

Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledž
Keskkonnakaitse õppetool

**ÖKOEHTUSES KASUTAVATE PÕHUPLOKKIDE
STERILISEERIMISVÕIMALUSED
SEENORGANISMIDE VASTU**
Magistritöö tööstusökoloogia erialal

Kaarel Ilustrumm

Juhendaja: lektor Sander Kutti

Tartu 2014

Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev bakalaureusetöö/magistritöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli magistrikraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

.....

Kuupäev

.....

Allkiri

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE	6
1.1 PÕHU OLEMUS.....	6
1.1.1 Põhu keemiline koostis	7
1.1.2 Põhu lagunemine	8
1.2 PÕHK EHITUSMATERJALINA.....	9
1.2.1 Põhu soojuslikud omadused	10
1.2.2 Kasutatavad põhuplokid	11
1.2.3 Põhupakkehituse ajalugu	12
1.3 PÕHUL LEIDUVAD SEENELIIGID	13
1.3.1 <i>Alternaria</i>	15
1.3.2 <i>Aspergillus</i>	16
1.3.3 <i>Aureobasidium</i>	16
1.3.4 <i>Chaetomium</i>	16
1.3.5 <i>Cladosporium</i>	17
1.3.6 <i>Fusarium</i>	17
1.3.7 <i>Lichtheimia</i>	18
1.3.8 <i>Penicillium</i>	18
1.3.9 <i>Stachybotrys</i>	19
1.3.10 <i>Ulocladium</i>	19
1.3.11 <i>Wallemia</i>	20
1.4 SEENTE KAHJULIKKUS PÕHUMAJADES	21
1.4.1 Kahjulik mõju hoonetele.....	21
1.4.2 Mükotoksiinid seentes.....	23
1.4.3 Seente kahjulik mõju inimesele	25
1.5 SEENKAHJUSTUSTE ENNETAMINE	28

1.5.1	Tõrje kemikaalidega	28
1.5.2	Hoone konstruktsioonist tulenev seenkahjustuste ennetamine	30
2	MATERJAL JA METOODIKA	33
2.1	Proovivõtukohta iseloomustus ja proovide võtmine.....	33
2.2	Kasutatud söötmed	33
2.3	Seente külvamine.....	34
2.4	Seeneliikide värvimine ja mikroskoopia.....	34
3	TULEMUSED	35
3.1	Steriliseerimisvõimalused põhuplokkidel seente vastu	35
3.2	Kemikaalidele resistentsemad seeneperekonnad/liigid	35
4	ARUTELU	38
	KOKKUVÕTE	41
	SUMMARY	42

SISSEJUHATUS

Viimaste aastakümnete jooksul on ehitussektoris toimunud suured muudatused. Üha enam tõstetakse esile „rohelist“ ehk ökoloogilist ehitust ning põhjuseid pole vaja kaugelt otsida. Seoses kliimamuutuste ja taastumatute loodusvaradega seotud ülemaailmsete probleemidega on otsitud lahendusi energia efektiivsemaks kasutamiseks. Järjest rohkem pööratakse seejuures tähelepanu majadele ning nendega kaasnevatele keskkonnamõjudele. Aastatel 1990 – 2010 läbiviidud uuringute kohaselt moodustab majapidamissektor 26,6% Euroopa Liidu energiatarbimisest [1]. Kaasaegseid probleeme silmaspidades pakub ökoehitus lahendusi jätkusuutlikkuse tagamisele ning võimalusi meie elukeskkonna parandamisele.

Ökoehituses eelistatakse taastuvaid ja looduslikke materjale, millel on väike keskkonnamõju. Üheks selliseks materjaliks on põhk, mida plokkidesse kokkupressituna kasutatakse majades soojustuse või raskust kandva kihina.

Põhk, orgaanilise materjalina, on vastuvõtlik mitmesugustele bioloogilistele lagundajatele ning kahjuritele. Käesolev töö keskendubki põhku potentsiaalselt koloniseerivatele seenkahjuritele, nende kahjulikkusele ja nende tekke ennetamisele põhumajades.

Ökoehituse üheks peamiseks ideeks on keskkonnasõbralikke ja inimestele ohutute materjalide kasutamine. Seega on ökoehituses võimalikud seenorganismide keemilised steriliseerimisvõimalused piiratud.

Käesolevas magistritöös antakse ülevaade põhust - selle kasutamisest ehitusmaterjalina, potentsiaalsetest põhul leiduvatest seeneliikidest, seente negatiivsetest mõjudest nii inimesele kui ka põhule ning seente kasvu ennetavatele keemilistele ja füüsilistele võimalustele.

Töö peaesmärgiks on leida sobivad kemikaalid seente kasvu inhibeerimiseks põhuplokkidel, neid põhul katsetada ning seeläbi tuvastada ka kemikaalidele resistentseimad seeneliigid.

1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 PÕHU OLEMUS

Teraviljad nagu mais, nisu ja riis on maailmas enimkasvatatavad põllukultuurid. Viljakasvatus oma olemuselt on ressursimahukas ning selle käigus tekib hulganisti taimseid jääke. Põhk on taimevartest, teradeta viljapeadest, lehtedest ja aganatest koosnev viljakasvatuse kõrvalsaadus. Olenevalt põllukultuurist on tekkiv põhu mass võrdeline umbes 0,7 – 1,7 kordse toodetud vilja massiga [2].

Traditsiooniliselt on põhku kasutatud loomade allapanu või söödana ning mullaviljakuse parandamiseks. Enamasti jäetakse põhk koristusjäätisena põllule ning segatakse mulla pindmise kihiga, et kiirendada lagunemist. Sellega tõuseb mullaviljakus, hävivad umbrohtude võrsed ning vähendatakse leostumisprotsesse. Olenevalt mullakvaliteedist piisab mullaviljakuse hoidmiseks umbes 30 - 70% tekkinud põhu muldasegamisest ning ülejäänud võib, muudeks otstarveteks, eemaldada ilma negatiivsete efektideta [2].

Põhul on aga peale traditsiooniliste kasutusviiside mitmeid muid võimalusi nagu näiteks energia tootmine või ehitusmaterjalina kasutamine. Samuti on sellest võimalik toota paberit ja biokütuseid.

Viimasel aastakümnel on suurenenud põhu kasutamine soojusenergia tootmisel. Põhu energeetilist ressursi Eestis on hinnatud Maaelu Edendamise Sihtasutuse poolt läbiviidud uuringus. Selle kohaselt toodeti aastatel 2004-2006 keskmiselt ligikaudu 674 000 tonni põhku, mille kütteväärtus ulatub 3201 GWh-ni [3]. Põhjamaades on põhuküttega katlamajad laialdaselt levinud ning ka Eestis töötab mitu sellist kompleksi.

Eestis loetakse Jäätmeseaduse kohaselt põhku jäätmeks, kui seda ei kasutata mullaviljakuse parandamiseks [4]. Euroopa Liidu jäätmepoliitika mõistes on põhu kasutamine ehitusmaterjalina jäätmekäitluse hierhias kõrgemal, kui sellest bioenergia tootmine [5]. Seda arvesse võttes võiks eelistada põhu kasutamist ehitusmaterjalina.

1.1.1 Põhu keemiline koostis

Põhk koosneb peamiselt kolmest orgaaniliste ainete grupist: tselluloosist, hemitselluloosist ja ligniinist. Kokku moodustavad need komponendid üle 80 põhu kuivainest [6]. Põhus leidub veel valkusiid, põhu epiderme kaitsvaid vahasiid, suhkruid, soolasiid ja anorgaanilisi ühendeid nagu räni [7]. Räni ei ole elutähtis mineraalne taime jaoks, kuid tema olemasolul on mitmeid positiivseid efekte. Kõrge räni sisaldus suurendab taime resistentsust kemikaalide vastu, tugevdab taimeosade struktuuri ja suurendab vastupanuvõimet kahjurite ja seente vastu. [8] Tabelis 1 on välja toodud peamiste põhutüüpide keemilised koostised.

Tabel 1. Erinevat tüüpi põhu keemiline koostis (% kuivainest) [9]

Põhu tüüp	Tselluloos	Hemitselluloos	Ligniin	Vees lah.*	Vahad	Tuhk
Nisu	38,6	32,6	14,1	4,7	1,7	5,9
Riis	36,5	27,7	12,3	6,1	3,8	13,3
Rukis	37,9	32,8	17,6	4,1	2,0	3,0
Oder	34,8	27,9	14,6	6,8	1,9	5,7
Kaer	38,5	31,7	16,8	4,6	2,2	6,1

* - vees lahustuvad ained

Põhu keemiline koostis oleneb taime küpsusest ja sisalduvate taimeosade tüübist. Enamuse põhust moodustavad varred ja lehed. Lehtedes on võrreldes vartega rohkem lämmastikku, räni ja hemitselluloosi, kuid samas vähem tselluloosi. Põhu rakuseinad koosnevad peamiselt kolme tüüpi struktuurilistest süsivesinikest: tselluloosist, hemitselluloosist ja ligniinist. [10]

Ligniin on kompleksne vaheaine, mis on otseses ühenduses rakuseintes leiduvate polüsahhariidide kõrvalahelatega. Keskmise ligniinisaldus rakuseintes on ~80%, kuid see on suuresti taimekultuurist. Ligniin takistab struktuuriliste süsivesinike mikrobioloogilist lagundamist, sest sisaldab fenoolseid ühendeid ning käitub ka füüsilise barjäärina [11]. Elusa taime rakuseintes sisalduvad valgud jäävad sinna ka peale taime hukkumist ning rakuseinte puitumist. Suurem osa neist valkudest on ühendatud teiste rakuseinte osadega (ka ligniiniga) ning ka seetõttu on põhk raskesti lagundatav ning seeditav. [10]

1.1.2 Põhu lagunemine

Põhk on potentsiaalne toiduallikas mitmetele mikroorganismidele nagu seened ja bakterid, kes tavatingimustel on ka põhu peamised lagundajad. Olgugi, et põhk ei ole selliste mikroorganismide esimene valik, saavad nad sealt piisavas koguses energiat ja toitained. Põhu pakkimisel jäävad lisaks taimsetele ülejääkidele sinna ka mikroorganismide eosed, mis on sobivate tingimuste ilmnemisel võimelised kiiresti idanema. Nende mikroorganismide paljunemisvõimet mõjutavad peamiselt neli faktorit: põhus sisalduvad toitained, hapniku kättesaadavus, temperatuur ja põhusisene vaba niiskus. [12]

Toitainete poolest on põhk suhteliselt lämmastikuvaene, ning lagundajate aeglase kasvu tõttu hästi ei komposteeru. Komposti optimaalne süsiniku-lämmastiku suhe on 1:20 kuni 1:40, kui põhul on see umbes 1:70 kuni 1:120. Enamasti kehtib reegel, et mida rohelisem on põhk, seda lämmastikurikkam ta on. Põhu pikaajaline kuivamine võib vähendada lämmastiku sisaldust. Teiste põhus sisalduvate toitainete kogused on sobivad mikroorganismide kasvuks. [12]

Teine oluline võtmetegur aktiivseks mikrobioloogiliseks kasvuks on vaba hapniku eksisteerimine. Enamus seeni ja baktereid vajavad toitainete omastamiseks hapnikku. Põhupakk koosneb 90% ulatuses õhust ning aktiivse mikroorganismide hingamise puhul asendub põhus olev hapnik kiiresti süsihappegaasiga. Kui hapniku juurdevool seinas asuvasse põhupakkidesse on näiteks krohviga korralikult takistatud, siis on ka lagundamine piiratud. [12]

Kolmas oluline parameeter on temperatuur, kus alla 0°C ei saa toimuda mikroorganismide elutegevust, kuna vesi on külmunud olekus. Paljud seened ja bakterid ei jää ellu temperatuuri juures alla 10°C. Temperatuuridel 20°C - 65°C, kasvavad seened ja bakteri kõige paremini, kuid täpsem vahemik sõltub spetsiifilisest liigist. Kui temperatuur on üle 65°C, siis enamuse mikroorganismidest sureb ning bioloogiline kasv peatub. [12]

