (slika 37). Meritve znotraj posameznih obravnavanj (rastnih substratov) so med seboj zelo variabilne. Največjo povprečno dolžino korenin so dosegle rastline iz ravnega substrata Z40 z največjo dodano količino mikronskega zeolita, najmanjšo pa rastline iz ravnega substrata kontrola. (H = K).

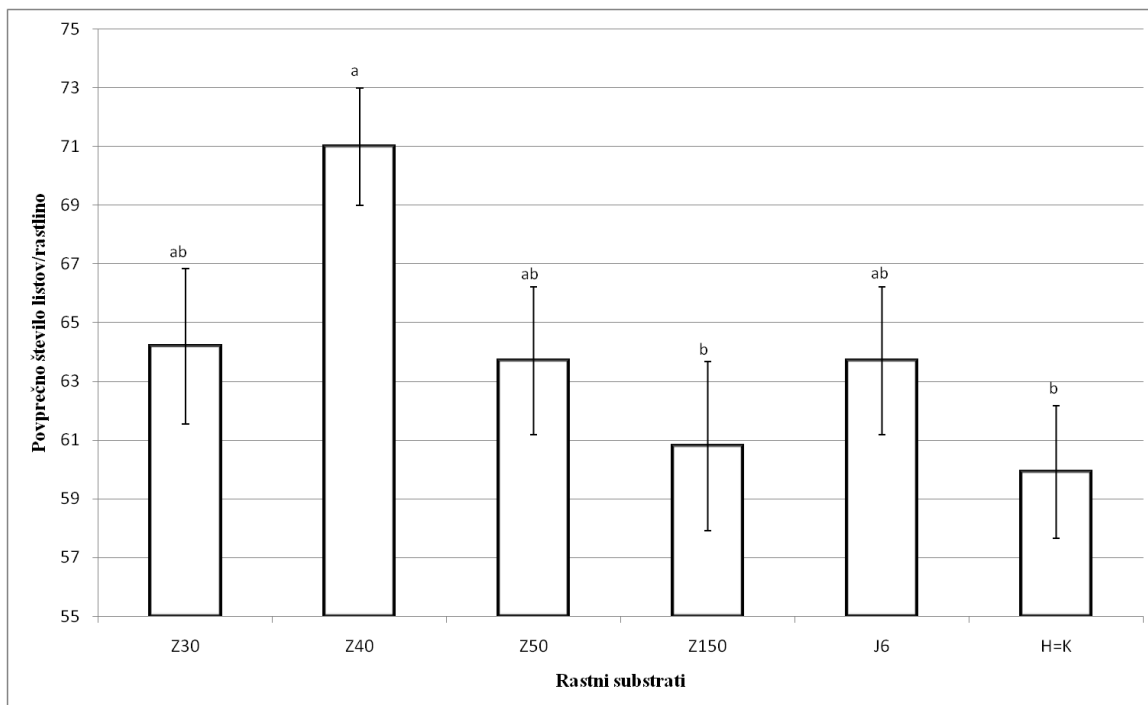


Slika 37: Povprečna dolžina korenin rastlin (cm), dosežena v obravnavanih rastnih substratih. $P > 0.05$, (N=10)

Figure 37: The average root length of plants (cm), achieved in the growing media. $P > 0.05$, (N=10)

4.4.4 Povprečno število listov na rastlino v obravnavanih rastnih substratih

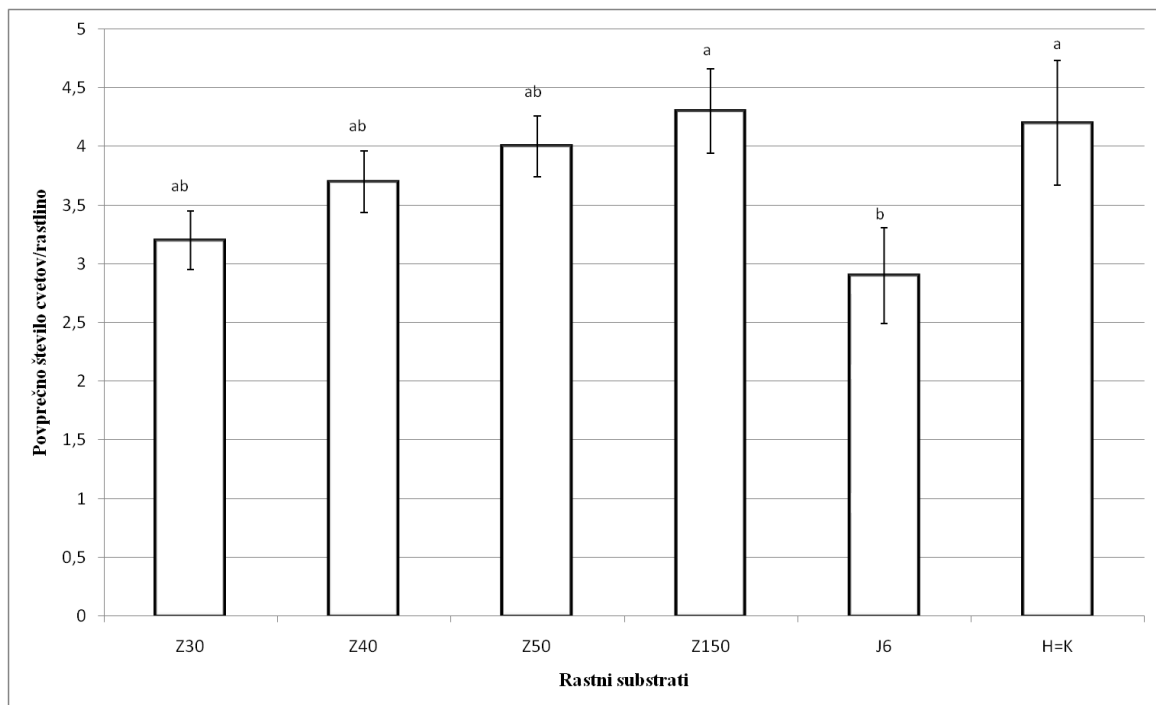
Obravnavani rastni substrati se v povprečnem številu listov na rastlino med seboj statistično značilno razlikujejo (slika 38). Statistično značilno največ listov so proizvedle rastline iz ravnega substrata Z40 z največjo dodano količino mikronskega zeolita. Naslednjo skupino, ki se med seboj statistično značilno ne razlikuje, sestavljajo rastni substrati J6, Z30 in Z50. Statistično značilno najnižje število listov so proizvedle rastline iz ravnih substratov Z150 in H = K.



Slika 38: Povprečno število listov na rastlino, doseženo v obravnavanih rastnih substratih. $P < 0.05$, (N=10)
Figure 38: The average leaves number per plant, achieved in the growing media. $P < 0.05$, (N=10)

4.4.5 Povprečno število cvetov na rastlino v obravnavanih rastnih substratih

Povprečno število cvetov na rastlino se med posameznimi rastnimi substrati statistično značilno razlikuje (slika 39). Statistično značilno največ cvetov so proizvedle rastline iz rastnega substrata Z150 in H = K. Manjše število cvetov so proizvedle rastline iz rastnih substratov Z50 in rastnih substratov z mikronskim zeolitom, Z40 in Z30. Ta obravnavanja se med seboj statistično značilno ne razlikujejo. Najmanjše statistično značilno število cvetov so proizvedle rastline iz tržnega rastnega substrata J6.



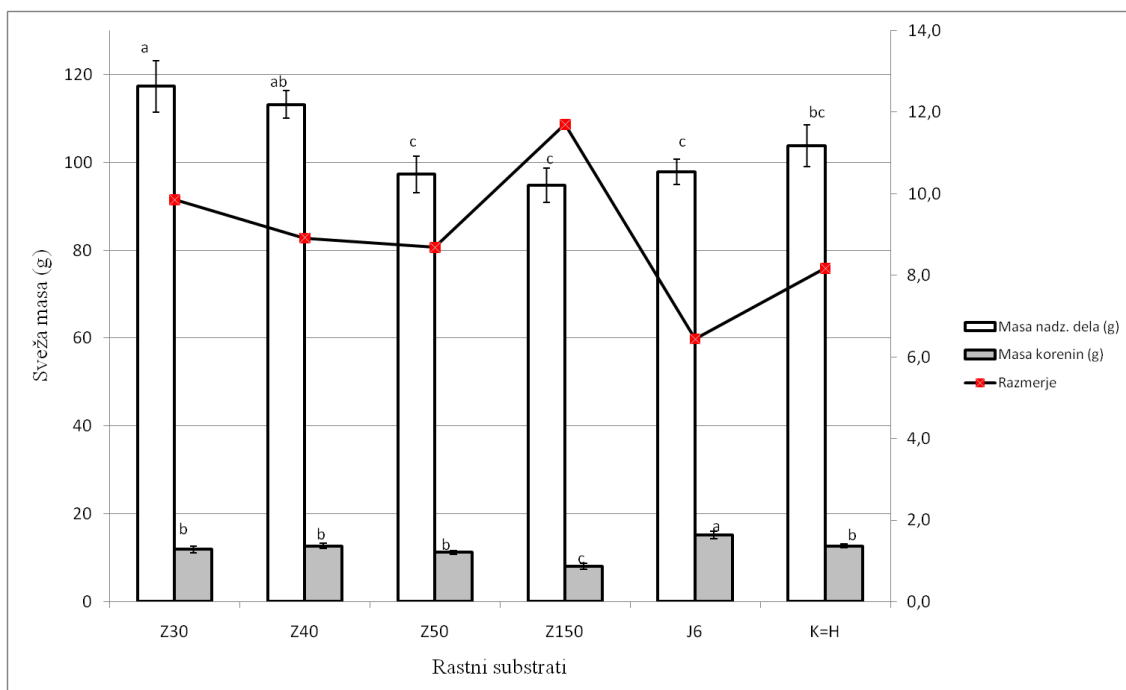
Slika 39: Povprečno število cvetov na rastlino, doseženo v obravnavanih rastnih substratih. $P < 0.05$, (N=10)
Figure 39: The average flower number per plant, achieved in the growing media. $P < 0.05$, (N=10)

4.4.6 Povprečna masa nadzemnega dela in korenin rastlin (g) ter njuno razmerje v obravnavanih rastnih substratih

Rezultati za povprečno maso nadzemnega dela in korenin rastlin so pokazali, da za oba obravnavana parametra obstajajo statistično značilne razlike med rastnimi substrati (slika 40). Največja razlika med masami nadzemnega dela rastlin se pojavlja med rastnimi substrati z mikronskimi zeoliti, Z30 in Z40 na eni strani, in rastnimi substrati z granuliranim zeolitom Z50 in Z150 na drugi strani. Statistično značilno največjo maso nadzemnega dela rastlin so dosegle rastline iz rastnih substratov Z30 (117,3 g) in Z40 (113,2 g). Statistično značilno najmanjšo maso nadzemnega dela pa so dosegle rastline iz rastnih substratov Z50 (97,3 g), Z150 (94,8 g) in tržnega rastnega substrata J6 (97,9).

Rezultati za povprečne mase korenin pokažejo drugačno sliko, saj je statistično značilna največja koreninska masa dosežena pri rastlinah iz rastnega substrata J6 (15,2 g) in statistično značilna najmanjša v rastnem substratu Z150 (8,1 g). Dosežena koreninska masa se med ostalimi rastnimi substrati statistično značilno ne razlikuje.

Največje razmerje med povprečno maso nadzemnega dela rastlin in korenin je doseženo v rastnem substratu z največjo količino granuliranega zeolita Z150, najmanjše pa v tržnem rastnem substratu J6. Razmerja med ostalimi rastnimi substrati so med seboj primerljiva.

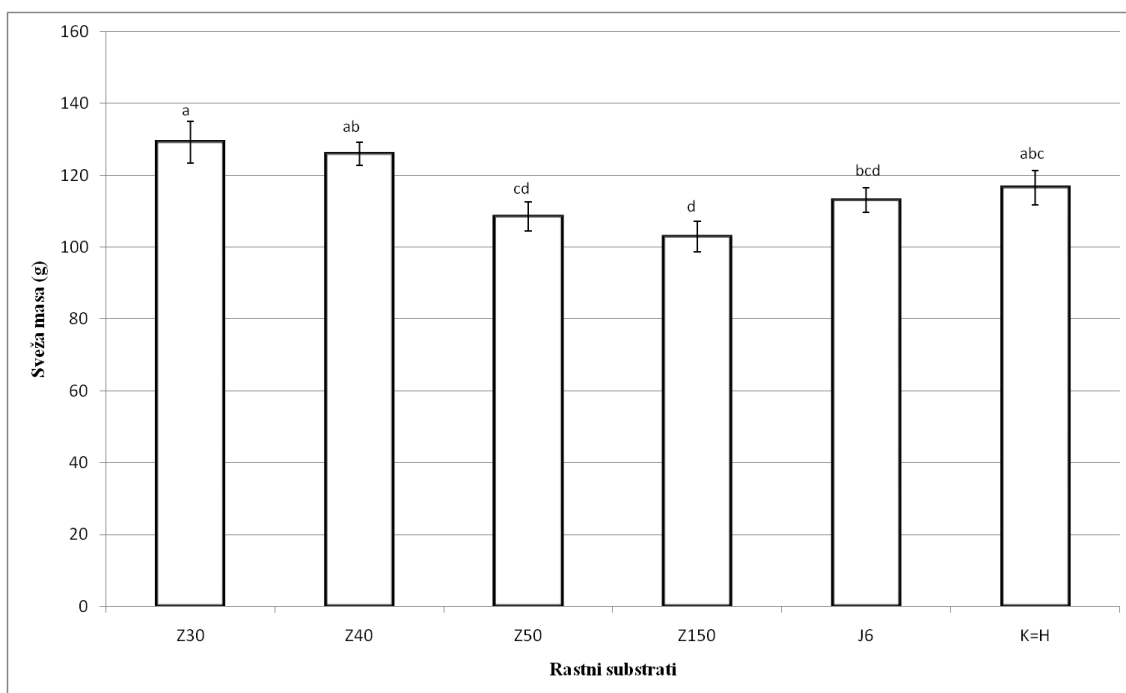


Slika 40: Povprečna masa nadzemnega dela in korenin rastlin (cm) ter njuno razmerje, doseženo v obravnavanih rastnih substratih. $P < 0.05$, (N=10)

Figure 40: The average shoot and root weight of plants (cm) and their ratio, achieved in the growing media. $P < 0.05$, (N=10)

4.4.7 Povprečna sveža masa rastlin (g) v obravnavanih rastnih substratih

Povprečne sveže mase, ki so jih dosegle rastline iz obravnavanih rastnih substratov, se med seboj statistično značilno razlikujejo, saj je P- vrednost F- testa manjša od 0,05 (slika 41). Največja statistično značilna razlika obstaja med rastnimi substrati z mikronskimi in granuliranimi zeoliti. Sveže mase rastlin iz rastnih substratov z mikronskimi zeoliti, Z30 in Z40, so statistično značilno večje od tistih, doseženih v rastnih substratih z granuliranimi zeoliti, Z50 in Z150. Kontrolni rastni substrat in tržni rastni substrat statistično dosegata vmesne vrednosti.



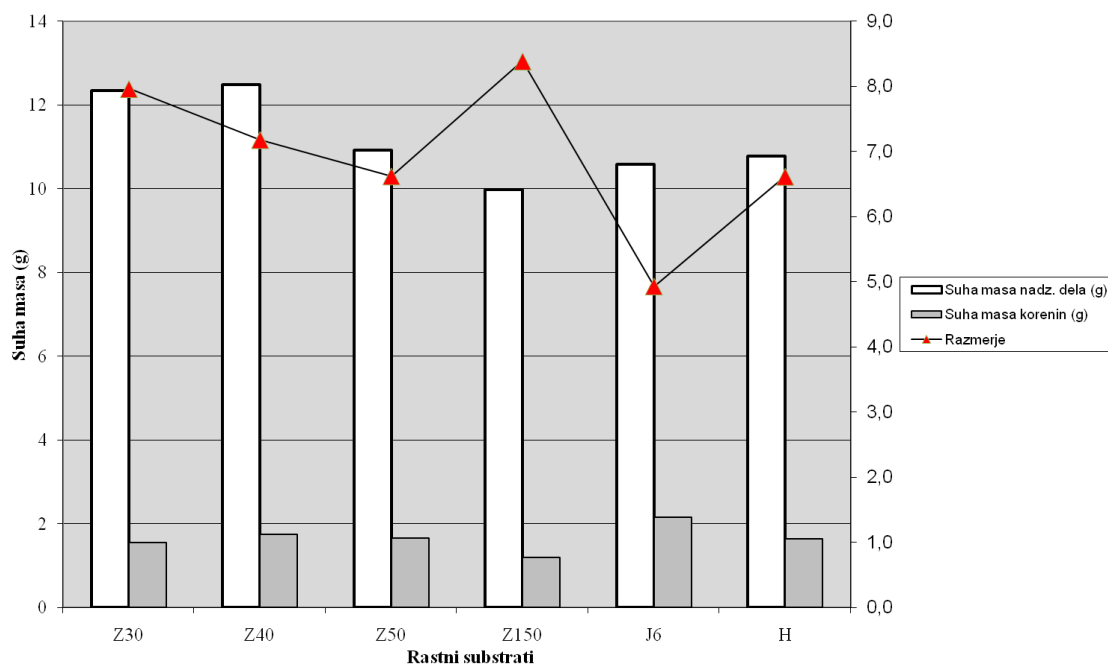
Slika 41: Povprečna sveža masa (g), dosežena v obravnavanih rastnih substratih. $P < 0.05$, (N=10)
Figure 41: The average fresh weight (g), achieved in the growing media. $P < 0.05$, (N=10)

4.4.8 Povprečna suha masa nadzemnega dela in korenin rastlin (g) ter njuno razmerje v obravnavanih rastnih substratih

Povprečne suhe mase nadzemnega dela in korenin rastlin so prikazane na sliki 42 in dajejo podobne rezultate kot sveže mase nadzemnega dela in korenin rastlin (slika 40). Povprečna suha masa rastlin iz rastnih substratov z mikronskim zeolitom Z30 in Z40 je statistično značilno večja od rastlin iz ravnega substrata Z150. Ostali rastni substrati se v tem parametru med seboj statistično značilno ne razlikujejo.

Statistično značilno največjo maso korenin so dosegle rastline iz ravnega substrata J6. Naslednjo statistično značilno manjšo skupino predstavljajo rastni substrati Z30, Z40, Z50 in ravnostni substrat kontrola. Statistično značilno najmanjšo maso korenin so dosegle rastline iz ravnega substrata Z150 z največjo dodano količino granuliranega zeolita.

Največje razmerje med povprečno suho maso nadzemnega dela rastlin in korenin je doseženo v ravnem substratu z največjo količino granuliranega zeolita Z150, najmanjše pa v tržnem ravnem substratu J6. Razmerja med ostalimi rastnimi substrati so med seboj primerljiva.



Slika 42: Povprečna suha masa nadzemnega dela in korenin rastlin (g) ter njuno razmerje, doseženo v obravnavanih rastnih substratih. $P < 0.05$, (N=10)

Figure 42: The average of dry weight of plant shoots and roots (g) and their ratio, achieved in the growing media. $P < 0.05$, (N=10)

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

V poskusu z namakanjem rastnih substratov v lončkih smo primerjali, kako različna količina in velikost zeolitnih delcev vpliva na zadrževanje vode v rastnih substratih in ali na ta parameter vpliva tudi višina namakanja, različna gostota rastnega substrata v lončkih in čas namakanja.

Pri primerjavi volumskega odstotka vode, zadržane v rastnih substratih po 72 urah osuševanja, smo ugotovili, da na splošno sprejmejo rastni substrati več vode pri višini namakanja 4 cm (v1) kot pri višini namakanja 2 cm (v2). Pri tej višini namakanja sprejme največ vode, neodvisno od gostote polnjenja, rastni substrat Z50 z dodatkom granuliranega zeolita, najmanj pa tržni rastni substrat J6, ki ima dodano navadno glino.

Ko smo primerjali rastne substrate, koliko vode zadržijo po 72 urah odcejanja glede na različno gostoto polnjenja, smo ugotovili, da več vode zadržijo rastni substrati, ki imajo za 20 % večjo gostoto in tudi zadrževanje vode je bolj enakomerno, saj ima statistično značilno manjšo vrednost zadrževanja vode le tržni rastni substrat J6. Največ vode tudi v tem primeru zadrži rastni substrat Z50 z dodatkom granuliranega zeolita.

Pri primerjavi rastnih substratov glede zadrževanja vode se je izkazalo, da čas namakanja nima vpliva na zadrževanje vode, med različnimi časi poplavljanja ne obstajajo statistično značilne razlike. Z grafa (slika 16) je razvidno, da po 5 minutah poplavljanja rastni substrati sprejmejo več vode kot pri času poplavljanja 10 minut in 30 minut.