Peamine põhu lagunemise komponent on niiskus. Lagundavad organismid vajavad oma elutegevuseks vett ning liiga kuivas keskkonnas nende elutegevus seiskub. Põhu kasutamiseks ehitusmaterjalina peaks niiskusesisaldus põhus jääma alla 15% või suhteline õhuniiskus alla 70%. [12]

1.2 PÕHK EHTUSMATERJALINA

Traditsiooniliste ehitusmaterjalide tootmine ja loodusest toormaterjalide hankimine põhjustavad peale energiakulu ka heitmeid keskkonda. Selliseid ehitusmaterjale, mis vähendavad kaevandamise, töötlemise, kasutamise, taaskasutamise ja kõrvaldamise mõju keskkonnale nimetatakse ökoloogilisteks. Peale selle peavad need materjalid olema ohutud nii inimesele kui ka loomadele ning aitama kaasa ruumide parem mikrokliima saavutamisele. [13]

Põhku võib vaadelda kui ökoloogilist ehitusmaterjali, sest ta on laialt levinud kiiresti taastuv ressurss, hõlpsasti kättesaadav materjal ning ka heade ehituslike omadustega. Vaatamata looduslikule päritolule, on füüsiliste- ja bioloogiliste kahjustusteta põhk piisavalt vastupidav ajale ja lagunemisele, et rajada hooneid, mille eluiga on sarnane puitmajade omale. [14]

Põhk on materjal, mis oma elutsükli jooksul seob CO₂-te ja vabastab hapnikku. Traditsioonilise põhuehituse puhul on võimalik elamu suures osas pärast lammutamist taaskasutada. Põhku võib kasutada näiteks uue hoone ehitamiseks, kütteks või loomadele allapanuks. [12]

Peamine põhuehituse kasulikkust näitav tegur võrreldes traditsioonilise ehitusega, on vähene energiakasutus. Põhku otseselt ei kasvatata ning seega võib seda käistleda kui põllumajanduse jääkmaterjali. Põhupakkide tootmisel on ainuke energiat kasutav protsess pakkide pressimine, sest lõikamist saab võtta kui viljakasvatuse etappi. Põhk on kiiresti taastuv ressurss, mille maakasutus on saadud materjali kogusega võrreldes suhteliselt väike. Kõik need omadused näitavad, et põhu kasutamine ehituses traditsiooniliste ehitusmaterjalide asemel, on tunduvalt keskkonnasõbralikum. [15]

Põhuehituses ei kasutata tavaliselt inimtervisele kahjulikke kemikaale, kuigi võib esineda pestitsiidide jääke. Kemikaalide kogused on seejuures väikesed, sest taimekaitsevahendeid kasutatakse viljakasvatuse algfaasides ning põhu tootmise ajaks on need enamjaolt välja pestud. [15]

1.2.1 Põhu soojuslikud omadused

Peamine põhu ehituses kasutamise põhjusi on tema head soojuslikud omadused. Põhu soojusisolationivõime sõltub tema pakkimise tihedusest, kõrre suunast seinas ja põhu niiskussisaldusest. Põhuplokkide soojuslikud näitajad laiusühiku kohta jäävad alla modernsetele materjalidele, aga kuna põhku kasutatakse paksu kihina on tema üldised soojuslikud omadused väga head. Ka teiste soojustusmaterjalide puhul on võimalik saada väga häid tulemusi, kui neid kasutada paksu kihina, aga see pole kõrge hinna tõttu lihtsalt otstarbekas. [15]

Soojusjuhtivusarv (U-arv) näitab materjali soojuserijuhtivust. Soojuserijuhtivus on soojushulk vattides, mis läbib 1m^2 suurust ja 1m paksust tasapinnalist homogeenet piiret 1 tunni jooksul, kui temperatuuride vahe piirde pindadel on 1°C . Mida väiksem on U-arv, seda parem on materjali soojusisolationivõime.

Erinevate autorite poolt teostatud põhu soojuslike omaduste uuringute tulemused on välja toodud Tabelis 2. Selle põhjal saab kinnitust eelmainitu, et kõrre suund on põhu soojusisolationivõime osas oluline. Katsete tulemusel on leitud, et soojusvoo suhtes risti olevaid kõrsi sisaldav põhuseina U-arv on $0,196\text{ W/m}^2\text{K}$, samas kui soojusvoo suhtes paralleelseid kõrsi sisaldava ja paksema pinnakattega põhuseina U-arv on $0,208\text{ W/m}^2\text{K}$ [16].

Tabel 2. Erinevate autorite poolt leitud põhuseina soojusisolationivõime [16,17,18]

Kõrre suund soojusvoo suhtes	Põhuseina laius (mm)	Pinnakate	U-arv (W/m ² K)	
Paralleelne	385	34 + 42 mm krohv	0,208	[16]
Paralleelne	480	krohv + 13 mm laud	0,210	[17]
Paralleelne	460	krohv*	0,21	[18]
Risti	365	26 + 26 mm krohv	0,196	[16]

* - pinnakatte laius pole teada

1.2.2 Kasutatavad põhuplokid

Põhu säilitamiseks ja ehituses kasutamiseks pressitakse see erineva kuju ja suurusega pakkidesse, millega saavutatakse ruumala vähenemine umbes 4 kuni 8 korda. Pakkimistehnikate erinevuste tõttu jääb põhupakkide tihedus 80 ja 200 kg/m³ vahele. Levinuimad ehituses kasutatavad põhupakid on ristkülikukujulised ning jagatakse enamjaolt kolme mõõtu: väikesed (32-35*50*50-100 cm), keskmised (50*80*70-240 cm) ja suured (70*120*100-300 cm) Toodetake ka eriti suuri Jumbo palle (70*120*100-300 cm) tihedusega 180-200 kg/m³. [15]

Katsete ning ehitajate kogemuste põhjal on välja töötatud nõuded ehituskõlblikule põhupakile [19]:

- põhupakkide pikkus võiks olla vähemalt 90 cm, kuid ideaalseks võiks pidada 110 –120 cm pikkust põhupakki
- põhuploki tihedus peaks olema vahemikus 80-120 kg/m³
- katsete põhjal peetakse sobivaimaks rukki ja nisupõhku, kuigi Eestis on ehitatud maju ka odra-, kaera- ja roopakkidest;
- kasutatav põhk peaks olema umbrohuvaba, sest see võib hakata seinas niiskuse toimel lagunema
- ehituspakke on soovitatav pakkida jämeda nõoriga, et see tõstes ei katke ja pakk oleks ise stabiilsem
- ehitusmaterjalina kasutatava põhu niiskusesisaldus peab olema alla 15%, et vältida seente ja bakterite kasvu
- hallitanud või kahjustanud pakke ei tohiks mitte mingil juhul kasutada
- soovitatav on alustada põhupakkide pressimist pärastlõunal, kui kasteniiskus on ära auranud
- ladustamisel tuleb kindlasti jälgida, et virn oleks korralikult pealt kaetud ning poleks kokkupuudet maapinnaga

1.2.3 Põhupakkehituse ajalugu

Põhu paremaks säilitamiseks ja transpordiks hakati põhku pakkidesse kokku pressima. Pakkimismasin leiutati 1840. aastatel, kuid laiemalt hakkasid need levima alles sajandi lõpupoole, kui oli tehtud mitmeid täiendusi. [20]

Praktiliselt kohe peale pakkemasinade levikut, hakati toodetud põhupakke ka majade ehitamiseks kasutama. Selline ehitamise traditsioon sai alguse Ameerika Ühendriikidest 19 saj. teisel poolel. Nebraska osariigi väljade valged asunikud kasvasid vilja aladel, kus puudusid majaehituseks vajalikud puud või kivid. Sobivad ehitusmaterjalid olid kallid ning neid pidi kaugelt tooma. Olude sunnil ehitati endale põhupakkidest ajutised majad. Ehitamisel käsitleti põhupakke nagu suuri ehituskive, mis lisaks heale soojusisolatsioonile võimele moodustasid ka hoone kandva struktuuri. Samas oli ehitamine odav, lihtne ja kiire. [15]

Peagi pärast esimeste elamute valmimist avastati, et need ajutised majad hoidsid talviti üllatavalt hästi sooja ning olid samas mõnusalt jahedad kuumadel suvekuudel, rääkimata imeheast heliisolatsioonist, mis summutas talvel üle väljade uluvad tuuleiilid. Positiivsed kogemused põhupakkidest ehitamisel viisid peagi esimeste aastaringsete põhumajade ehitamiseni, milledest osad on tänapäevani kasutusel elumajadena. Nebraskas asub ka vanim säilinud põhumaja, mis ehitati 1903. aastal.[15]

Algselt kasutati seda majatüüpi ainult kuivas kontinentaalses kliimas, kuid hiljem avastati, et see sobib väga hästi ka niisketesse ja kliimaatiliselt madala temperatuuriga paikadesse nagu Põhja-Euroopa ja Skandinaavia. Põhupakiehitust viljeleti kuni 1940-ndate aastateni, mil sõda ja samaaegne betooni populaarsuse kasv selle praktiliselt välja suretasid. [21]

Kahekümnenda sajandi lõpus hakkas põhuehitus populaarsust koguma ning seekord juba oma innovatiivsuse ning keskkonnasõbralikkuse tõttu. Edumeelsemates riikides, nt Saksamaal, USA-s, Austraalias, on välja töötatud juba standardid ja ehituseeskirjad põhupakkehitustele; Saksamaal on põhupakk sertifitseeritud ehitusmaterjalina aastast 2005. Samal ajal suuremas osas riikidest (nt enamikes Euroopa riikides Rootsis, Taanis, Belgias, samuti Mongoolias, Hiinas, Kanadas) on tegemist endiselt entusiastide poolt edendatud ja alles reguleerimata ehitusvaldkonnaga. [22]

1.3 PÕHUL LEIDUVAD SEENELIIGID

Seened on eukarüootsed ja heterotroofsed organismid, mis hangivad elutegevuseks vajalikke orgaanilisi aineid väliskeskkonnast. Seened eritavad ümbritsevasse keskkonda ensüüme, mis lagundavad keerulised ühendid lihtsamateks, seene rakukesta läbivateks molekulideks. Seeni, kes toituvad surnud organismide kudedest nimetatakse saprotroofideks. Saprotroofid lagundavad surnud orgaanilise aine lihtsamateks, teistele organismidele kättesaadavateks ühenditeks.

Hallitusseened on niitjad seened, mis kuuluvad vetik-, kott- või teisseente hulka. Neile on omane klorofüllü puudumine, eostega paljunemine ja seeneniidistiku ehk mütseeli moodustumine. Hallitusseened toituvad orgaanilisest ainest. Enamik neist elab surnud orgaanilisel ainel, kuid leidub ka elusatel kudedel elavaid liike. Nad vajavad happelist elukeskkonda.

Hallitusseeni on nii ainu- kui ka mitmerakulisi. Nende keha kujutab endast pikka, sageli hargnevat niiditaolist moodustist ehk hüüfi. Hüüfi ebakorrapärane kogumik moodustab seeneniidistiku ehk mütseeli. Mittesugulise sigimise aluseks on seeneniidis eoste ehk endosporide teke, kõrgemalt arenenud hallitusseentel tekivad eosed sporangiumis.

Hallitusseente jaoks on optimaalne suhteline õhuniiskus 75 - 95%. Madala niiskustaseme (suhteline õhuniiskus väiksem kui 75%) juures peavad tingimused jääma nädalateks või kuudeks samaks, et mingisugunegi seenekasv oleks võimalik [23]. Elujõulised hallitusseente eosed esinevad praktiliselt kõikjal, kui on tagatud piisava koguse vee olemasolu.

Vee aktiivsus (a_w) on suhtarv, mis leitakse, jagades materjali kohal oleva veeauru osarõhu destilleeritud veeauru rõhuga samal temperatuuril. Destilleeritud vee a_w on 1,00 ja veemolekule üldse mittesisaldava materjali a_w on 0,00. Üldjoontes arenevad aeroobsed mikroorganismid madalama vee aktiivsuse juures paremini võrreldes anaeroobidega. Vee aktiivsuse langemisel katkeb kõigepealt bakterite areng, siis enamiku pärmseente ja alles seejärel hallitusseente areng. [24]

Tüüpilised hallitusseened Eesti päritolu teraviljas on perekondadest *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Helminthosporium*, *Mucor* ja *Rhizopus*, *Aspergillus* esinemine on rohkem iseloomulik Eesti lõunapoolsetele regioonidele [25]. Suure tõenäosusega on need samad seened sagedased koloniseerivad ka Eestis toodetud põhul. Taanis läbiviidud uurimistöökäigus kogutud andmete põhjal

erinevate tingimuste juures põhul sageli esinevad hallitusseened on välja toodud tabelites 3 – 5 [26].