Cativello (1995) ugotavlja, da je učinek na zadrževanje vode pri granuliranih zeoliti, dodanih v rastne substrate, manjši kot pri mikronskih. Rezultati našega poskusa kažejo, da je v vseh obravnavanjih največ vode zadržal rastni substrat Z50 z dodatkom granuliranega zeolita, medtem ko bodo nadaljnje natančnejše raziskave pokazale, kakšen vpliv imajo mikronski zeoliti, dodani v rastne substrate.

Poskus z namakanjem rastnih substratov v lončkih je pokazal, da na zadrževanje vode v rastnih substratih statistično značilno vplivata višina namakanja in gostota rastnega substrata. Čas namakanja ne vpliva statistično značilno na zadrževanje vode v rastnih substratih, zato smo se odločili, da bomo v poskusu z rastlinami lončke polnili z večjo gostoto, kot je osnovna, namakali do višine 4 cm in ko bo nivo vode na tej višini, jo bomo spustili z mize.

Glede na rezultate poskusa smo se odločili, da v nadaljnje obravnavanje vzamemo dva rastna substrata z dodatkom mikronskega zeolita v večjih količinah (30 in 40 kg m⁻³), dva rastna substrata z dodatkom granuliranega zeolita (50 in 150 kg m⁻³), ki sta dala boljše rezultate, ter kontrolni rastni substrat Humko (H = K) in tržnega, ki ga zastopa Jonkgind (J6).

Z merjenjem fizikalnih parametrov in vodno-zadrževalnih lastnosti rastnih substratov smo želeli ugotoviti, kako se obravnavani rastni substrati med seboj razlikujejo v gostotah, poroznosti, vsebnosti vode in zraka, kako dobro zadržujejo vodo pri različnih vodnih

potencialih oz. tenzijah vodnega stolpca. Še posebej nas je zanimalo, kako primerljivi so lastni rastni substrati z dodatkom različnih količin in velikosti zeolitnih delcev s tržnimi rastnimi substrati z vidika zadrževanja vode.

Ugotovili smo, da med obravnavanimi rastnimi substrati obstajajo razlike v njihovih fizikalnih lastnostih zaradi različne sestave. Vrednosti za gostoto se statistično značilno povečujejo z naraščajočo vsebnostjo zeolita v rastnih substratih. Najnižjo izmerjeno vrednost gostote je imel rastni substrat Z30 ($0,158 \text{ g/cm}^3$) z najmanjšo dodano količino mikronskega zeolita, največjo pa Z150 ($0,306 \text{ g/cm}^3$) z največjo količino dodanega granuliranega zeolita.

Fonteno (1993) trdi, da imajo idealni rastni substrati vrednosti za poroznost večjo od 85 volumskih %. V našem primeru imajo vsi rastni substrati večje vrednosti za poroznost, to pomeni, da so vsi primerni za rastlinsko pridelavo glede tega parametra (slika 19).

Pričakovano imajo rastni substrati z manjšo gostoto večjo vrednost poroznosti in obratno, kar so v svojih raziskavah potrdili tudi Argo (1998) ter Blok in sod. (2008). Te trditve se ujemajo z našimi rezultati, kjer ima rastni substrat Z150 s statistično značilno največjo gostoto tudi statistično značilno najmanjšo vrednost poroznosti, 88,2 vol. % med vsemi obravnavanimi rastnimi substrati (slika 17, 18, 19).

Dostopnost vode ima odločilen učinek na izmenjavo plinov (transpiracijo in respiracijo) in posledično na rast rastlin. Vodno-zadrževalne lastnosti rastnega substrata pokažejo, koliko vode rastni substrat zadrži pri različnih tenzijah vodnega stolpca. Pri splošnih fizikalnih analizah so kot standard določene tenzije 3,2 cm, 10 cm, 32 cm, 50 cm in 100 cm vodnega stolpca, kar ustreza 0,32 kPa, 1 kPa, 3,2 kPa, 5 kPa, 10 kPa.

Pri tenziji 10 cm vodnega stolpca rastni substrat zadrži največ vode. Ta delež vode najdemo v porah s premerom 30 - 60 μm in deluje kot rezerva vode med intenzivno transpiracijo rastlin (Gabriëls in Verdonck, 1991). V tem območju zadrževanja vode med rastnimi substrati ne obstajajo statistično značilne razlike. Največ vode pri tej tenziji vodnega stolpca zadrži rastni substrat Z40, ki ima dodano največjo količino mikronskega zeolita, najmanj pa rastni substrat Z150 z dodano največjo količino granuliranega zeolita (slika 21). Najmanjšo variabilnost meritev ima rastni substrat Z50 z granuliranim zeolitom. De Boodt in sod. (1974) ter Wever in sod. (1997) trdijo, da granulirani in mikronski zeoliti povečajo vsebnost vode pri tenziji -1 kPa (tenzija 10 cm vodnega stolpca). Naše meritve so konsistentne s to trditvijo za rastne substrate, ki imajo dodan mikronski zeolit, ne pa za rastna substrata z granuliranim zeolitom.

Pri tenziji 50 cm vodnega stolpca obstajajo statistično značilne razlike med rastnimi substrati glede zadrževanja vode. Največ vode pri tej tenziji zadržita rastna substrata Z30 in Z40 z dodatkom granuliranega zeolita in sta primerljiva s kontrolnim rastnim substratom (H = K). Najmanjšo variabilnost med rastnimi substrati ima Z150 z največjo dodano količino granuliranega zeolita (slika 22).

Tenzija 100 cm vodnega stolpca nam pove, kolikšna je zaloga vode v rastnem substratu (Gabriëls in Verdonck, 1991). To je tudi voda, ki je za kakovost rastlin najpomembnejša. Največ vode pri tej tenziji zadržijo kontrolni rastni substrat (H = K) in rastna substrata z

dodatkom mikronskega zeolita, Z30 in Z40, ki se med seboj statistično značilno ne razlikujejo, najmanj pa rastna substrata Z50 in Z150 (slika 23). Delovna hipoteza, da bodo rastni substrati z dodatkom zeolitnih delcev v območju težko dostopne vode pri tenziji 100 cm vodnega stolpca zadržali več vode kot primerjalna tržna rastna substrata, ni potrjena.

Cativello (1995) ugotavlja, da je volumen zraka pri tenziji 10 cm vodnega stolpca večji v rastnih substratih z dodatkom granuliranega zeolita kot mikronskega. Rezultati naših meritev so konsistentni s to raziskavo (slika 24). Priporočene vrednosti za vsebnost zraka za pelargonije, gojene na sistemu s poplavnimi mizami, naj bi se gibale v območju med 16 - 20 vol. % (Heiskanen, 1997, de Kreij in sod., 2001, Bos in sod., 2003). V naši raziskavi so te vrednosti za obravnavane rastne substrate nižje, kar pa naj ne bi bila slabost glede na to, da namakanje stalno kontrolirano. Pri tenzijah 50 in 100 cm vodnega stolpca največ zraka zadržujejo rastni substrati z dodatkom granuliranega zeolita.

Vodno-zadrževalne lastnosti rastnega substrata kažejo na sposobnost rastnega substrata za shranjevanje vode (Fonteno, 1993). Dostopnost vode ima odločilen učinek na izmenjavo plinov (transpiracijo in respiracijo) in posledično na rast rastlin. Vodno-zadrževalne lastnosti rastnega substrata pokažejo, koliko vode rastni substrat zadrži pri različnih tenzijah vodnega stolpca. Odkar je Bunt leta 1961 objavil vodno-zadrževalne krivulje za rastne substrate, si znanstveniki prizadevajo določiti koristnost teh krivulj pri razlaganju rasti rastlin. De Boodt in sod. (1974) so te krivulje uporabili za opis različnih rastnih substratov. Opisali so določena območja na krivulji s silo, s katero je tedaj vezana voda v rastnem substratu, in določili območje zraka (0 do 1 kPa), EAW (1 do 5 kPa), WBC (5 do 10 kPa), AW (1 do 10 kPa).

Vodno-zadrževalne krivulje za vse obravnavane rastne substrate imajo podobno obliko. Rastni substrati, ki jim je bil dodan mikronski zeolit, imajo večji volumen vode kot pa tisti, ki jim je bil dodan granuliran zeolit preko celotnega merjenega območja vodnega potenciala. Delovna hipoteza, da bodo rastni substrati z dodatkom mikronskih zeolitnih delcev zadržali več vode v merjenem območju vodnega potenciala kot rastni substrati z dodatkom granuliranega zeolita, je glede na rezultate meritev potrjena. Rastni substrati z dodatkom mikronskega zeolita imajo krivuljo podobno kontrolnemu rastnemu substratu. Ti rastni substrati pri tenziji 100 cm vodnega stolpca zadržijo več vode kot rastna substrata z dodatkom granuliranega zeolita in tržni rastni substrat J6 (slika 28). De Groot (1995) ugotavlja, da rastni substrati, ki imajo bolj strmo krivuljo, zadržijo več vode v območju EAW, kot rastni substrati z bolj položno krivuljo, kar velja tudi za obravnavane rastne substrate.

Zaradi podobnosti oblik vodno-zadrževalnih krivulj obravnavanih rastnih substratov tudi med vrednostmi za EAW, ne obstajajo statistično značilne razlike. Brückner (1997) ugotavlja, da je optimum za dober rastni substrat 24 - 40 vol. % EAW. Temu pogoju ustrezajo vsi obravnavani rastni substrati (slika 29). Najnižja vrednost za WBC ima rastni substrat kontrola ($H = K$), ki se statistično značilno razlikuje le od rastnega substrata Z40 z dodatkom največje količine mikronskega zeolita.

Martinez in sod. (1991) so ugotovili, da dodajanje glinenega materiala v rastne substrate povečuje vsebnost vode v območju EAW. Če izvzamemo tržni rastni substrat J6, nam dobljeni rezultati nakazujejo, da v našem primeru največ vode v tem območju zadržita

rastna substrata Z40 in Z50, sicer pa se vrednosti za obravnavane rastne substrate med seboj statistično značilno ne razlikujejo.

White je leta 1966 predstavil koncept kontejnerske kapacitete (KK), to je količina vode, ki se zadrži v lončku, napolnjenim z rastnim substratom po saturaciji in kasnejšem otekanju, in pred evaporacijo (Fonteno, 1989). Pri določanju in primerjavi kontejnerske kapacitete, določene po metodi Fontena in kontejnerske kapacitete, merjene po standardu EN 13 041, prihaja do precejšnjih razlik med obravnavanimi rastnimi substrati. Primerjava metod je pokazala, da rastni substrati, ki smo jim merili kontejnersko kapaciteto po metodi Fontena, na splošno zadržijo manj vode kot pri enakem vodnem potencialu na zaboju s peskom, sta pa varianca in standardi odklon po metodi Fontena manjša kot pri merjenju kontejnerske kapacitete po standardu EN 13 041. Na rezultate meritev po metodi Fonteno močno vpliva velikost in premer lončka (Fonteno, 1996). Na nekonsistentnost med različnimi metodami merjenja kontejnerske kapacitete sta opozarjala Spomer (1974) in Fonteno (1996), kar se je za resnično izkazalo tudi v naši raziskavi. Največja enotnost med metodama je ugotovljena za rastni substrat Z50 z dodatkom granuliranega zeolita in H = K rastni substrat (slika 40).

Fonteno (1989) je v svojih raziskavah zajel pet naključnih tržnih rastnih substratov in ugotovil, da je povprečna vrednost kontejnerske kapacitete, merjene po metodi Fonteno, pri lončkih višine 10 cm znašala 70 vol. % vode. V naši raziskavi so bile povprečne vrednosti nekoliko višje.

Kemijske analize rastnih substratov so bile izvedene po evropskih standardih, še preden smo jim dodali počasi topna gnojila (SRF) in gnojila s kontroliranim sproščanjem (CRF). V obravnavanih rastnih substratih lahko opazimo, da na vrednost pH vpliva količina dodanega zeolita. Rastna substrata z višjo količino dodanega zeolita (Z50 in Z150) imata primerno vrednost pH, zato jima ni potrebno dodajati apnenca za uravnavanje vrednosti pH. Vrednosti pH ostalih rastnih substratov so pod tem idealnim območjem, še najbolj se mu približa rastni substrat Z50 (5.3) (preglednica 21, slika 31).

Priporočena vrednost pH za gojenje pelargonij se nahaja v območju med 5.5 in 6.5 (Maatsch in sod., 1997). Temu pogoju v našem primeru ustrežata rastna substrata Z150 z dodatkom največje količine granuliranega zeolita in tržni rastni substrat J6. Manjša vrednost pH, določena v rastnih substratih Z30 in Z40, bi bila škodljiva le v primeru, ko bi uporabili šoto s presežkom železa in bi se pojavila toksičnost zaradi tega elementa (Armitage in Kaczperski, 1992; Grantzau 2004; Wik in sod., 2006).

Nizko vsebnost fosforja in kalija, ki je bila določena v vseh obravnavanih rastnih substratih (izjema je v tem primeru tržni rastni substrat J6, ki je že imel dodana počasi topna gnojila), bi morda lahko razložili z dejstvom, da so bila merjenja opravljena pred dodajanjem gnojil. Relativno visoka vsebnost dušika se lahko pojavlja zaradi dodatka fenolne smole kot ene od sestavin rastnih substratov, ki lahko sprošča dušik.

Količina magnezija v rastnih substratih narašča s količino dodanega zeolita. Tako so višje vrednosti določene za rastna substrata z granuliranim zeolitom.

Sestava rastnih substratov je imela učinek na rast rastlin. Povprečna višina, ki so jo dosegle rastline, se med obravnavanimi rastnimi substrati ni statistično značilno razlikovala.

Največjo višino so dosegle rastline iz kontrolnega rastnega substrata ($H = K$) in tržnega rastnega substrata J6 (slika 35).

Rastline iz rastnega substrata Z30 z dodatkom mikronskega zeolita so dosegle statistično značilno največjo širino. Tudi rastline iz drugih rastnih substratov z dodatkom zeolita (Z40, Z50) so bile glede tega parametra boljše od kontrole ($H = K$) in tržnega rastnega substrata (J6). Rastline iz rastnega substrata Z150 so imele statistično značilno manjši premer kot rastline iz ostalih obravnavanih rastnih substratov (slika 36).

Povprečne dolžine korenin se med obravnavanimi rastnimi substrati statistično značilno ne razlikujejo, smo pa izmerili, da so največjo dolžino razvile korenine iz rastnega substrata Z40 z največjo dodano količino mikronskega zeolita, sledijo mu rastline iz rastnega substrata Z50 z dodanim granuliranim zeolitom (slika 37), kar pomeni da dodatek zeolita stimulatивно vpliva na razvoj koreninskega sistema rastlin. Korenine rastlin so v vseh rastnih substratih prerasle lončke in razvile močan spodnji vened, bile so bele barve.

Največ listov so proizvedle rastline iz rastnega substrata Z40 z največjo količino mikronskega zeolita in najmanj v rastnih substratih Z150 in kontrola ($H = K$) (slika 38). Ravno obratno so statistično značilno največ cvetov proizvedle rastline iz rastnih substratov Z150 in kontrola ($H = K$). Statistično značilno se po številu cvetov med seboj ne razlikujejo rastni substrati z mikronskim zeolitom (Z30, Z40) in rastni substrat z manjšo količino granuliranega zeolita (Z50).

Največje razlike so bile ugotovljene med svežimi masami rastlin iz rastnih substratov Z30 in Z40 na eni strani in Z50 ter Z150 na drugi strani. Rastline iz rastnih substratov Z30 in Z40 ter kontrola ($H = K$) so dosegle statistično značilno večjo svežo maso kot rastline iz rastnih substratov Z50 in Z150 (slika 41). Povprečna masa nadzemnega dela rastlin iz rastnih substratov z mikronskim zeolitom (Z30 in Z40) je bila statistično značilno večja kot v rastnih substratih z granuliranim zeolitom (Z50, Z150) in tržnem rastnem substratu J6. Statistično značilno največjo koreninsko maso so dosegle rastline iz tržnega rastnega substrata J6, najmanjšo pa rastline iz rastnega substrata z granuliranim zeolitom Z150. Povprečne mase korenin so med ostalimi rastnimi substrati med seboj primerljive. Največje razmerje med povprečno maso nadzemnega dela in povprečno maso korenin je doseženo za rastni substrat z največjo količino granuliranega zeolita (Z150), najmanjše v tržnem rastnem substratu J6. Razmerja za ostale rastne substrate so med seboj primerljiva, (slika 40). Tudi rezultati razmerja med povprečno suho maso nadzemnega dela rastlin in povprečno suho maso korenin dajejo podobno sliko (slika 42).

Glede na dobljene rezultate rastnega poskusa lahko zaključimo, da je bila zaznana statistično značilno manjša kakovost rastlin le v rastnem substratu z največjo dodano količino granuliranega zeolita Z150. Boljše rezultate so pokazale rastline iz rastnega substrata z dodano manjšo količino granuliranega zeolita Z50. Pomembno vprašanje, ki se na tem mestu zastavlja je, zakaj so rastline iz rastnih substratov z mikronskim zeolitom (Z30, Z40) dale boljše rezultate kot rastline iz rastnih substratov z granuliranim zeolitom (Z50, Z150). Če pogledamo fizikalne parametre, kot je EAW, med rastnimi substrati ni bilo statistično značilnih razlik, je pa opaziti večjo sposobnost za zadrževanje vode v rastnih substratih z mikronskim zeolitom (Z30, Z40) preko celotnega območja merjenja

vodnega potenciala (slika 27), kar bi lahko vplivalo na boljšo rast rastlin v teh rastnih substratih.

V obravnavanih rastnih substratih smo opazili, da je dodatek zeolita vplival na vrednosti pH rastnih substratov. Rastna substrata, ki sta vsebovala večje količine zeolita (Z50, Z150), sta imela primerne vrednosti pH za gojenje rastlin, zato dodajanje apnenca (apnene moke) ni bilo potrebno. Rezultati potrjujejo dejstvo, da je možna uporaba zeolita namesto apnenca za uravnavanje vrednosti pH rastnih substratov, kar sta že tudi ugotovila Bugbee in Frink (1983).

Najboljše rezultate rastnega poskusa sta dosegla rastna substrata z mikronskim zeolitom (Z30, Z40), vendar je poskus pokazal, da je možna tudi uporaba granuliranega, cenejšega zeolita, vendar v manjših količinah. Rastni substrat Z50 z manjšo količino dodanega zeolita je pokazal dobre rezultate glede EAW in AW ter KK, merjene po Fonteno.

5.2 SKLEPI

Ob zaključku naloge smo prišli do naslednjih sklepov:

- V območju EAW ki je merilo za to, kako dobro rastni substrat zadržuje vodo, imajo vsi obravnavani rastni substrati optimalne vrednosti, kar pomeni, da so primerni za vrtnarsko proizvodnjo.
- Pri tenziji 100 cm vodnega stolpca največ vode zadrži kontrolni tržni rastni substrat, ki mu sledita rastna substrata z dodatkom mikronskega zeolita (Z30, Z40). Najmanj vode zadržita rastna substrata z dodatkom granuliranega zeolita (Z50, Z150).
- Iz vodno-zadrževalne krivulje lahko ugotovimo, da rastna substrata z dodatkom mikronskega zeolita (Z30, Z40) zadržita več vode kot rastna substrata z dodatkom granuliranega zeolita (Z50, Z150) preko celotnega merjenega območja vodnega potenciala in sta primerljiva s tržnima rastnima substratoma.
- Volumni zraka v obravnavanih rastnih substratih so nižji, kot je priporočeno. To sicer ne bi smela biti velika pomanjkljivost glede na to, da lahko namakanje rastnih substratov ves čas nadzorujemo.
- Rastni substrat z največjo količino dodanega granuliranega zeolita (Z150) ima idealno vrednost pH za gojenje okrasnih rastlin. Ostali rastni substrati imajo vrednosti takoj pod tem idealnim območjem.
- Med različnima metodama (Fonteno, EN 13 041) merjenja kontejnerske kapacitete loncev za zadrževanje vode smo zaznali precejšnjo nekonsistentnost rezultatov. Primerjava metod je pokazala, da rastni substrati, ki smo jim merili kontejnersko kapaciteto po metodi Fontena, na splošno zadržijo manj vode kot pri enakem vodnem potencialu na zaboju s peskom, sta pa varianca in standardi odklon po metodi Fontena manjša kot pri merjenju kontejnerske kapacitete po EN 13 041. Največja enotnost med metodama je ugotovljena za rastni substrat Z50 z dodatkom granuliranega zeolita in kontrolni rastni substrat.
- Najboljše rezultate kakovosti so pokazale rastline iz rastnih substratov z mikronskimi zeoliti (Z30, Z40). Rastline iz rastnega substrata (Z50) z manjšim deležem granuliranega zeolita so pokazale nekoliko slabšo kakovost, najslabša kakovost rastlin je bila ugotovljena v rastnem substratu z največjo dodano količino granuliranega zeolita (Z150), kar pomeni, da bi pogojno lahko zagotovili primerno kakovost rastlin, če bi v rastne substrate dodajali granulirane zeolite v manjših deležih.