Põhul leiduvad seeneliigid võib vee vajaduse järgi jaotada kolmeks [26]:

- Primaarsed koloniseerivad, $a_w < 0,8$ - *Wallemia*, *Penicillium*, *Aspergillus* ja *Eurotium*
- Sekundaarsed koloniseerivad, $0,8 < a_w < 0,9$ - *Cladosporium*, *Ulocladium* ja *Alternaria*
- Tertsiaalsed koloniseerivad, $a_w > 0,9$ - *Stachybotrys*, *Chaetomium*, *Trichoderma* ja *Aureobasidium*

Tabel 3. Lõikuse-eelsel, värskelt lõigatud ja kuivalt hoiustatud põhul leiduvad hallitusseente liigid [26]

Perekond	Liik
<i>Aspergillus</i>	<i>Glaucus</i> , <i>restrictus</i> , <i>repens</i> , <i>amstelodami</i> , <i>versicolor</i> , <i>candidus</i> , <i>sydowii</i> , <i>ustus</i>
<i>Wallemia</i>	<i>Sebi</i>
<i>Cladosporium</i>	<i>Cladosporioides</i> , <i>herbarum</i>
<i>Alternaria</i>	<i>Alternata</i>
<i>Aureobasidium</i>	<i>Pullulans</i>
<i>Epicoccum</i>	<i>Purpurascens</i>

Tabel 4. Niisketes tingimustes hoiustatud põhul leiduvad hallitusseente liigid [26]

Perekond	Liik
<i>Aspergillus</i>	<i>Fumigates</i>
<i>Mucor</i>	<i>Pusillus</i>
<i>Lichtheimia</i>	<i>Ramose</i>
<i>Humicola</i>	<i>Lanuginose</i> , <i>insolens</i>
<i>Chaetomium</i>	<i>Thermophile</i> , <i>globosum</i>

Tabel 5. Sagebased ehitistes ja põhuseintes leiduvad hallituseente liigid [26]

Perekond	Liik
<i>Penicillium</i>	<i>Brevicompactum</i> , <i>chrysogenum</i> , <i>corylophilum</i> , <i>expansum</i> , <i>polonicum</i> , <i>palitans</i>
<i>Aspergillus</i>	<i>Sydowii</i> , <i>ustus</i> , <i>versicolor</i>
<i>Eurotium</i>	<i>Repens</i>
<i>Cladosporium</i>	<i>Sphaerospermum</i> , <i>herbarum</i>
<i>Alternaria</i>	<i>Tenuissima</i>
<i>Rhodotorula</i>	<i>Rubra</i>
<i>Stachybotrys</i>	<i>Chartarum</i>
<i>Ulocladium</i>	<i>Chartarum</i> , <i>atrum</i>
<i>Chaetonium</i>	<i>Globusum</i>

1.3.1 *Alternaria*

Musta hallituse perekond *Alternaria* koosneb erinevates saprofüütilistest, endofüütilistest ja patogeensetest liikidest. Neid leidub ülemaailmselt ehitistel, tselluloosist pindadel, tolmus, mullas ja surnud taimejääkidel. *Alternariat* peetakse ohtlikuks taimepatogeeniks mitmetele kultuurtaimedele. Osad *Alternaria* liigid on võimelised tootma mükotoksiine ja fütotoksiine. *Alternaria* patotüübid toodavad ühendeid, mis on selektiivselt toksilised just oma peremeesorganismile. *Alternaria* seente kasv kultuurtaimedel võib viia mükotoksiinide akumulatsioonini toodetud taimeproduktides. *Alternaria* liigid toodavad üle 70 fütotoksiini, millest väike osa mõjuvad mükotoksiinidena nii inimestele kui loomadele [27].

Osad toksiinid nagu alternariool (AOH), alternariool monometüül eeter (AME), tenuazon hape (TeA) ja altertoksiinid (ATX) on loomadele kahjulikud ning võivad põhjustada fetotoksilisi ja teratogeenseid efekte. *A. alternata* kultuuri ekstraktid ja individuaalsed mükotoksiinid nagu AOH ja AME on mutageensed ja klastogeensed mitmetes laboritingimustes. Lisaks arvatakse, et osades Hiina paikades on *Alternaria* toksiine sisaldavad teraviljad mitmete söögitoruvähi juhtude põhjuseks. [28]

1.3.2 *Aspergillus*

Kottseente hulka kuuluv perekonas *Aspergillus* on liigid, millest enamus paljunevad mitesuguliselt ja mille eospeaga koniidikandjad meenutavad liturgilistel üritustel kasutatavat aspergillumit. Ligikaudu kolmandikul sellise morfoloogiaga anamorfe omavatel liikidel on elutsüklis tuvastatud ka sugulise paljunemise arengujärk. Neid on kirjeldatud kuuluvana kolmeteistkümnesse kottseeneperekonda: *Chaetosartorya*, *Dichotomomyces*, *Emericella*, *Eurotium*, *Fennellia*, *Neocarpenteles*, *Neopertomyces*, *Neosartorya*, *Penicillioopsis*, *Petromyces*, *Sclerocleista* ja *Warcupiella*. [29]

Aspergillus on laialt levinud ning teda leidub mullas, puidul, taime jäänustel ja õhus. Perekonda kuuluvad liigid on väga vastupidavad ning esinevad tavaliselt suurte hulkadena. *Aspergillus* perekonas on umbes 250 liiki, millest ligikaudu 20 on ohtlikud nii inimestele kui ka loomadele [30]. *Aspergillus* on võimeline tootma suurel hulgal erinevaid mükotoksiine, millest toksilisemad on aflatoksiinid ja ohratoksiinid. Sagedased *Aspergillus* poolt toodetud toksiinid on veel sterigmatotsüstiin, tsüklopiasoonhape, patuliin, tsitriniin ja tremorgeensed toksiinid. Enamus nendest on inimesele kantserogeensed, mitmed kahjustavad arenevat loodet, immuunsüsteemi, maksa, neere ning tremorgeensed toksiinid on kahjulikud närvisüsteemile. [29]

1.3.3 *Aureobasidium*

Aureobasidium on kogu maailmas laialt levinud hallitusseente perekond, kuhu kuulub ligikaudu 15 liiki. *Aureobasidium* eosed levivad tuule või veepiiskade abil ning teda leidub mullas, veekogudes ja taimedel. Perekonda kuuluvad seened on tuntud allergeenid, põhjustades mitmeid allergilisi haiguseid nagu heinapalavik, astma ja hüpersensitiivne pneumoniit. *Aureobasidium* leidub sageli niiskemates siseruumides, plaadi vuukide vahel, aknalaudadel, dušikardinaltel. [31]

Tööstuses on laiemalt kasutuses liik *Aureobasidium pullulans*, kes toodab tähtsise ühenditest pullulaani. Pullulaan on vees lahustuv maitsetu ning söödav polümeer, mida kasutatakse toidu- ja ravimitööstuses ning on tuntud E-ainena kui E1204 [32]. *A. pullulansi* mõned tüved võivad tekitada ka raskeid infektsioone nagu peritoniit [33].

1.3.4 *Chaetomium*

Chaetomium kuulub kottseente hõimkonda ning teda leidub peamiselt mullas, sõnnikus ja ka sisekeskkonnas. *Chaetomium* liike iseloomustavad kirjud ja õhukese seinaga eoskotid, mille sees valmivad üherakulised tumepruunid kotteosed.

Chaetomiumi kolooniad on kiirekasvulised ning pigmendilt elutegevuse käigus varieeruvad.

Chaetomiumi liigid on sagedased infektsioonide tekitajad inimestele. Osad *Chaetomium* liigid ründavad langenud immuunsusega inimese kesknärvisüsteemi, põhjustavad infektsioone [34] ning võivad mõnel juhul olla isegi surmavad [35].

1.3.5 *Cladosporium*

Cladosporium on kõikjalesinev mullas, õhus ja orgaanilise aine pinnal leiduv hallitusseen. Tema kolooniad on suhteliselt aeglase kasvuga, tumeda värvuse ning rohkete koniidide tootmise tõttu sagedasti ka pulbritaoline. *Cladosporiumi* väikesemõõtmelised koniidid moodustavad omavahel ühendatud ahelad ning on õhuga hästi levivad, olles kõige enam õhust isoleeritud seenkomponendid. Perekonda kuulub üle 772 nime, millest tuntuimad on *Cl. elatum*, *Cl. herbarum*, *Cl. sphaerospermum* ja *Cl. cladosporioides*. *Cladosporium* seened on väga erinevate omadustega. Perekonnas leidub nii taimpatogeene kui ka endofüüte ning mitmed liigid on võimelised inimestel mükoose ja allergiaid tekitama. [36]

Elutegevuse käigus eritab seen lenduvaid orgaanilisi ühendeid, millel on märkimisväärselt ebameeldiv lõhn ja mis on mürgised. Harvadel juhtudel võib ta tekitada silmade, naha ja hingamisteede haigestumist. Sagedamini tekitab seen läbi torkehaavade nahaaluseid põletikke. *Cladosporium* eritab mitmeid mürgiseid metaboolseidprodukte, sealhulgas ka antibiootikume. [37]

1.3.6 *Fusarium*

Seeneperekond *Fusarium* koosneb sagedasti esinevatest seeneliikidest, mida leidub kõikjal maailmas. *Fusariumi* liike leidub maapinnas, elusatel ja surnud taimeosadel ning loomadel. *Fusariumi* koniidid levivad vee ning õhu abil ning klamüdospoore leidub enamasti maapinnas. Sugulise paljunemise etapi eksisteerimisel levivad kotteosed õhu abil ning leid võib leida ka ekstreemsetes kõrgustes. *Fusariumi* liigid võivad olla väga erinevate omadustega. [38]

Fusariumi poolt vilja nakatumine on toidu- ja söödaohutuse seisukohalt teraviljal üheks suurenevaks ohuks. *Fusarium* seened põhjustavad teraviljadel mitmesuguseid haigusi nii juurtel, juurekaelal kui ka maapealsetel taime osadel ning viljaterade nakatumist. Eestis on *Fusarium* seente levik teraviljal väga aktuaalne probleem, eriti kui sademete hulk kasvuperioodil ületab aurumise. Näiteks aastate 1992-1994 ja 2002-2004 nisuproovidest oli *Fusarium*iga nakatunud 20-70%. [39]

Fusariumid toodavad teatud tingimustes mitmeid mükotoksiine, mis võivad tekitada nii inimestel kui loomadel kroonilisi (kestval vähese mürgisusega saaduse tarvitamisel) kui ka ägedaid mürgitusi, mis lõpevad surmaga. Tuntuimad *Fusarium* seente poolt toodetavad mükotoksiinid on zearalenool, T-2 toksiin ja vomitoksiin (DON). [40]

1.3.7 *Lichtheimia*

Perekond *Lichtheimia* kuulub seltsi Mucorales ning hõlmab endas laialtlevinud hallitusseeni, mida võib leida enamasti mullas, sõnnikus ja lagunevatel taimejätmetel. Kolm viiest praegu aksepteeritavast liigist – *Lichtheimia corymbifera*, *L. ornata* ja *L. ramosa* – on tuntud inimpatogeenid, olles ohtlikud ennekõike nõrga immuunsüsteemiga inimestele [41]. Tähelepanu *Lichtheimia* perekonnale suurenes märgatavalt pärast *Absidia* perekonna taksonoomilist ülevaatamist. Selle tulemusel eraldati taksonoomiliselt mesofiilsed ja termotolerantsed liigid, milledest viimased siis *Lichtheimia* perekonda liideti. Patogeensed *Lichtheimia* liigid *L. corymbifera*, *L. ornata* ja *L. ramosa* on morfoloogiliselt sarnased ning seetõttu peeti neid aastakümneid üheks ja samaks liigiks – *Absidia corymbifera*. [42]

1.3.8 *Penicillium*

Penicillium perekonnas eristatakse üle 150 liigi, millest 50 on sageliesinevad. Enamus *Penicillium* liike võib leida maapinnast, kus nad osalevad mullatekkeprotsessides lagundades orgaanilisi aineid. *Penicillium* on ka üks enimlevinud õhus lenduvatest seentest ning teda leidub alati ka siseruumidest. Klassikaliselt on perekond tuntud antibiootikumide (penitsilliin) moodustajana.