6 POVZETEK (SUMMARY)

6.1 POVZETEK

V današnjem času je cilj spreminjanja in optimiranja lastnosti rastnih substratov za okrasne rastline zadržati več vode in hranil v rastnih substratih ter hkrati zagotoviti optimalno kakovost rastlin, ki v njih uspevajo. Področje proizvodnje kakovostnih rastnih substratov za okrasne rastline je v Sloveniji še vedno premalo raziskano, čeprav imamo na razpolago lokalno dostopne surovine, ki jih lahko v določenem deležu uvajamo v rastne substrate.

Namen zastavljene naloge je bil primerjati učinek granuliranih in mikronskih zeolitnih delcev na fizikalne in kemijske parametre šotnih rastnih substratov na rast pelargonij *Pelargonium zonale* L. 'Esprit' ter jih po kakovosti primerjati z rastnimi substrati, ki na trgu že obstajajo. Želeli smo ugotoviti tudi, ali lahko pripravimo kakovosten rastni substrat za okrasne rastline tudi z dodatkom precej cenejšega granuliranega zeolita v manjših in večjih količinah, 50 kg/m³ in 150 kg/m³.

Postavili smo dve delovni hipotezi. Želeli smo dokazati, da rastni substrati z dodatkom zeolita v območju težko dostopne vode pri tenziji 100 cm vodnega stolpca zadržijo več vode kot primerjalna tržna rastna substrata. V drugi hipotezi smo predvidevali, da bodo rastni substrati z dodatkom mikronskih zeolitov zadržali več vode v merjenem območju vodnega potenciala (-0,25 kPa do -10 kPa) kot rastni substrati z dodatkom granuliranega zeolita.

Zeolitni delci in druge mineralne sestavine se v rastnih substratih uporabljajo za spreminjanje njihovih fizikalnih in kemijskih lastnosti. Zeoliti so kristalinski, hidratirani alumosilikati. Imajo izredno porozno skeletno, tridimenzionalno strukturo, ki sestoji iz medsebojno povezanih kanalčkov in votlinic, vzdolž katerih potekajo procesi ionske izmenjave, adsorpcije in hidratizacije. Imajo sposobnost reverzibilnega sprejemanja in oddajanja vode in različnih kationov brez spremembe v kristalni rešetki. Zaradi velike kationske izmenjalne kapacitete in hidratacijskih lastnosti so zeoliti deležni velike pozornosti tudi na področju sestavljanja rastnih substratov za okrasne rastline. Proizvajalci rastnih substratov zeolitne delce dodajajo rastnim substratom namesto gline zaradi njihovih dobrih lastnosti pri zadrževanju vode in rastlinskih hranil in tudi zaradi zagotavljanja primerne vrednosti pH. V Sloveniji imamo nahajališča zeolitnega tufa v okolici Celja, zato smo v raziskavi uporabili zeolitni tuf z območja Zaloških Goric.

Raziskava je bila v grobem razdeljena na tri dele. V prvem delu smo ugotavljali, kako dobro rastni substrati z različnimi deleži dodanih zeolitnih delcev zadržujejo vodo, kako hitro se osušijo, kakšna je najbolj primerna višina in čas namakanja, kakšna gostota polnjenja lončka z rastnim substratom je primernejša. Na podlagi rezultatov prvega poskusa smo izbrali dva rastna substrata z dodatkom mikronskega zeolita v količinah 30 kg/m³ in 40 kg/m³, dva rastna substrata z granuliranim zeolitom v količinah 50 kg/m³ in 150 kg/m³, dva tržna rastna substrata, kontrola (H = K) in Jongkind (J6) in jih med seboj primerjali v nadaljevanju raziskave.

V drugem delu raziskave smo določali fizikalne in kemijske parametre obravnavanih rastnih substratov po evropskih standardih. Vodno-zadrževalne krivulje so bile določene na

zaboju s peskom v območju tenzije 2,5 cm vodnega stolpca (-0,25 kPa) do tenzije 100 cm vodnega stolpca (-10 kPa).

V zadnjem delu raziskave smo postavili rastni poskus s tržno najbolj zanimivimi okrasnimi rastlinami pelargonijami sorta 'Esprit' (*Pelargonium zonale* L.) in ugotavljali parametre kakovosti rastlin med obravnavanimi rastnimi substrati. Rastline so rastle v rastlinjaku do tehnološke zrelosti, namakali smo jih z namakalnim sistemom poplavnih miz. Ob koncu poskusa smo določali višino, širino rastlin, svežo in suho maso nadzemnega in podzemnega dela rastlin, število listov, dolžino korenin, število cvetov.

Ugotovili smo, da imajo vsi obravnavani rastni substrati dobre fizikalne lastnosti za rast rastlin glede poroznosti, EAW in vsebnosti zraka. Največ vode pri tenziji 100 cm vodnega stolpca zadržijo rastni substrat H = K in rastna substrata z dodatkom mikronskega zeolita, Z30 in Z40, ki se med seboj statistično značilno ne razlikujejo, najmanj pa rastna substrata z dodatkom granuliranega zeolita, Z50 in Z150. Delovna hipoteza, da bodo rastni substrati z dodatkom zeolitnih delcev v območju težko dostopne vode pri tenziji 100 cm vodnega stolpca zadržali več vode kot primerjalna tržna rastna substrata, ni potrjena.

Vodno-zadrževalne krivulje za vse obravnavane rastne substrate imajo podobno obliko. Rastni substrati, ki jim je bil dodan mikronski zeolit, imajo večji volumen vode kot pa tisti, ki jim je bil dodan granuliran zeolit preko celotnega merjenega območja vodnega potenciala. Delovna hipoteza, da bodo rastni substrati z dodatkom mikronskih zeolitnih delcev zadržali več vode v merjenem območju vodnega potenciala kot rastni substrati z dodatkom granuliranega zeolita je, glede na rezultate meritev, potrjena. Rastni substrati z dodatkom mikronskega zeolita imajo krivuljo podobno kontrolnemu rastnemu substratu. Rezultati so pokazali, da je možna uporaba zeolita namesto apnene moke za zagotavljanje ustrezne vrednosti pH za optimalno rast rastlin.

Rastni poskus je pokazal, da je najboljša kakovost rastlin dosežena pri rastnih substratih z dodatkom mikronskega zeolita, še posebej v količini 40 kg/m³, saj so rastline pokazale boljšo kakovost kot pri primerjalnih tržnih rastnih substratih. Poskus je pokazal, da lahko gojimo kakovostne rastline tudi v rastnih substratih z dodatkom cenejšega granuliranega zeolita, vendar le v količinah 50 kg/m³ ali manj. Naj navedemo, da se v Sloveniji giblje cena mikronskega zeolita okrog 150 eur/m³ in granuliranega okrog 20 eur/m³. Rastni substrat z dodatkom 50 kg/m³ granuliranega zeolita ima dobre fizikalne lastnosti glede EAW in vsebnosti zraka. Nekoliko nižjo sposobnost za zadrževanje vode v območju dostopne vode za rastline med tenzijama 10 cm in 100 cm vodnega stolpca (-1 kPa in -10 kPa) bi lahko nadoknadili z bolj pogostim zalivanjem, ki ga sistem zalivanja z namakalnimi mizami tudi omogoča.

Ugotovili smo, da imajo zeolitni delci, tako mikronski kot cenejši granulirani, pozitiven učinek na zadrževanje in s tem manjšo porabo vode kot tudi na zadrževanje hranil, saj smo gnojila s počasi in nadzorovanim sproščanjem dodali le na začetku rastne dobe. Rastline iz rastnih substratov z mikronskim zeolitom so v nekaterih merjenih parametrih pokazale boljšo kakovost kot rastline iz tržnih rastnih substratov. Na podlagi vseh ugotovitev menimo, da bi uvajanje v Sloveniji proizvedenih rastnih substratov z lokalno dostopnimi zeolitnimi delci lahko imelo pozitiven učinek na ekonomičnost vrtnarske pridelave ter tudi na zmanjšanje onesnaževanja vodnih virov z izpiranjem hranil v podtalne vode.

6.2 SUMMARY

Nowadays the aim of the changing and optimizing the properties of the growing media for ornamental plants is intensifying and retaining more water and nutrients and ensuring optimum quality of the final product at the same time. The area of high quality growing media for ornamental plants production in Slovenia has not been researched enough yet, although there are locally available raw materials that can be introduced into the growing media.

The aim of the work was to compare the effect of granulated and powdered zeolites on the physical and chemical properties of peat based growing media and on the growth of *Pelargonium zonale* L. 'Esprit', to compare these zeolite amended growing media with commercial growing media used in Slovenian horticultural enterprises for growing Pelargoniums and other balcony plants. Our interest was to find out whether it was possible to prepare quality peat based growing medium amended with the cheapest granulated zeolite in both low and high quantities, 50 kg/m³ and 150 kg/m³. There were two hypotheses introduced. With the first we wanted to prove that growing media with the addition of zeolite in the area at 100 cm water column tension, retain more water than comparative market growing media. With the second hypothesis, we predicted that the growing media amended with powdered zeolites retain more water in the measured range of water potential (-0.25 kPa to -10 kPa) as growing media amended with granular zeolite.

Zeolites and other mineral components are used as additives to growing media for changing their chemical and physical properties. Zeolites are crystalline, hydrated aluminosilicates. They have extremely porous skeleton three-dimensional structure with cavities and channels along which are made ion-exchange processes, adsorption and hydrating. They are able to lose and gain water reversibly and to exchange weakly bonded extra framework cations, both without a change in the crystal structure. Due to its high cation exchange capacity and hydration properties zeolites, especially clinoptilolite, received much attention in the field of growing media for ornamental plants. Producers of growing media often tend to add zeolites to peat based growing media instead of clay and also to use them for adjusting the pH value, instead of limestone. In Slovenia, there are deposits of zeolite tuff near Celje, so we used zeolitic tuff from the area of Zaloške Gorice in our research.

The study was roughly divided into three parts. In the first part of the study we determined how growing media with different proportions of added zeolite particles retain water, how fast they dry, what is the most suitable height for watering the pots and time of watering, what densities filling pot with growing medium is preferred. Based on the results of the first part of the study we have chosen two growing media with the addition of powdered zeolite in quantities of 30 kg/m³ and 40 kg/m³, two growing media with granulated zeolite in quantities of 50 kg/m³ and 150 kg/m³, two commercial growing media control (H = K) and Jongkind (J6) and compare them with each other in a continuation of the study. In the second part of the study we determined physical and chemical parameters of growing media according to European standards. Water-retention curves were determined in a sand box in the range of 25cm (-0.25 kPa) to 100 cm (-10 kPa) water column tension.