Penicillium seened on tuntud taimepatogeenid põhjustades mädanikke ning võivad inimestel tekitada oportunistlike infektsioone. Nad toodavad ka suurel hulgal mükotoksiine: patuliini OTA, tsitriniini, penitsilliin hapet. *Penicillium* perekonda kuulub ka väga ohtlik, tavaliselt surmaga lõppeva süvamükoosi - penitsilloosi tekitaja *Penicillium marneffeii*. *Penicillium*´i eosed sisaldavad kõige rohkem mükotoksiine, kuigi pinnaniidistik sisaldab neid samuti. Tähtis on teada, et eoste mürgisus ei vähene seene suremisel. Sageli ei osata sellele piisavat tähelepanu pöörata ja väidetakse, et hallituskord on juba ammu ära kuivanud. [43]

1.3.9 *Stachybotrys*

Stachybotrys on laialt levinud hüdrofiilne seen, mis paljuneb eostega. *Stachybotrys* perekonda kuulub üle 50 liigi ning neid võib leida kõikjalt, kus on piisavalt niiskust (optimaalne a_w - 0.94). Sel põhjusel võib teda leida niiskuskahjustustega ning puuduliku ventilatsioonidega ruumides. Oma elutegevuse käigus lagundab *Stachybotrys* kõrge tselluloosi- ja madala lämmastikuisaldusega materjale ning omandab nendest vajalikke toitaineid. Kõige tuntum seeneliik *Stachybotrys* perekonnast on ilmselt *Stachybotrys chartarum*, mida kutsutakse kõnekeeles ka „mustaks hallituseks“. [44]

S. chartarum vajab kasvuks väga niisket keskkonda, seega võib teda hoonetes leida seinte ja katuse läbijooksukohtadest ja pikka aega lekkivate veetorude ümbrusest. Sageli on seen ennast peitnud seina sisse, kuhu on tekkinud kondensniiskus. Kui *S. chartarum* õnnestub avastatada juba õhuproovist, siis tuleb teda hoolikalt otsida konstruktsiooni varjatud osadest, sest tõenäoliselt on teda seal väga palju. *S. Chartarum* on õhuproovidest raske avastada, sest tema suhteliselt suured ja pealt karedad eosed kleepuvad märja plaadi külge ega lendu nii kergesti. Teisalt on *S. Chartarum* võrreldes teiste sarnastes tingimustes elavate bakterite ja seentega üsnagi nõrk ning jääb tihti neile olulusvõitluses alla. Ka laboritingimustes on täheldatud, et *S. chartarum* peale kasvavad kergesti teiste hallitusseente kolooniad ja tasapisi hävitavad seene. [37]

S. chartarum toodetud mükotoksiinid võivad põhjustada kahjustusi nahale, kopsudele ja seedekulgale ning mõjutavad vereloomet. Kokkupuude *S. chartarum*iga kutsub sageli esile mitmeid allergilisi reaktsioone. Pikaajaline kokkupuude võib aga viia immuunsüsteemi häireteni. [45]

1.3.10 *Ulocladium*

Ulocladium on laialt levinud saprofüütiline hallitusseen mida leidub õhus, mullas, puidul ja lagunevatel taimeosadel. *Ulocladium* toodab teatud toksilisi ühendeid, mis on bioloogiliselt aktiivsed ja kahjulikud teiste seente ja taime rakkude suhtes. Perekonda kuuluvaid seeni peetakse inimestele suhteliselt ohutuks, kuigi nad on allergiat tekitavad ning harva ka patogeensed. Peamised liigid, mida võidakse ohtlikuks pidada on *U. chartarum*, *U. atrum* and *U. botrytis*. [46]

Ulocladium kasvab vahemikul 5°C kuni 34°C. Siseruumides on *Ulocladium* tertsiaalne koloniseeria ning kind indikaator niiskuseprobleemidele. Üldiselt vajab kasvuks väga niiskeid tingimusi, kuid on võimeline üle elama lühiajalisi kuivasid

perioode või muid stressoreid. On võimeline ka madala niiskustaseme juures kasvaks, kuid tingimused peavad sel juhul jääma samaks pikema aja jooksul. [46]

1.3.11 *Wallemia*

Kserofiilses perekonnas *Wallemia* on tuvastatud kolm erinevat liiki: *W. ichthyophaga*, *W. sebi*, ja *W. muriae*. *Wallemia sebi* on neist kõige tuntum ning ülemaailmselt leviv. Seda võib leida õhus, mullas, kuivatatud toiduainetes ja soolas. Tegu on suhteliselt hiljuti avastatud liikidega ning seetõttu pole täpselt teada nende adopteerimismehhanismid madala veesisaldusega substraatides.

Wallemia sebi toodab eriti väikseid spore, mis on tugevad allergeenid. Nende väikeste mõõtude tõttu satuvad nad hõlpsasti hingamisteedesse. Osad *Wallemia* tüved toodavad mükotoksiine nagu walleminool ja walleminoon, mis võivad põhjustada nahaaluseid infektsioone ja allergilisi reaktsioone nagu allergiline alveoliit.[47]

1.4 SEENTE KAHJULIKKUS PÕHUMAJADES

1.4.1 Kahjulik mõju hoonetele

Oma elutegevusega kutsuvad organismid materjalides esile nii mehaanilisi kui ka keemilisi biokahjustusprotsesse. Mehaaniliste biokahjustusprotsesside korral lagunevad materjalid organismide ja nende osade sissetungimise ja kasvu tõttu. Seejuures ei kasuta organismid materjali otseselt toiduks. Keemilised biokahjustused tulenevad organismide elutegevuse jooksul toimuvatest protsessidest, mille tulemusel materjalide keemiline koostis muutub. Keemiliste kahjustusprotsesside hulka kuuluvad assimilatsiooniprotsessid ja organismide metaboolsete vaheproduktide, inhibiitorite või jääkainete eraldamine keskkonda. Seened on kõige olulisemateks hoonete biokahjustajateks, lagundades orgaanilist ainet oma ainevahetusele sobivateks ühenditeks. Nad kohanevad kergesti erinevate tingimustega, mistõttu leidub neid praktiliselt kõikjal, kus on orgaanilist ainet, eriti puitmajades. [48]

Seente mütseel koosneb hüüfidest, millede läbimõõt on 2–30 µm ning pikkus võib ulatuda 2 µm-st mitme sentimeetrini. Sõltuvalt kasvu iseloomust eristatakse substraatset- ja õhkmütseeli. Substraatne mütseel paikneb substraadi pinnal ja sees. Suurem osa mütseelist (kuni 2/3) asub harilikult kasvusubstraadi sees, seetõttu on seente tekitatud kahjustused alati märksa ulatuslikumad, kui esmasel vaatlusel arvatakse. Õhkmütseel asetseb substraadi kohal, üksikutes punktides sellele toetudes. Harilikult moodustuvad õhkmütseelil paljunemisorganid. Ebasoodsate välistingimuste suhtes on mütseel küllaltki vastupidav – ta kannatab kuivust, suurt temperatuurikõikumist ja läbikülmumist. [48]

Sobivates tingimustes (Suhteline õhuniiskus 70–100%, puidu niiskusesisaldus 35–120%, temperatuur 24 °C) hakkavad puidu pinnal kiiresti arenema hallitusseened. Hallitusseened arenevad kõige sagedamini pinnakattevahenditega (värv, lakk vms) kaetud puitmaterjalide pinnal või värske märja saematerjali pinnal. Puidu pinnal kasvavad mikroseedid ei lagunda lignifitseerunud rakuseinu, vaid nad kasutavad toiduks parenhüümirakkudes leiduvaid suhkruid, tärklisi ja valke. Hallitusseente kasv puidul põhjustab puidu pinnapealse värvumise, sügavusega umbes 1 mm. See ei avalda mõju puidu mehaanilistele omadustele, kuid halvendab puidu välisilmet. [48]

Sinavust põhjustavad seened muudavad oma elutegevuse käigus puitmaterjali värvi. Erinevalt hallitusseentest tungivad puitu värvivad seened sügavale puitu. Lühiajalisel kahjustamisel ei mõjuta nad puidu mehaanilisi omadusi märgatavalt. Seente kestva

toime korral väheneb siiski teatud määral vastupanu löökkoormusele. Puidu mehaanilised omadused (serve-, tõmbe-, nihke- ja paindetugevus) muutuvad sinavusseente arengu tõttu umbes 2% ulatuses. Seened halvendavad puidu välisilmet ja suurendavad veeimavust. Samuti näitab selliste kahjustuste esinemine puidul, et puitu on säilitatud ebasobivates tingimustes. Sinavusseentele optimaalsed keskkonnatingimused on temperatuur 20–30 °C ning puidu niiskusesisaldus 50–120% (suhteline õhuniiskus kestvalt 95–100%).[48]

Puitu lagundavate seente tegevus on tuntud puidu mädanemisena. Seda tüüpi seened põhjustavad puitmaterjalidele kõige suuremat kahju. Seened lagundavad puidu rakuseina struktuuraalseid komponente – tselluloosi, hemitselluloose ning ligniini. Puitu lagundavate seente kasvuks peab puidu niiskusesisaldus olema üle 20%. Madalama niiskusesisalduse korral on seente kasvutingimused ebasoodsad ning kasv aeglustub. [48] (48)

Värvuse ja iseloomu järgi jagatakse mädanikud kolme põhitüüpi:

- pehmemädanik,
- pruunmädanik,
- valgemädanik.

Hoonete kahjustajatena on kõige olulisemad pruunmädanikku tekitavad seened. Nii on leitud, et Eesti hoonetes kuuluvad puitu lagundavatest seentest 97% pruunmädaniku tekitajate hulka. Valge- ja pehmemädaniku kahjustusi leiti vaid üksikuid. [48]

Pehmemädanikku põhjustavad peamiselt kottseened ja teisseened. Nad kasvavad puidu pinnalt aeglaselt sisemusse ning arenevad valdavalt puitunud rakuseintes, lagundades tselluloosi ja hemitselluloose. Väga sageli on seda tüüpi kahjustuse tekkes lisaks seentele osalised ka bakterid [49]. Seened taluvad hästi ka vähest hapnikusisaldust. Kasvavad laias temperatuurivahemikus, mitmed liigid on seejuures soojalembesed. Pehmemädanikku tekitavad seened lagundavad peamiselt, liigniisket või pinnasega kontaktis olevat puitu. Kahjustused piirduvad harilikult puidu pealmise kihiga ning kahjustus kulgeb küllaltki aeglaselt. Pehmemädanikku põhjustavad seened on resistentsed fungitsiididele, nad taluvad hästi kromaate, vaske ja arseeni sisaldavaid antiseptikuid. [48]

Valge- ja pruunmädanikku põhjustavad enamasti kandseened, kuid valgemädanikku võivad tekitada ka mõned kottseened. Pruunmädanikku seened lagundavad peamiselt taimerakus leiduvad suhkruid, kuid lagundavad raku struktuuraalseid

komponente nagu tselluloos ja hemitselluloos. Ligniini jätavad nad puutumata, mis tselluloosi vähesuse tõttu oksüdeerub. Selle protsessi tulemusel muutub puitmaterjal hapraks, värvub pruuniks ning lõpuks laguneb. [50] Valgemädanikseentel on rakuväline oksüdatiivne ensüümisüsteem, mille abil on nad võimelised ka puitmaterjalides leiduvat ligniini lagundama [51].