In the last part of the study, we set up a growing experiment with market most interesting ornamental plants Pelargoniums 'Esprit' (*Pelargonium zonale*). We tried to find out different quality parameters of the plants among the tested growing media. The plants were grown in the greenhouse until their technological maturity, irrigated by an ebb-flow irrigation system. At the end of the experiment, the plants were evaluated for height, diameter, fresh and dry weight of above ground part and roots, the number of leaves per plant, the root length, the number of flowers per plant.

All the growing media tested had good physical properties for plant growth in the terms of total pore space, EAW and air pore space. Most of the water at 100 cm water column tension kept growing medium H = K and growing media amended with powdered zeolite, Z30 and Z40, which do not statistically significantly differ from each other, the least water retain growing media amended with granulated zeolite, Z50 and Z150. Working hypothesis that the growing media with the addition of zeolite particles at 100 cm water column tension retained more water than comparative market growing medium could not be confirmed. The water-retention curves for all the tested growing media have a similar shape. Growing media amended with powdered zeolites had higher water volume than growing media with granulated zeolites through the whole measured water potential range.

The working hypothesis that the growing media amended with powdered zeolite will retain more water in the measured range of water potential as growing media amended with granulated zeolite, is confirmed according to the results of measurements. Growing media with powdered zeolite have similar water retention curve than the control growing medium. The data confirmed that it is possible to use zeolite instead of limestone for setting the pH value of the growing media. The best growing results were obtained in growing media with powdered zeolite, particularly in the quantity of 40 kg/m³, as the plants showed better quality than the plants from comparative market growing media. The study also showed that it is possible to use cheaper granulated zeolite but only at a low rate, 50 kg/m³ or even less. In Slovenia, for example, the prices for powdered and granulated zeolite are 150 and 20 eur/m³, respectively. The growing media with 50 kg/m³ had good physical properties in terms of EAW and air pore space. The slightly lower water holding ability in the water potential range from 10 cm (-1 kPa) and 100 cm (-10 kPa) water column tension can be compensated by more frequent irrigation that is possible with an eb-flow irrigation system.

We found out that the zeolite, such as powdered or cheaper granulated had a positive impact on the retention and thereby reduced water consumption as well as the retention of nutrients. The slow release and controlled release fertilizers were added only at the beginning of the growing season. Plants from growing media with powdered zeolite have shown even better quality in some of the measured parameters than plants from market growing media. The introduction of Slovenia's growing media produced by locally accessible zeolite could have a positive impact on the economics of horticultural production as well as reduction of pollution of water resources by leaching of nutrients to groundwater.

7 VIRI

- Aendekerck T. G. L., Cevat H., Dolmans N., van Elderen C., Kipp J.A., de Kreij C., Sonneveld C., Verhagen J. B. G. M., Wever G. 2000. International substrate manual. Naaldwijk, Boomteelt Praktijkonderzoek: 94 str.
- Argo W.R. 1998. Root medium physical properties. Hort Technology, 8, 4: 481-485
- Armitage A. M., Kaczperski M. 1992. Seed-propagated geraniums and regal geraniums. Portland, Timber Press, Oregon: 282 str.
- Baninasab B. 2009. Effects of the application of natural zeolite on the growth and nutrient status of radish (*Raphanus sativus* L.). Journal of Horticultural Science Biotechnology, 84: 13-16
- Blok C., Kreij C., Baas R., Wever G. 2008. Analytical methods used in soilless cultivation. V: Soilless culture. Theory and practice. Raviv M. in Lieth H. J.(ur.). Elsevier: 245-286
- Bodman K., Sharman Dr. K.V. 1993. Container media management. Cleveland, Queensland of primary industries: 40 str.
- Bohne H., Wrede A. 2005. Investigations of physical properties of growing substrates. European Journal of Horticultural Science, 70: 1-6
- Bos E.J.F., Keijzer R.A.W., van Schie W.L., Verhagen J.B.G.M., Zevenhoven M.A. 2003. Potting soil and substrates. Foundation RHP. Naaldwijk, Boomteelt Praktijkonderzoek: 114 str.
- Brückner U. 1997. Physical properties of different potting media and substrate mixtures - especially air-and water capacity. Acta Horticulturae, 450: 263 - 270
- Bugbee G.J., Frink C.R. 1983. Quality of potting soils. New Haven, The Connecticut Agricultural Experiment Station: 812 str.
- Buwalda F., Frenck R. 1995. Ebb and flow cultivation of chrysanthemum cuttings in different growing media. Acta Horticulturae, 401: 193-196
- Cativallo C. 1991. Physical parameters in commercial substrates and their relationships. Acta Horticulturae, 294: 183-195
- Cativallo C. 1995. Use of substrates with zeolites for seedling vegetables and pot lant production. Acta Horticulturae, 401: 251-257
- Challinor P.F., Le Pivert J. M., Fuller M.P. 1995. The production of standard carnations on nutrient loaded zeolite. Acta Horticulturae, 401: 293-299
- Cooper B.J. 2001. Standardisation of substrate analysis – Activities by CEN. Acta Horticulturae, 548: 643-645
- Cox D. 2004. Subirrigation for greenhouse crops. Departure of plant and soil sciences, Amherst, University of Massachusetts: 51 str.

- Čufer T. 2005. "Površinsko namakanje oziroma zalivanje." tomaz@humko.si (osebni vir, 8.julij, 2005)
- De Boodt M., Verdonck O., Cappaert I. 1974: Method for measuring water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae*, 37: 2054–2062
- De Groot J. F. 1995. Using of growing substrates with zeolites for seedling vegetables and pot plant production. *Acta Horticulturae*, 401: 293-299
- De Kreij C., Van Elderen C. W., Meinken E., Fischer P. 1995. Extraction methods for chemical quality control mineral substrates. *Acta Horticulturae*, 401: 61-69
- De Kreij C., Van Elderen C.W., Wever G. 2001. Extraction of growing media regarding its water holding capacity and bulk density, *Acta Horticulturae*, 548: 409-414
- Dole J.M. 2001. Irrigation Systems.V: Plant root zone management. Whipker B.E., Cavins T.J., Gibson J.L., Fonteno W.C., Nelson P. V., Pitchay D. S., Bailey D. A. (eds.). State University: 13-18
- Držaj B. 1990. Bentoniti na Slovenskem. Ljubljana. Inštitut Jožef Stefan Ljubljana: 140 str.
- Elsner W., Loeser H., Biermann W., Deiser E., Krebs E.K. 1995. Gärtner - Handbuch Pelargonien Braunschweig, Bernhard Thalacker Verlag: 246 str.
- EN 13 037. Soil improvers and growing media – determination of pH. CEN Brussels. 1999: 5 str.
- EN 13 038. Soil improvers and growing media – determination of electrical conductivity. CEN Brussels. 1999: 4 str.
- EN 13 040. Soil improvers and growing media – sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density. CEN Brussels. 1999: 8 str.
- EN 13 041. Soil improvers and growing media – determination of physical properties dry bulk density, air volume, water volume, shrinkage value and total pore space. CEN Brussels. 1999: 10 str.
- EN 13 651. Soil improvers and growing media – extraction of calcium chloride/DTPA (CAT) soluble nutrients. CEN Brussels. 1999: 5 str.
- Fonteno W.C. 1989. An approach to modeling air and water status of horticultural substrates. *Acta Horticulturae*, 238: 67-74
- Fonteno W.C. 1993. Problems & consideration in determining physical properties of horticultural substrates. *Acta Horticulturae*, 342: 197-204
- Fonteno W.C. 1996: Growing media: Types and physical/chemical properties.V: Water, media and nutrition for greenhouse crops. D. W. (ed.): Batavia, Illinois, Ball Publishing: 93–122

- Fonteno W.C., Nelson P.V. 1990. Physical properties of and plant responses to rockwool-amended media. *Journal American Society Horticultural Science*, 115: 375-381
- Gabriëls R., Verdonck O. 1991. Physical and chemical characterization of plant substrates: towards a european standardization. *Horticultural substrate and their analysis. Acta Horticulturae*, 294: 249-259
- Gabriëls R. 1995. Standardization of growing media analysis and evaluation: CEN/ISO/ISHS. *Acta Horticulturae*, 401: 555-557
- Giacomelli G.A. 1998. Monitoring plant water requirements within integrated crop production systems. *Acta Horticulturae*, 458: 21-27
- Grantzau E. 2004. Was tun bei viel Eisen. *Deutscher Gartenbau*, 58: 16
- Gül A., Eroglu F., Öztan F., Tepecik M. 2007. Effect of growing media on plant growth and nutrient status of crisp - head lettuce. *Acta Horticulturae*, 729: 367-371
- Heiskanen J. 1997. Air-filled porosity of eight growing media based on sphagnum peat during drying from container capacity. 1997. *Acta Horticulturae*, 450: 277-286
- Horvat A. 2008. "Gline iz Kuharjevega boršta" aleksander.horvat@ntf.uni-lj.si (osebni vir, 13.10.2008)
- Kafkafi U. 2008. Functions of the root system. V: *Soilless culture. Theory and practice*. Raviv M. in Lieth H. J (ur.). Elsevier: 13-40
- Kivinen E. 1980. Proposal for a general classification of virgin peatlands. V: *Proceedings 6th International peat congress, Duluth*: 47-51
- Kočevar H., Vidic J. N. 1998. Izbrana poglavja iz osnov geologije. Ljubljana, BF Oddelek za agronomijo: 156 str.
- Kolar M. 2007. Sestava rastnih substratov. *Moj mali svet*, 39: 26-28
- Lebedev G. V. 1998. Cultivation of plants under water resources deficiency. *Acta Horticulturae*, 458: 29-32
- Leštan D. 2003. Ekopedologija - delovno gradivo. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 267 str.
- Lieth J. H., Oki L. R. 2008. Irrigation in soilless production. V: *Soilless culture Theory and Practice*. Raviv M. in Lieth H. J. (ur.). Elsevier: 117-155
- Lorenzo P., Medrano E., Sanchez-Guerrero M. C. 1998. Greenhouse crop transpiration: an implement to soilless irrigation management. *Acta Horticulturae*, 458: 131-135
- Maatsch R., Weise K. -H., Ganslmeier H. 1997. *Pelargonien*. Berlin and Hamburg, Verlag Paul Parey: 213 str.