Tuntuim pruunmädanikku tekitav seen on *Serpula lacrymans* ehk harilik majavamm. Pärast viljakeha moodustamist toodab majavamm sadu miljoneid eoseid, mis levivad õhu kaudu või inimeste, loomade, putukate, tööriistade ja nakatunud puiduga, ning sobivasse keskkonda sattudes moodustavad uue nakkuskolde. Majavammi eose arenemiseks on kriitiline tähtsus puidu niiskusesisaldusel, mis peab olema vahemikus 20-30% [52]. Mütseeli arenedes kasvab niiskusesisaldus isegi kuni 240%-ni. Optimaalne temperatuur seeneniidistiku arenguks on 18–23 °C. Kuna majavammi looduslikus elukeskkonnas valitseb üsna jahe kliima, ei talu ta kõrgemaid temperatuure. [51]

1.4.2 Mükotoksiinid seentes

Hallitusseentel on võime oma ainevahetuse käigus toota mitmesuguseid metaboliite. Mükotoksiinid on hallitusseente metaboliidid, mis on mürgised nii inimestele kui loomadele, ja mille üle lubatud piirnormide esinemise korral toiduainetes võivad omada selle tarbimise korral inimestele kantserogeenset toimet [53]. Mükotoksiine võib leida nii teraviljades, söötades, söödakontsentratsioonides kui silos, aga ka toiduainetes. Euroopa Liidu referentlabori (EURL) andmetel leidub nimetamisväärset koguses mükotoksiine ligikaudu 20% teraviljasaadustes [54].

Euroopa mõistes on oluliseimateks mükotoksiinideks aflatoksiin, vomitoksiin (DON), fumonisiin, ohratoksiin A ning zearalenoon [55]. Nende mükotoksiinide esinemise sagedus viimastel aastatel Euroopa Liidus on välja toodud tabelis 6.

Tabel 6. Mükotoksiinide esinemise arv Euroopa Liidus aastatel 2008 – 2012 [55]

Mükotoksiin	2008	2009	2010	2011	2012
Aflatoksiinid	902	638	649	585	484
Vomitoksiin	4	3	2	11	4
Fumonisiinid	2	1	3	4	4
Ohratoksiin A	20	27	34	35	32
Zearalenoon	2	0	0	4	6

Aflatoksiinide nimi tuleneb otseselt neid ühendeid tootvast peamisest liigist, milleks on *Aspergillus flavus*. Peamised aflatoksiinid on B1, B2, G1 ja G2. Tähed B ja G tähistavad sealjuures nende fluorestsentsi värvust (ingl. keelest blue ja green) ultravioletse valguse käes. Peale *A.flavus*'e on sagedane aflatoksiinide tootja veel *Aspergillus parasiticus*. *A.flavus*'e puhul oleneb aflatoksiinide tootmine konkreetsest tüvest ning umbes 50% on võimelised neid tootma. Aflatoksiinid on suureks nii inimeste kui loomade tervisele. Nad mõjutavad organismi valkude sünteesi, sest nad seovad end raku DNA-ga [56]. Aflatoksiinid on Rahvusvahelise Vähiuuringute Agentuuri (IARC) poolt kuulutatud kantserogeenseks [53].

Vomitoksiin (DON) on trihhotetseenide rühma kuuluv mükotoksiin, mida toodavad mitmed *Fusarium* perekonna liigid. DON on oluline saasteaine teraviljades nagu nisu, kaer ja riis [57]. DON siseneb kehasse enamasti suukaudselt, ta on eriti ohtlik kariloomadele, põhjustades neil mitmeid tervisehäireid (kõhulahtisus, oksendamine, jne.) ning ülisuurtes kontsentratsioonides ka surma. [58]

Fumonisiinid on grupp mükotoksiine, mida toodavad *Fusarium* perekonda kuuluvad liigid, peamiselt *Fusarium verticillioides* (syn. *Fusarium moniliforme*) ja *Fusarium proliferatum*. Teada on vähemalt 12 fumonisiinide analoogi, millest oluliseimad kuuluvad B rühma (FB1, FB2, ja FB3) [59]. Fumonisiin B1 on IARC poolt määratud kategooriasse 2B ehk võimalikuks kantserogeeniks [60].

Fumonisiinid on kõige levinuimad maisis leiduvad mükotoksiinid ning seda eriti soojematel aladel. Kuna *F. proliferatum* ja *F. verticillioides* võivad kasvada väga erinevatel temperatuuridel, aga suhteliselt kõrge vee aktiivsuse juures, tekivad fumonisiinid enne vilja lõikamist või selle ladustamise varajases staadiumis. Fumonisiinide kontsentratsioon tavaliselt ladustamise jooksul, kui just ei esine ekstreemseid tingimusi. [55]

Fumonisiinid taluvad kõrgeid temperatuure ja nende toksilised omadused vähenevad märkimisväärselt alles siis, kui temperatuur tõuseb üle 150°C. Fermentatsiooni protsessi jooksul võivad fumonisiinid vähesel määral laguneda [60].

Ohratoksiin A (OTA) on mükotoksiin, mida toodavad *Aspergillus* ja *Penicillium* perekonda kuuluvad seeneliigid ning peamiselt *Penicillium verrucosum* ja *Aspergillus ochraceus*. *P. Verrucosum* on ainus teadaolev OTAt tootev seenelik Euroopas ning seda just põhjapoolsematel aladel [61]. OTA on kõige toksilisem ohratoksiin ning ta on struktuuri poolest sarnane fenüülalaniiniga (Phe). OTA poolt saastatud viljas on sageli ka kloorivaba ohratoksiin B, mis on aga tunduvalt vähem toksiline [62].

OTA on inimeste immuunsust pärssiv ning põhjustab enamasti neerudega seotud terviseprobleeme, kuid näriliste puhul on tõestatud ka tema kantserogeensust [63]. OTA on stabiilne ühend, mis ei hävi enamike toiduprepareerimise protseduuride juures. Alles pärast mitut minutit temperatuuril üle 250°C on täheldatud tema kontsentratsiooni vähenemist [64].

Zearalenoon (ZEN) on teise astme metaboliit, mida toodavad mitmed *Fusarium* perekonna liigid, kellest olulisim on *Fusarium graminearum*. ZENi tootvad *Fusarium* liigid kasvavad peamiselt jahedates ja niisketes tingimustes vilja õitsemise ajal, kuid kasv ja toksiinide tootmine võib jätkuda ka kehvade laotingimuste juures peale ladustamist. ZEN võib läbi naha organismidesse tungida ning tekitada näiteks loomades viljatusega seotud haigusnähte, kuid inimestele ta normaaltingimustel ohtlik ei ole. ZEN on väga resistentne kuumusele ning laguneb alles kõrgetel temperatuuridel (üle 150°C) või happelistes tingimustes [55].

1.4.3 Seente kahjulik mõju inimesele

Seened võivad inimestel tekitada peamiselt kolme tüüpi tervisehäired, milleks on:

- immuuntundlikkusreaktsioonid (allergia ja ärritusnähud),
- seenorganismi poolt tekitatud otsene infektsioon
- toksilised efektid hallituseente metaboliitidest

Allergia on immuunsussüsteemi ülitundlikuse reaktsioon mõne kindla valguga või allergeeni vastu. Umbes igal viiendal inimesel on ülitundlikkus mõne allergeeni vastu. Kuna seened eritavad mitmeid väikeseid ühendeid ja eoseid leidub kõikjal, siis on nad ka väga tavalised allergeenid. Inimestel, kellel on selleks geneetiline soodumus, tekib allergiline reaktsioon, kas seeneosade sissehingamisel või kokkupuutest nahaga. Efekt ilmneb juhul, kui seente kogus on piisav ja inimesel on ülitundlikkus juba välja arenenud. Nähud võivad olla varieeruvad, alates kergetest mööduvatest hoogudest kuni tõsiste krooniliste haigusteni. [65]

Peamised seente põhjustatud allergilised ilmingud on astma, riniit, allergiline põskkoopapõletik, bronhide- ja kopsuümukkoosid ning allergiline alevoliit [65]. Allergiline alevoliit ehk "farmeri kops" on sagedane põllumajandussektoris töötavate inimeste kutsehaigus. See on kopsualveoolide hilist tüüpi allergiline haigus, mis tekib kokkupuutest bioloogilise peentolmuga, näiteks teraviljalt pärineva hallitustolmuga. Sümptomid on kõrge palavik tööpäeval, enamasti tööpäeva lõpul ja öhtul ning

köha, hingamisraskused ja liigesevalud. Soomes tuvastatakse aastas 50-100 allergilise alveoliidi juhtumit. Vihmaste suvede järel, kui hein on kehvema kvaliteediga, esineb "farmeri kopsu" juhtumeid rohkem. [66]

Uuringud on näidanud, et enamus õhus lenduvaid seente eoseid kuuluvad kottseente ja kandseente hõimkonda. Enimuuritud allergeensed seeneliigid on kottseened perekondadest: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, ja *Penicillium* [67]. Ülitundlikkus *Alternaria* perekonna seente vastu, eriti *Alternaria alternata*, on oluliseks riskifaktoriks astma järjepidevuse, raskuse ning potentsiaalse letaalse mõju suhtes [68].

Seenelemendid on võimelised otseselt nakatama kudesid ning see läbi põhjustama mükoose või muid seentega seotud patoloogilisi haigusi [69]. Oportunistlikud seeninfektsioonid leiavad aset, kui inimesel on haiguse või mõne muu põhjuse tõttu nõrgenenud immuunsüsteem. See annab võimaluse seenel põhjustada infektsiooni, kes muidu poleks selleks võimeline. Oportunistliku patogeeni profiil on enamasti sõltuv kindlast immuundefekti tüübist ja astmest. Nõrgenenud immuunsüsteemidega isikute puhul ei tohiks mööda vaadata tavalistest infektsioonidest, sest ka nende tekkimise risk on suurem. [70] Oportunistlikud kopsuinfektsioonid on peamine rasket immuunsüsteemi haigust põdevate (HIV, leukeemia, lümfoom) patsientide surma põhjus [71].

Hallitusseente toksilisus kujutab endast otseseid tervistkahjustavaid efekte, mida kutsuvad esile mükotoksiinid. Ainult osad hallitusseened on võimelised tootma konkreetseid mükotoksiine, ning seda kindlatel tingimustel. Toksilise efekti ilmnemisel peab olema täidetud kolm faktorit:

- eksisteerib toksiin
- subjektil on olnud kokkupuude toksiiniga
- omandatud toksiini kontsentratsioon omab efekti

Üldiselt peetakse vähetõenäoliseks, et igapäevases tavakeskkonnas, kodus või tööl, võiks mükotoksiinidega kokkupuude viia raskete tervisekahjustusteni, sest nende kontsentratsioonid on enamasti madalad. [72] Seeneosakesed, mis on väiksemad kui 10 µm, on kergesti sissehingatavad, mistõttu satuvad mükotoksiinid hingamisteede kaudu hõlpsasti organismi. Hallitusseeni leiduvates ruumides on õhk tihti saastunud ning kokkupuude ärritajatega võib esile kutsuda mitmeid ärritusi ja toksikoosi [69].

Seened võivad veel tekitada ärritusi, mis tekivad seente ainevahetuse käigus õhku lenduvate keemiliste ühendite toimetel. Seened toodavad elutegevuse käigus mitmeid keemilisi ühendeid nagu alkohole, aldehüüde või happemolekule. Õhku sattudes võivad need ärritada silmade ja hingamisteede limaskesti. Sõltuvalt omastatavast toidust võib seen vabastada substraadist äärmiselt mürgiseid gaase. Nendel gaasidel on omapärane lõhn, mis on enamasti ebameeldiv. Tavaliselt tunneme seda hallitus- või kopituslõhnana ja seostame hallituse kasvuga. Leidub ka seeni kelle eritatud gaasidel on meeldiv lõhn. [37]

Peale lõhnast tekkinud limaskestade ärrituse võib lenduvate ainete mõjul tekkida suhu teravamaitsealine aisting. Närviärrituse tõttu kaasnevad sellega mitmesugused reaktsioonid nagu "hinge kinnijäämine", ebamugavustunne, sügelus, põletav tunne ja jüdinad nahal. Raskematel juhtudel võivad tekkida tajuhäired, limaskestade turse, silelihaste krampid, veresoonte seinte ahenemine. Tulemuseks on tähelepanu nõrgenemine, desorientatsioon, peapööritus, reflekside aeglustumine ja muud nähud. Lõhnataju suure individuaalsuse tõttu on ärritust tekitavate ainete minimaalne kontsentratsioon väga erinev. Mõned inimesed suudavad eristada lõhnu juba väga väikestes kontsentratsioonides, teistele on mõju avaldamiseks vaja intensiivset lõhna. Astmahaigetel võib mingi lõhn esile kutsuda ägeda haigushoo. [37]

1.5 SEENKAHJUSTUSTE ENNETAMINE

1.5.1 Tõrje kemikaalidega

Biotsiidideks nimetatakse mikroobide normaalset elutegevust häirivaid või neid surmavaid väliskeskkonna faktoreid. Vastavalt nende olemusele, toimekeskkonnale, toimeajale, toime iseloomule ja mikroobi liigile võivad nad põhjustada mikroobide kasvu ja paljunemise lakkamise või surma. Seente kasvu peatamiseks mõeldud biotsiide nimetatakse fungitsiidideks. Eestis reguleerib fungitsiidide kasutamist Biotsiidiseadus [73].

Põhu kasutamisel ehituses tuleks ennetada võimalikke seenkahjustustusi põhu töötlemisega fungitsiidide toimeained sisaldava immutusvahendiga. Keemilised kaitsevahendid põhu bioloogiliseks kaitseks peavad omama spetsiifilist toksilisust, et suurendada põhu vastupanuvõimet mädanikele, seen- ning putukkahjustustele. Peale nende omaduste peaks need vahendid olema kergesti imenduvad, kahjutud inimestele ja loomadele, keemiliselt inertsed ja vähelenduvad ning ei tohiks suurendada põhu hügrooskoopsust. [74]

Otseselt ehituses põhule mõeldud seenevastaseid kaitsevahendeid ei eksisteeri ning seetõttu oleks sobilik kasutada puidukaitsevahendeid, sest põhu näol on samuti tegu taimse materjaliga ning sarnaste kahjuritega.

Eelmise sajandi keskpaigast alates on kõige rohkem puidukaitse ajaloo vältel kasutatud vask-kroom-arseenisoooladel põhinevat vesialusel puidukaitsevahendit CCA, pentaklorofenooli ja kreosooti. CCA ja pentaklorofenool on aja jooksul nii inimestele kui ka loomadele kahjulikuks osutunud ning nende kasutamine on rangelt piiratud. Kreosoodi laiemat kasutamist piirab aga kemikaali ebameeldiv lõhn. Igal üksikul komponendil on oma nõrkused ja tugevused, mistõttu on praegusel ajal pandud rõhku pigem mitmekomponentsete puidukaitsevahendite väljatöötamisele. Piiratud puidukaitsevahendite asemele on tekkinud uued kemikaalid, mis baseeruvad näiteks vaskasoolil või tributüülinal, kuid nende seentevastane toime pole just kiiduväärt. Tugeva seenevastase mõju poolest on aga laiemalt kasutusel booriühendid (anorgaanilised ühendid – boorhape ja booraks). Tuntud on näiteks naatriumoktaboraat, mis on siiani üheks efektiivseimaks puidukaitsevahendiks. Booriühendite suureks probleemiks on aga nende väljapestavus materjalist ning sellega kaasnev keskkonna saastamine oht. Väljapestavust on võimalik vähendada valmistades booriühendite baasil emulsioonimmuti. [74]

Puiduimmutusvahendid jaotatakse olemuse poolest:

- orgaanilistes lahustites lahustuvad,
- õliantiseptikud,
- pastad
- vees lahustuvad

Tabelis 7. on välja toodud turul leiduvad keemilised immutusvahendid, mida võiks kaaluda põhuplokkide seenorganismide vastu steriliseerimiseks.

Tabel. 7. Turul leiduvad puiduimmutusvahendid ja nende toimeained

Immutusvahend	Toimeained
Adolit M Flüssig	Alküülbensüüldimetüülammooniumkloriid ja naatriumpolüboraat (dinaatriumtetraboraat, boorhape 1:1)
Aidol Induline SW-900	Propikonasool ja 3-jodo-2-propünüülbutüülkarbamaat
Biotol E	Kvaternaarse ammooniumiühendid, bensüül-C8-18 alküüldimetüül -, kloriidid, ja 2-oktüül-2H-isotiasool-3-oon
Bochemit Plus	Alküülbensüüldimetüülammooniumkloriid ja tebukonasool
Boracol 20-2Bd	Dinaatriumoktaboraattetrahüdraat, didetsüüldimetüülammooniumkloriid, lahustiks on monopropüleenglükool
Boral 20	Dinaatriumoktaboraat ja propüleenglükool
Holz Bio	Booriühendid
Inwood Eco	Vask(II)karbonaat ja tebukonasool
Pinotex Imprax	3-jodo-2-propünüülbutüülkarbamaat ja propikonasool
Shell Guard	Dinaatriumoktaboraattetrahüdraat, propüleenglükool ja polüetüleenglükool
Sadolin Imprax	vasknaftenaat
Aura Protect Green New	tolüülfluaniidi, perimetriini ja tebukonasooli
Ligno-Ekstra	metüülfenool
Sovereign	Permetriin ja
Environmental Deepkill	3-jodo-2-propünüülbutüülkarbamaat

1.5.2 Hoone konstruktsioonist tulenev seenkahjustuste ennetamine

Hoonete kaitsmine seenkahjustuste eest on keeruline ülesanne, sest võimalike seenkahjustajate hulk on väga suur. Iga organism on omamoodi ning universaalset lahendust nende vastu võitlemiseks pole. Seente keemilise tõrje puhul on kõige suuremaks probleemiks just universaalsete vahendite puudumine, sest leidub palju resistentseid organisme. Lisaks võib põhuplokkidel keemiliste tõrjevahendite kasutamisega kemikaal ebaühtluselt jaotuda, sest põhuplokk koosneb erineva suurusega osadest ning on rõhuga kokku pressitud. Neid probleeme arvestades, tuleks panna omajagu rõhku võimalikele konstruktsioonist tulenevatele seenkahjustuse ennetamise meetoditele. Hästi projekteeritud hoone on juba iseenesest seenkahjustustele tekkele vastupidavam.

Põhuplokkidel on väike soojusmass ja kehv soojussalvestusvõime. Seetõttu kujuneb väga oluliseks õige seinaviimistlusmaterjali valimine. Põhuseintel soovitatakse kasutada rohke liiva ja peenkruusa sisaldusega savikrohv. Suure tihedusega (1900-2100 kg/m³) savikrohvil on oluline roll hea soojustasakaalu saavutamisel. Siseseinade ehitamisel on soovitatav kasutada savi-, kivi- või silikaatmüüritist. Savi on oma omaduste poolest hea siseruumide õhuniiskuse reguleerija. [75]

Hea võimalus seenkahjustuste ennetamiseks on külmasildade vältimine. Külmasillad tähistavad piirkondi seinas või laes, kus soojuslähivus on lokaalselt suurem ümbritseva konstruktsiooni soojuslähivusest. Külmasildade kahjulikkus seisneb ühelt poolt isolatsiooni vähenemise tõttu soojusvoolu suurenemises ja teisalt tarindi sisepinna temperatuuri alanemises. Külmasilla juures on tarindi sisepinna temperatuur madalam ja välispinna temperatuur kõrgem. [76] Külmasillad suurendavad soojakadusid ja võivad tekitada ka niiskusprobleeme veeauru kondenseerumisel, mis omakorda võib nendes kohtades viia tõsiste probleemideni, kui puudub piisav aurutõke. Niiskusega kokkupuutunud alad kaotavad oma soojust pidavad omadused ja põhu puhul võivad soodustada ka seente ja bakterite kasvu. Seega tuleks põhuehituse puhul vältida külmasildade teket. Nende tekkimiseks kõige tõenäolisemad paigad põhuseinas on näiteks täitmata tühikud, mis asuvad põhupakkide vahel või akna- ja uksekastide ning põhupakkide vahel. Ka puidust konstruktsioon võib toimida külmasildadena, sest puidu soojusjuhtivus on tunduvalt suurem kui põhupakkidel. [75]

Välissein on suurim oht niiskuse sissepääsemiseks, mistõttu tuleks seda niiskuse eest kaitsta igast suunast. Tuule, vihma ja rahe eest tuleks seinä välispinda kaitsta ilmastikukindla pragudeta krohviga või ventileeritud kattedkihiga. Seinä alumise osa kaitseks vihmapiitsmete eest, tuleks põhupakkidest seinä osa, mis jääb maapinnast kuni 30 cm kõrgusele, katta vettpidava kihiga (nt tõrvapapiga). Kui võimalik, siis võiks seda üldse vältida, kasutades põhukonstruksioone alles sellest piirist üleval pool. Vihmapriitsmetest tingitud kahjustuste ohtu saab vähendada ka perimeetri ulatuses kergkruusakatte või taimkatte kasutamise abil. Kõva ja sirge maapind seinä läheduses aga suurendab kahjustuste ohtu. [75]

Tavaliselt väheneb seinä- ja lae konstruksioonide erinevate kihtide resistentsus veeaurule hoone seest väljapoole. Teatud põhuseinä tüüpides võib see aga hoopis vastupidi olla. Näiteks, kui põhuseinä on seestpoolt viimistletud savikrohviga, ja väljast tsementkrohviga, siis jääb veeaur pidama resistentsema tsementkrohvi kihi taha, mis võib soodustada kondensaatvee kogunemist tsementkrohvi kihi põhupoolsele küljele. Põhjuseks on savikrohvi madal difusioonitakistuskonstant ($\mu=6-8$) võrreldes tsementkrohviga ($\mu=20-30$). Isegi kui siseseinä kasutatava savikrohvi kiht oleks mitu korda paksem, kui välisseinä tsementkrohv, jääks tsementkrohvi resistentsus veeauru läbimisele ikkagi märkimisväärselt kõrgemaks. Selle probleemi ärahoidmiseks tuleks kasutada välisseinä lubikrohvi ($\mu\sim 10$) või suurendada siseseinä viimistluskihi difusioonitakistuskonstanti näiteks niiskuskindlama värviga kattes. Põhupakid ise omavad μ -väärtust ligikaudu 2,5. [77]

Üldiselt tuleb jälgida, et põhuseinä jääks niiskussisaldus alla 15%. Selle taseme lühiajaline ületamine ei ole ohtlik põhu lagunemise koha pealt, kuid vähendab suuresti seinä soojuslikke omadusi. Vannitoas ning muudes ruumides mille niiskussisaldus on pidevalt üle 70% on soovitatav suurendada seinä siseviimistluskihi difusioonikoefitsienti. Seda saab teha näiteks krohvile linaseemneõli värnitsat lisades või krohvi katmisega veeaurule resitentsete värvidega. Aurutõkke kiht pole aga üldiselt vajalik aurule läbitava seinäkonstruksiooni puhul, kui välisviimistluses on kasutatud lubikrohvi või mõnda muud hingavat viimistlusmaterjali. [75]

Savi kasutamine siseviimistluses, aitab oma sobivatele niiskust imavatele omadustele niiskust kontrolli all hoida. Kui õhuniiskus tõuseb üle 50%, imab savi niiskust, ja kui langeb alla 50%, vabastab ta seda. Tuleb silmas pidada, et savikrohvi sorptsioonivõime varieerub tugevalt erinevate valmissegatud krohvisegude lõikes, sõltuvalt savisisaldusest ja tüübist ning orgaanilistest lisanditest. Lahtise põhu kõrged

sorptsiooninäitajad ei oma praktilist tähtsust siseruumide niiskustasakaalu kujundamisel, sest kasutatud põhupakid on tihedalt pressitud ja ülekrohvitud, mis kokku pidurdavad sorptsiooniprotsessi märkimisväärselt. Seetõttu on soovitatav kanda põhuseinale suhteliselt paks ja mitmekihiline savi-liivakrohv. [75]

Seente kasvu aitab takistada ka ventileerimine, mis takistab niiskuse kogunemist. Võimalik on kasutada näiteks loomulikku ventileerimissüsteemi, mis näeb ette majaanuse vaba ruumi ja ventilatsioonivade loomist. Majaanuse ruumi ja pööningu õhuvahetus toimub sel viisil otse väliskeskkonda ning ilmastikumuutused lasevad sel loomulikul teel toimuda. Madala õhurõhu korral imetakse maja seest tulev niiske õhk välja, samas kui, kõrge õhurõhu korral surutakse kuiv õhk maja sisemusse. Selleks et loomulik ventilatsioon toimiks, ei tohiks pööningule paigaldada täiendavat isolatsioonikihti või majaanusesse ruumi viivaid ventilatsioonivavasid sulgeda. [78]

2 MATERJAL JA METOODIKA

2.1 Proovivõtukohta iseloomustus ja proovide võtmine

Katsete aluseks oli rukkipõhk, mis lõigati Eestist Elva lähistelt 02.09.2013. Kogutud põhk pressiti 40x25x10 cm suurustesse põhupakkidesse.