- Martinez F. X., Bures S., Blanca F., Yuste M. P., Valero J. 1991. Experimental and theoretical air/water ratios of different substrate at container capacity. Horticultural substrate and their analysis. *Acta Horticulturae*, 294: 241-248
- Martinez F. X. 1991. Experimental and theoretical air/water ratios of different substrate mixtures at container capacity. *Acta Horticulturae*, 294: 241-247
- Mumpton F. A. 1999: La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings Natland Academic Science USA*, 96: 3463-3470
- Osterc G. 2013: "Pelargonije razmnožujemo s potaknjenci..." gregor.osterc@bf.uni-lj.si (osebni vir, 29. maj 2013)
- Otten W. 1994. Dynamics of water and nutrients for potted plants induced by a flooded bench fertigation system: experiments and simulation. Doctoral thesis. Wageningen, Agricultural University Wageningen: 115 str.
- Papadopoulos A. P., Tan C.S. 1991. Irrigation of greenhouse tomatoes grown in 'Harrow' peat-bags. *Canadian Journal of Plant Science*, 71: 947-949
- Pintar M. 2003. Osnove namakanja s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v severovzhodni Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 49 str.
- Podgornik – Reš R. 2000. Okenske in balkonske rastline. 1. izdaja. Humko Bled d.o.o.: 204 str.
- Polat E., Karaca M., Demir H., Onus N. 2004: Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal Fruit Ornamental Plant Research* 12, 183-189
- Qian R. 2011. Yinuam Molecular Sieve.
http://www.molecularsieve.org/Zeolite_Molecular_Sieve.htm (31. avgust 2012)
- Raviv M., Lieth H. J. 2008. Soilless culture Theory and Practice. Elsevier: 571 str.
- Raviv M., Wallach R., Blom T. J. 2004. The effect of physical properties of soilless media on plant performance - a review. *Acta Horticulturae*, 644: 251-259
- Reinikainen O. 2003. Peat as a Growing Medium in Horticulture. *The World of Horticulture*, 43, 4: 26-27
- Riviere L. M., Coulomb N., Morel P. 1995. The use of clay in organic substrates for pot plants. *Acta Horticulturae*, 410: 97-105
- Saarinen J. A. 1995. Peat substrate and self-regulating irrigation - an environmentally sound method. *Acta Horticulturae*, 401: 435-441
- Schwab G. O., Fangmeier D. D., Elliot W. J. 1996. Soil and water management systems. Toronto, John Wiley and Sons: 371 str.
- Sheldrake R. 1989. Tomato profits are in the bags. *American Vegetable Grower*, 37: 24-28

- Spomer L. A. 1974. Optimizing container soil amendment: the treshold proportion and prediction of porosity. *Hort Science*, 9: 532-533
- Stamatakis M., Koukouzas N., Vassilatos Ch., Samantouros K. 2001. The zeolites from evros region, northern greece: Potential use as cultivation substrate in hydroponics. *Acta Horticulturae*, 548: 93-103
- Strojny Z., Nowak J.S. 2004. Effect of different growing media on the growth of some bedding plants. *Acta Horticulturae*, 644: 115-122
- Šegula S. 2012. Model za oceno ekonomičnosti pridelave okrasnih rastlin na različnih območjih Slovenije. Doktorska disertacija, Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 177 str.
- Šiftar A. 2002. Okrasne rastline. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo, (zapiski s predavanj v študijskem letu 2002/2003)
- Taylor J. 1990. Pelargoniums for colour and variety. Wiltshire, The Crowood Press: 128 str.
- Verhagen J. B. G. M. 2004. Effectiveness of clay in peat based growing media. *Acta Horticulturae*, 644: 115-122
- Wever G. 1991. Guide values for physical properties of peat substrates. Horticultural substrate and their analysis. *Acta Horticulturae*, 294: 41-47
- Wever G., van Leeuwne A. A., van der Meer M. C. 1997. Saturation rate and hysteresis of substrates. *Acta Horticulturae*, 450: 287-295
- Whipker B. E. 2001. Ph and EC basics. V: Plant root zone management., Cavins T. J., Gibson J. L., Fonteno W. C., Nelson P. V., Pitchay D. S., Bailey D. A. (ur.). NC State University: 4-5
- Wik R. M., Fisher P. R., Kopsell D.A., Argo W. R. 2006. Iron form and concentration affect nutrition of container-grown pelargonium and calibrahua. *HortScience*, 41: 244-251
- Yeager T. H. 2004. Irrigation and fertilization for minimal environmental impact. *Acta Horticulturae*, 644: 29-35
- Žibrat D. 2009. "Kemijska, mineralna sestava, izmenjalna kapaciteta zeolitov iz Zaloških Goric." Žalec, Montana d.o.o. (osebni vir, september 2009)

ZAHVALA

Za strokovno usmerjanje, kritične pripombe in vsestransko pozitivno podporo v času podiplomskega študija se iskreno zahvaljujem mentorici prof. dr. Marini Pintar.

Prof. dr. Gregorju Ostercu hvala za učinkovito sodelovanje, natančen pregled naloge in utemeljene strokovne pripombe.

Hvala prof. dr. Martini Bavec za kritičen pregled naloge in prijazno strokovno sodelovanje.

Iskrena hvala Tomažu Čuferju za materialno podporo pri izvajanju vseh poskusov, inovativne ideje in koristne strokovne napotke kadarkoli.

Hvala dr. Františku Šrámeku in dr. Martinu Dubskýu, ker sta mi omogočila opravljanje dela doktorske naloge v njihovem laboratoriju na Češkem. Za veliko mero strokovnosti in potrpežljivosti pri pisanju znanstvenega članka res najlepša hvala.

Petru Korparju se zahvaljujem za pomoč v laboratoriju, Poloni Zupanc, Vesni Miličić in Mateju Jeraši za njihovo pomoč in učinkovito sodelovanje v rastlinjaku.

Hvala mami, hvala Jelka – pozorni bralki in lektorici besedila v slovenščini in angleščini.

Hvala moji družini – Andreju, Urhu in Binetu za veliko mero potrpežljivosti in podpore.

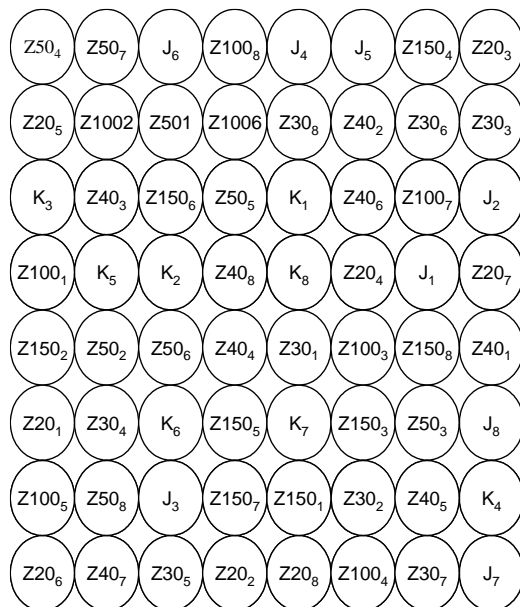
Hvala tudi vsem neimenovanim, ki ste verjeli vame in mi pomagali na številne načine.

Doktorat posvečam dragemu očetu in dragi Ruth, ki sta mi z veseljem pomagala ob vsaki uri dneva, pa se je njuna pot žal iztekla pred njegovim izidom.

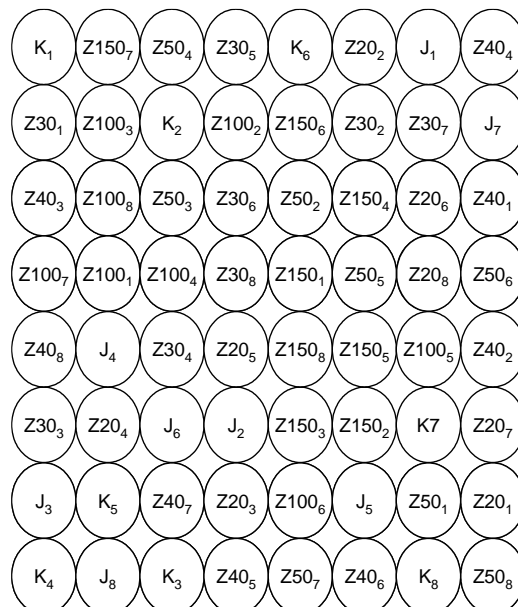
PRILOGA A

Shematski prikaz postavitve lončkov v obravnavanih serijah v prvem poskusu brez rastlin. V označuje višino namakanja ($v_1=4\text{cm}$, $v_2=2\text{cm}$) G označuje gostoto ($g_1 =$ normalna gostota, $g_2=20\%$ večja gostota) in T označuje čas namakanja ($t_1=5\text{min}$, $t_2=10\text{min}$, $t_3=30\text{min}$).