Põhupakid ladustati umbes 6 nädalaks kahte erinevasse keskkonda:

- kontrollimatutesse välitingimustesse
- sisetingimustesse, temperatuuri $15\pm 2^{\circ}\text{C}$ ja õhuniiskuse $55\pm 10\%$ juurde

Kuue nädala möödudes lõigati nii väli- kui ka sisetingimustes seisnud põhupakkidest eraldi välja umbes 5 grammi materjali. Materjali kogumine toimus põhupakkide kõikidelt külgedelt ning erinevatelt sügavustest pakkide sisemusest, et oleks võimalik arvestada põhupakki kui tervikut. Kogutud materjal jahvatati seejärel jahvatusmasina abil peeneks ning jahvatatud materjal võeti ülesse fosfaat puhvrisesse.

Kemikaalide lisamiseks söötmetesse valmistati ette järgnevad vesilahused:

- Biotol kontsentratsiooniga 0,27g/100ml (1:10 lahjendus, vastavalt tootja soovitudele)
- Boorhappe lahus kontsentratsiooniga 5g/100ml

2.2 Kasutatud söötmed

Kõik seenekultiveerimised teostati järgneva söötme baasil:

- 7,5 g agar
- 10,0 g linnase ekstrakt
- 0,1 g klooramfenikool
- 500 ml dest. vett

Söötmete valamise käigus lisati söötmetele erinevates kontsentratsioonides Biotoli (BI) ja H_3BO_3 (BO) vesilahuseid. Mõlema kemikaali kohta tehti iga kontsentratsiooni juures sise- ja välis proovi jaoks eraldi söötmed. Korruga katsetati mõlema kemikaali kohta viite erinevat kontsentratsiooni. Iga katse käigus valmistati kokku 20 söödet (10 sise- ja 10 välisproovi kohta). Vastavalt eelmistele katsetulemustele suurendati järk-

järgult mõlema kemikaali kontsentratsiooni sötmes. Info sötmete kohta leidub Tabelis 8, kus sötmed on vastavalt katsejärgule märgitud numbritega I – V.

Tabel 8. Katsetes kasutatud kemikaalid ja nende kontsentratsioonid sötmes

Katse nr.	I		II		III		IV		V	
Kemikaal	BI	BO	BI	BO	BI	BO	BI	BO	BI	BO
Kemikaali konts. (µl)	0	0	20	20	40	40	80	100	120	100
	10	10	40	40	60	60	100	120	140	150
	20	20	60	60	80	80	120	140	160	200
	30	30	80	80	100	100	140	160	180	250
	40	40	100	100	120	120	160	180	200	300

2.3 Seente külvamine

Sise- ja välisproovid külvati kolooniate arvu määramiseks üle plaadi, pindkülvimeetodit kasutades, spaatliga 10-le sötmele.

Seenekultuuride väljakasvatamiseks kasutati joonkülv erinevaid variatsioone (ringikujuliselt ja joontega). Esimestel kemikaali sisaldusega sötmetel, kasutati kolooniate arvu määramisest saadud seenmaterjali. Edasised külvamised toimusid eelmise katse seenmaterjali baasil, võttes arvesse proovide eripära.

2.4 Seeneliikide värvimine ja mikroskoopia

Seeneliikide värvimiseks valmistati ette 2 ml 0,5% bengaalpunase värvilahust 5% alkoholi lahuses.

5 viimast sise- ja 5 välis proovi fikseeriti destilleeritud vee abil leegiga klaasplaatidele. Fikseeritud kolooniatega plaadid värviti bengaalpunase lahusega. Seejärel lasti värvil kuivada ning pesti destilleeritud veega värv maha. Protsessi korrati kolm korda. Värvitud kolooniad uuriti 2000x suurendusega mikroskoobi all.

3 TULEMUSED

Seente kolooniate arv:

- siseproovides 71 ± 22 KMÜ/g
- välisproovides 83 ± 20 KMÜ/g

3.1 Steriliseerimisvõimalused põhuplokkidel seente vastu

Seente kasvu inhibitsioon Biotoli lahusega töödeldud söötmete puhul:

- sisetingimustes ladustatud põhul algas seente inhibitsioon kontsentratsioonist 3,78 mg/ml, oli seejärel häiritud, ning lõppes kontsentratsiooniga 4,32 mg/ml.
- välitingimustes ladustatud põhul algas seente inhibitsioon kontsentratsioonist 4,32 mg/ml, oli seejärel häiritud, ning lõppes kontsentratsiooniga 4,86 mg/ml.

Seente kasv H_3BO_3 lahusega töödeldud söötmete puhul kõiki seenorganisme inhibeerivad märke ei ilmutanud. Nii sise- kui välitingimuses ladustatud põhul jätkasid seened kasvamist ka H_3BO_3 kontsentratsiooni juures 35 mg/ml.

3.2 Kemikaalidele resistentsemad seeneperekonnad/liigid

Viimases katsefaasis, suurimate kemikaalide kontsentratsiooni juures tuvastati järgnevad seente perekonnad: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium* ja *Sclerotinia*. Lisaks tuvastati veel ühe aktinomütsetide perekonna *Streptomyces* kasv.

Aspergillus on tuntud kosmopoliit ning teda leidub mullas, puidul, laguneval orgaanilisel materialil ja õhus. Perekonda kuuluvad liigid on väga vastupidavad ning esinevad tavaliselt suurte hulkadena. *Aspergilluse* perekonnas on ligikaudu 20 liiki, kes kujutavad endast ohtu nii inimestele kui ka loomadele, põhjustades allergiat või aspergilloose (30). *Aspergillus* on võimeline tootma suurel hulgal erinevaid mükotoksiine, millest toksilisemad on aflatoksiinid ja ohratoksiinid. Sagedased *Aspergilluse* poolt toodetud toksiinid on veel sterigmatotsüstiin, tsüklopiasoonhape, patuliin, tsitriniin ja tremorgeensed toksiinid. Enamus nendest on inimesele kantserogeensed, mitmed kahjustavad arenevat loodet, immuunsüsteemi, maksa, neere ning tremorgeensed toksiinid on kahjulikud närvisüsteemile. [29]

Penicillium on saprotroof ning lagundab *Penicillium* on ka üks enimlevinud õhus lenduvatest seentest ning teda leidub alati ka siseruumides. Klassikaliselt on perekond tuntud antibiootikumide (penitsilliin) moodustajana.

Penicillium seened on tuntud taimepatogeenid põhjustades mädanikke ning võivad inimestel tekitada oportunistlike infektsioone. Nad toodavad ka suurel hulgal mükotoksiine: patuliini OTA, tsitriniini, penitsilliin hapet jm. *Penicillium* perekonda kuulub ka väga ohtlik, tavaliselt surmaga lõppeva süvamükoosi - penitsilloosi tekitaja *Penicillium marneffeii*. *Penicillium*'i eosed sisaldavad kõige rohkem mükotoksiine, kuigi pinnaniidistik sisaldab neid samuti. Tähtis on teada, et eoste mürgisus ei vähene seene suremisel. Sageli ei osata sellele piisavat tähelepanu pöörata ja väidetakse, et hallituskord on juba ammu ära kuivanud. [43]

Cladosporium on kõikjalesinev mullas, õhus ja orgaanilise aine pinnal leiduv hallitusseen. Perekonda kuulub üle 772 nime, millest tuntuimad on *Cl. elatum*, *Cl. herbarum*, *Cl. sphaerospermum* ja *Cl. cladosporioides*. *Cladosporium* seened on väga erinevate omadustega. Perekonnas leidub nii taimpatogeene kui ka endofüüte ning mitmed liigid on võimelised inimestel mükoose ja allergiaid tekitama. [36]

Elutegevuse käigus eritab seen lenduvaid orgaanilisi ühendeid, millel on märkimisväärselt ebameeldiv lõhn ja mis on mürgised. Harvadel juhtudel võib ta tekitada silmade, naha ja hingamisteede haigestumist. Sagedamini tekitab seen läbi torkehaavade nahaaluseid põletikke. *Cladosporium* eritab mitmeid mürgiseid metaboolseidprodukte, sealhulgas ka antibiootikume. [37]

Sclerotinia on kottseente hulka kuuluv perekond, mille liigid on kosmopoliidid, kuid levivad peamiselt parasvöötme regioonides. *Sclerotinia* talub madalaid temperatuure ning kasvab pigem niisketes tingimustes [79]. Mitmed *Sclerotinia* perekonda kuuluvad seeneliigid on destruktiivsed taimpatogeenid, põhjustades taimedel varre- ja krooni mädanikke 80. Peamised patogeensed liigid on *Sclerotinia sclerotiorum* ja *S. minor*, mis mõjutavad enim köögivilju ning põhjustavad neil valgemädanikku [81].

Nii *Sclerotinia sclerotiorum* kui ka *S. minor* moodustavad taimede ja ümberkaudse maapinna peale tihedaid valgeid vatitaolisi mütseele. Selle valge massi sisse moodustuvad tihedad skleroodi kehad, mis vananedes muutuvad värvuselt

tumedaks. Taimekudesid koloniseerides põjustavad osad *Sclerotinia* liigid hallikaspruune kahjustusi. Esineb ka tõsiseid koekahjustusi, mille tulemusel tekib pudrutaoline pehme mäda.

Sclerotinia minor ei tooda enamasti eoseid ning ründab taimi maapinna lähedalt juurtest ja varrest. Enim saavad kahjustada taime toetavad osad ning selle tagajärjel taim lõpuks närbub ja kukub kokku. *Sclerotinia sclerotiorum* võib taimi rünnata sarnasel *S. minor*iga maapinna lähedalt, kuid tal on ka võime toota eoseid. Seetõttu võib ta koloniseerida ka teisi õhus olevaid taimeosi.

Sclerotinia liikide vastu on efektiivsed mitmed fungitsiidid, mille toimeained on kvintoseen, fuberidasool, dikloraan ja tiofanaat-metüül. [82]

Streptomyces on aktinomütseetide hõimkonda kuuluv suurim bakteri perekond. Nad on gramm-positiivsed bakterid ning neid leidub maapinnas ja laguneval orgaanilisel ainel. *Streptomyces* sarnaneb oma elutegevuse ja välimuse poolest seentega. Neil on vegetatiivsed hüüfid, mis moodustavad mütseel ning nad levivad eostega.

Streptomyces on harv taimpatogeen ning mõned liigid on võimelised ka inimestel infektsioone tekitama.

4 ARUTELU

Saadud tulemustest selgus, et sisetingimustes ladustatud põhil moodustus umbes 15% vähem seente kolooniad, kui välitingimustes seisnud põhil. Tulemus, kus välitingimustes seisnud põhil tekib rohkem kolooniad oli oodatav, kuid oli eeldatud, et nende vahe võiks tulla suurem kui 15%. Välikeskkonnas on väga muutuvad tingimused ning see annab võimaluse kasvada palju suuremal arvul seenorganismidel, kui kontrollitud sisetingimustes. Põhk seisis umbes 6 kuud välitingimustes ning selle aja jooksul oli kindlasti suhtelise õhuniiskuse tase varieeruv ka vahemikel 70-100%, mida peetakse mikroseeente kasvu suhtes optimaalseks. See annab võimaluse areneda välja erineva taseme koloniseeriatel. Niiskuse vähenedes nende elutegevus enamasti ei lõppe, vaid nad jäävad puhkeseisundisse sobivamaid keskkonnatingimusi ootama. Olenevalt seene olemusest, eelistavad nad elupaikadena kas surnud või elusaid taimeosi. Ka sisetingimustes ladustatud põhil võib leiduda erineva astme koloniseeriad, kuid olenevalt liigi eripärast on eeldatavasti surnud taime osi eelistavate seente hulk väiksem. Seda sel põhjusel, et põhk on peale niitmist viidud sisetingimustesse ning pole olnud pikaajalist kokkupuudet suurema niiskustasemega.