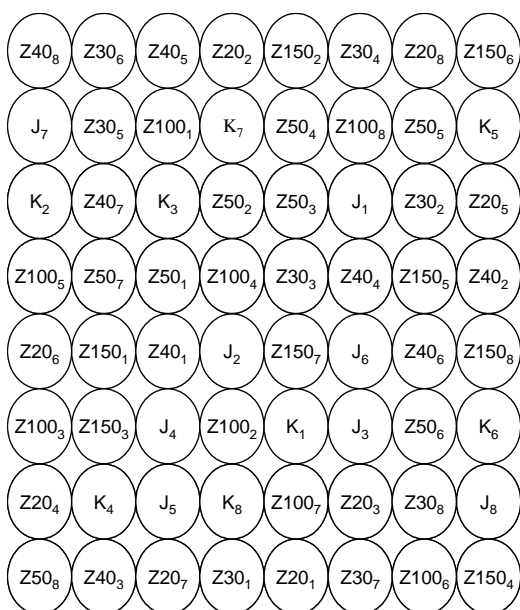
V1G1T1



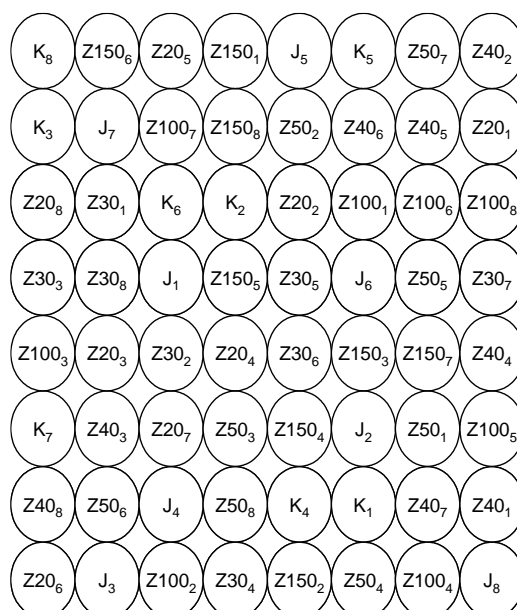
V1G2T1



V1G1T2

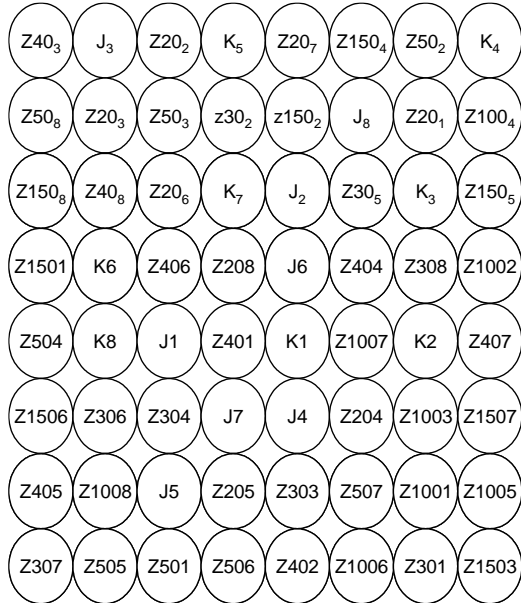


V1G2T2

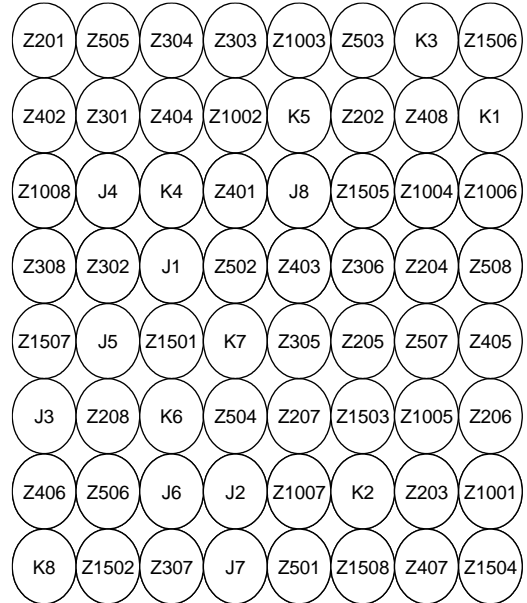


Nadaljevanje priloge A

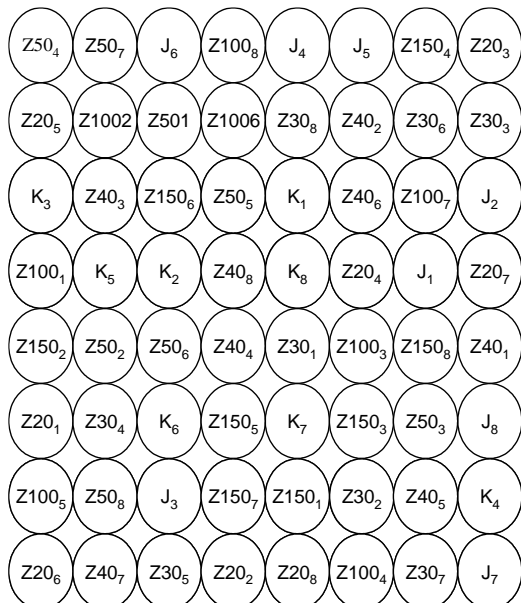
V1G1T3



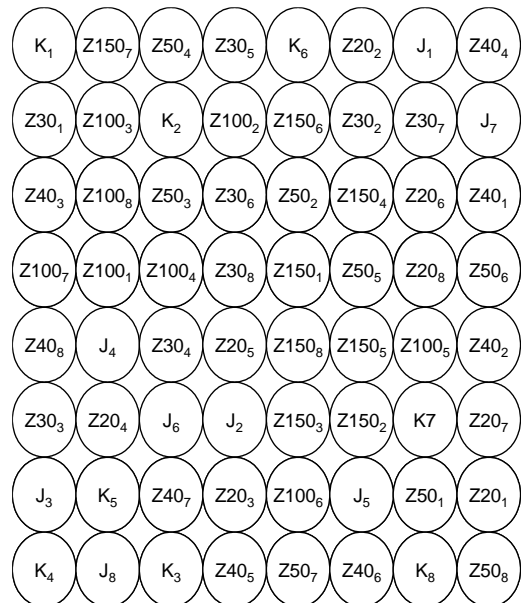
V1G2T3



V2G1T1

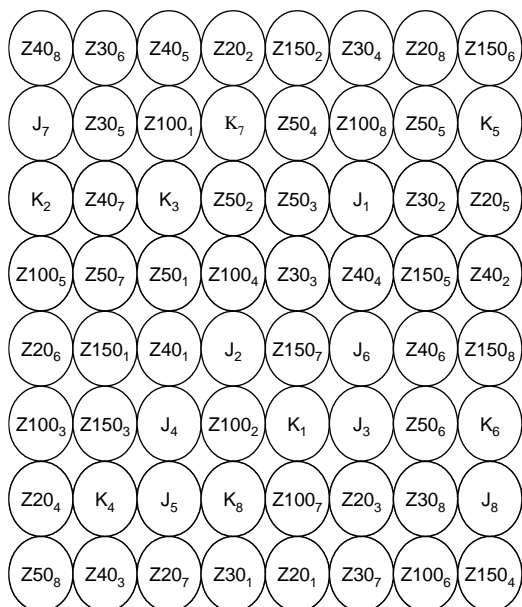


V2G2T1

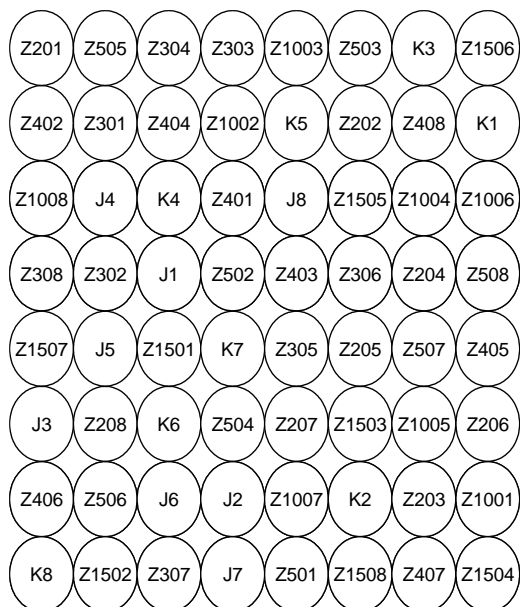


Nadaljevanje priloge A

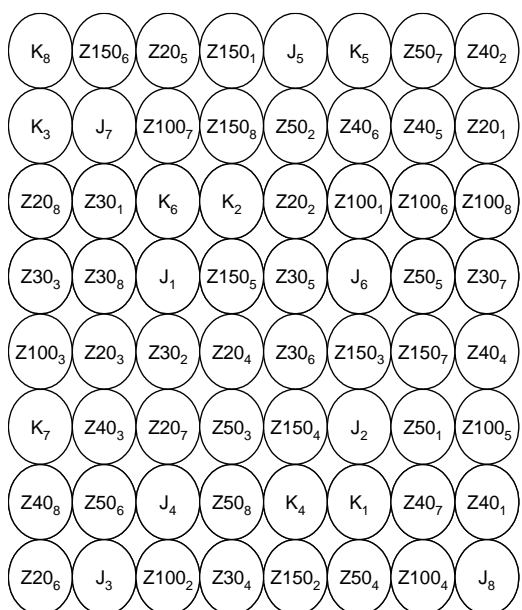
V2G1T2



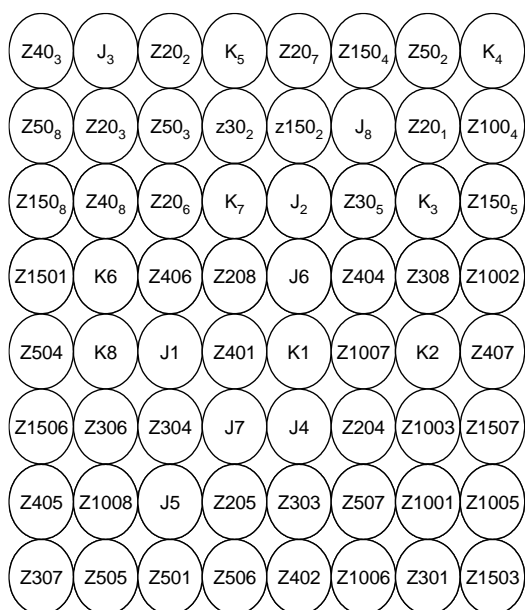
V2G2T3



V2G2T2



V2G1T3



PRILOGA B

Postavitev lončkov z rastlinami v rastlinjaku

| | | | | |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| Z404 | H1 | Z302 | Z305 | Z406 |
| Z508 | Z306 | Z4013 | Z5012 | Z503 |
| Z1508 | Z4011 | Z1507 | Z3015 | Z5011 |
| Z1501 | Z5013 | Z303 | Z15011 | H10 |
| Z304 | H2 | Z502 | Z4010 | Z15015 |
| Z504 | Z309 | Z15012 | H6 | Z15014 |
| H3 | Z4014 | Z3012 | Z509 | H12 |
| Z3013 | Z1504 | Z5010 | Z403 | Z506 |
| Z405 | H8 | H7 | H5 | Z1505 |
| Z307 | Z401 | Z409 | Z1502 | Z4012 |
| H13 | Z507 | Z15010 | Z4015 | Z505 |
| Z301 | Z15013 | Z3014 | Z402 | Z1506 |
| Z408 | Z308 | Z1503 | H14 | Z407 |
| Z5015 | Z501 | Z3010 | H11 | Z3011 |
| H9 | Z1509 | Z5014 | H15 | H4 |

PRILOGA C

Povprečne vrednosti za vsebnost vode (vol. %) pri različnih tenzijah vodnega stolpca (0-100 kPa).

| Rastni s. | KK | -2,5 | -5 | -10 | -20 | -30 | -40 | -50 | -100 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 2,5 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 100 |
| Z 30 | 88,1 | 87,5 | 86,3 | 82,6 | 75,7 | 64,2 | 57,8 | 53,4 | 51,2 |
| Z 40 | 87,6 | 86,8 | 85,4 | 81,9 | 76,2 | 66,0 | 59,4 | 55,3 | 48,8 |
| Z 50 | 86,4 | 85,1 | 83,4 | 80,2 | 70,2 | 59,8 | 53,6 | 49,8 | 46,5 |
| Z 150 | 83,3 | 82,4 | 80,7 | 77,7 | 69,1 | 58,1 | 52,5 | 49,7 | 46,6 |
| J 6 | 90,6 | 89,3 | 87,2 | 82,0 | 64,5 | 55,7 | 50,7 | 48,7 | 47,4 |
| H=K | 85,1 | 84,2 | 83,3 | 80,4 | 74,0 | 62,9 | 57,7 | 53,2 | 52,3 |