Katses kasutatavateks kemikaalideks sai valitud küllastunud boorhape (H_3BO_3) ja Biotol E. H_3BO_3 ja booriühendid on tuntud fungitsiidid ning nad on laialt kasutuses puidutööstuses, sest ei oma märkimisväärsed keskkonnamõjusid. Biotol E on klassifikatsioonilt ärritav ja keskkonnaohtlik fungitsiid, mis sai valitud võrdemiseks nõ ökoloogilise variandiga, ehk H_3BO_3 -ga.

Katsete tulemusel selgus, et Biotol E inhibitsioon algas kontsentratsioonist 3,78 mg/ml ning oli täielik kontsentratsiooni juures 4,86 mg/ml.

H_3BO_3 puhul ei jõutud inhibeerivate omadusteni kontsentratsiooni juures 35mg/ml. Rohkem täiendavaid katseid ei sooritatud, sest H_3BO_3 konts 35 mg/ml on küllaltki suur. Sellise konts. H_3BO_3 kasutamine põhuplokkide steriliseerimiseks oleks majanduslikult ebaotstarbekas ning ka võimalike keskkonnamõjudega. Ei ole võimalik ka arvutada, milline võiks olla inhibeeriv H_3BO_3 konts., sest pole teada täpseid seente liike ning nende eripära.

Nendest tulemustest võib järeldada, et Biotol E on tunduvalt efektiivsem fungitsiid kui H_3BO_3 , kuid tema kasutamine on ökoehituses välistatud, sest tegu on ohtliku kemikaaliga.

Kemikaalidele resistentseimad seente perekonnad olid *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium* ja *Sclerotinia*. Kõik nendest on laialt levinud nii õhus, maapinnas ja ka siseruumides. Nad lagundavad orgaanilist ainet, mistõttu on nad ohtlikud ka ehituses kasutatavatel põhuplokkidel.

Aspergillus ja *Penicillium* on esimesed koloniseerijad [26] ning neile sobivad ka kuivemad tingimused. *Cladosporium* on sekundaarne koloniseeria [26] ning kasvab mõõdukalt niisketes tingimustes. *Sclerotinia*, tertsiaalse koloniseeriana, eelistab väga niiskeid ning ka jahedaid tingimusi [79]. Seega võib järeldada, et põhu niiskuskahjustuste korral ilmuvad sinna kõigepealt *Aspergillus* ja *Penicillium*, seejärel *Cladosporium* ning väga niisketes tingimustes ka *Sclerotinia* perekonda kuuluvad seente liigid.

Kõik tuvastatud resistentsetest seenperekondadest sisaldavad liike, mis on taime- või inimpatogeenid. Nad on võimelised oma elutegevuse käigus tootma mitmeid ohtlike mükotoksiine, põhjustama taimehaigusi või tekitama inimestel allergilisi reaktsioone ja infektsioone.

Katsetatud kemikaalidele resistentsetest seenperekondadest on kõige tõenäolisemad põhul leiduvad seeneliigid primaarsete koloniseerijate *Aspergillus* ja *Penicillium* perekondadest. Mõlema seenperekonna osad liigid on võimelised tootma ohratoksiinidest kõige toksilisemat ohratoksiin A-d. OTA on immunsust pärssiv inimestele ohtlik mükotoksiin [63], mida võivad toota ka meie kliimas levivad seened. *Aspergillus* perekonda seened võivad toota aflatoksiine, mis on kuulutatud Rahvusvahelise Vähiuuringute Agentuuri poolt kantserogeenseks [53]. *Aspergillus* võib tekitada veel spetsiifilisi infektsioone, mida nimetatakse aspergilloosideks.

Cladosporium perekonda kuuluvad seeneliigid ei tooda teadaolevalt ohtlike mükotoksiine, kuid nad on väga levinud allergeenid ning võivad inimestel tekitada ka infektsioone.

Sclerotinia perekonda kuuluvad seeneliigid võivad olla taimepatogeenid, põhjustades näiteks valgemädanikke ning seetõttu on nad põhumajas ohtlikud materjalidele. Inimestele erilist ohtu ei oma.

Katsete tulemusel tuvastati veel bakteriperekond *Streptomyces*, mis oli üllatav sest söötmete koostise eripära põhjal oli eesmärgiks bakterite kasv välistada. *Streptomyces* on aktinomütsete hõimkonda kuuluv suurim bakteri perekond ning neid leidub maapinnas ja laguneval orgaanilisel ainel. *Streptomyces* sarnaneb oma elutegevuse poolest seentega ning on orgaanilise aine lagundaja ohtlik ka põhule.

Streptomyces on harv taimpatogeen ning üksikud liigid on võimelised ka inimestel infektsioone tekitama.

Kõige efektiivsem viis seenorganismide steriliseerimiseks on neile ebasobivate keskkonnatingimuste loomine. Piisab niiskuse, temperatuuri ja õhu kättesaadavuse kontrollimisest ning neid parameetreid silmaspidades maja hoolikast konstrueerimisest.

Põhuplokkidel leiduvate seente keemiliseks steriliseerimiseks ei ole otstarbekas kasutada booriühendeid, sest need ei ole mõistliku kontsentratsiooni juures resistentsete seenperekondade vastu efektiivsed. Biotol E on seente vastu tugevate steriliseerivate omadustega, kuid tema kasutamine ökoehituses on välistatud, sest sisaldab keskkonnaohtlikke aineid. Keskkonnasõbralikke keemilisi steriliseerimisvõimalusi tuleks veel täiendavalt uurida.

KOKKUVÕTE

Ökoehituses eelistatakse traditsioonilistele ehitusmaterjalidele, looduslike ning keskkonnasõbralike materjalide kasutamist. Üheks selliseks materjaliks on põhk, mis on teraviljakasvatuse kõrvalsaadus. Põhk, orgaanilise materjalina, on vastuvõtlik mitmesugustele bioloogilistele lagundajatele ning kahjuritele.

Käesolev magistritöö keskendub põhku potentsiaalselt koloniseerivatele seenkahjuritele, nende kahjulikkusele ning nende tekke ennetamisele põhumajades. Ökoehituses kasutatavate looduslike materjalide võimalikud seenorganismide vastased keemilised steriliseerimisvõimalused on piiratud, sest enamike kemikaalidega kaasneb keskkonnamõju.

Antud töö eesmärgiks oli leida sobivad kemikaalid seente kasvu inhibeerimiseks põhuplokkidel, neid põhul katsetada ning seeläbi tuvastada ka kemikaalidele resistentseimad seeneliigid. Saadud tulemuste ning kirjanduse põhjal oli võimalik teha järgnevad järeldused:

- Seenorganismide kasv põhuplokkidel võib tekitada ehitisele füüsilisi kahjustusi ning nad omavad potentsiaalselt ohtu inimese tervisele.
- Seenkahjustusi ehitistel saab ära hoida mikroorganismidele oluliste tegurite ohjamisel.
- Seeneperekonnad *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium* ja *Sclerotinia* on resistentsed booriühenditele kontsentratsiooni juures 35 mg/ml.
- Booriühendid, mida oleks sobilik kasutada ökoehituses, pole resistentsemate seenorganismide suhtes piisavalt efektiivsed. Booriühendite efektiivsete kontsentratsioonide kasutamine pole otstarbekas, sest sellega võib kaasneda keskkonnaoht.
- Kemikaal Biotol E on efektiivne ka resistentsemate seenorganismide vastu, kuid selle kasutamine ökoehituses on välistatud, sest kuulub klassifikatsioonilt ärritavate ja keskkonnaohtlike kemikaalide alla.
- Olenemata baktereid välistava söötme kasutamisest, ilmnas organismide tuvastamisel gram-positiivse bakteriperekonna *Streptomyces* kasv, mis oli resistente boorhappele kontsentratsiooni juures 35 mg/ml.

Käesoleva magistritöö tulemusel ei tuvastatud ökoehitusele sobivat kemikaali, mida saaks kasutada põhuplokkide seenorganismide vastaseks steriliseerimiseks. Antud probleem on aktuaalne ning vajab täiendavaid uuringuid.

SUMMARY

Green construction favors the use of natural and environmentally friendly materials instead of traditional ones. Straw as an agricultural by-product is a possible material for the use of green construction. Straw as an organic material is unfortunately prone to attract decomposers and possible pathogens.

Current thesis focuses on fungi capable of colonising straw, the possibly harmful side-effects of their colonisation and the potential for preventing large-scale decomposition in straw blocks with the use of chemical treatment. The chemical treatment of straw blocks against fungi is limited in green construction, as the use of most chemicals involve environmental risks.

The aim of this thesis was to determine the effective concentration of two selected chemicals against fungal growth on straw blocks. Also, to test on different genera of fungi and thereby assess the chemical resistance of the selected genera. Based on test results and corresponding literature it was possible to make the following conclusions:

- Fungal growth on straw blocks can cause direct physical damage to buildings and fungi possess a possible threat to human health
- Damage caused by fungi in buildings can be prevented by the control of essential factors needed for microbial growth.
- Some species in *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium* and *Sclerotinia* are resistant to boron compounds up to the concentration of 35 mg/ml.
- Boron compounds, that would meet the requirements of green construction, are ineffective against resistant fungal genera if treated with concentrations acceptable in green housing. The concentrations needed to stop the fungal growth would be too high and could possibly cause environmental risks
- Chemical Biotol E is effective against resistant fungal genera, but its use in green construction is ruled out, because it is classified as environmentally dangerous
- Even though bacterial growth was excluded with the use of specific culture medium, the results showed the presence of a gram-positive bacterial genus *Streptomyces*, which was resistant to boron in the concentration of 35 mg/ml

The research done for this thesis could not point out a suitable chemical treatment method for the inhibition of fungal growth on straw blocks. The problem remains and requires further research

TÄNUSÕNAD

Autor avaldab tänu oma juhendajale Sander Kuttile, kes aitas antud magistritöö jaoks leida sobivaid meetodeid ning jagas oma teadmisi mikrobioloogia ja keemia vallas.

Veel soovib autor tänada oma lähedasi mõistva suhtumise ning toetuse eest.

KIRJANDUS

1. **EEA**. 2013. Final energy consumption by sector (CSI 027/ENER 016).
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-5/assessment> (2.06.2014).
2. **T. Helwig, R. Jannasch., R. Samson, A. DeMaio and D. Caumartin**. 2002. Agricultural Biomass Residue Inventories and Conversion Systems for Energy Production in Eastern Canada. REAP. Canada. 8 lk.
3. **Maelu Edendamise Sihtasutus**. 2007. Eestis olemasoleva, praeguse või juba kavandatud tootmise-tarbimise juures tekkiva biomassi ressursi hindamine. MES. Tartu. 66 lk.
4. **Jäätmeseadus**. Riigikogu seadus. 28.01.2004.RT I 2004, 9, 52.
5. **Euroopa Nõukogu Direktiiv 2008/98/EC**
6. **Morrison, I.M.** 1979. The degradation and utilization of straw in the rumen. In: Grossbard, E. (Ed.). Straw Decay and its Effect on Disposal and Utilization. Wiley. p. 237–245.
7. **Ghaffar, S.H., Fan, M.** 2013. Structural analysis for lignin characteristics in biomass straw. Biomass and Bioenergy. Volume 57. p. 265.
8. **Dodson , J.R.** 2011. Wheat straw ash and its use as Silica straw. University of York.
9. **Sun, R.C., Tomkinson, T.** 2000. Essential guides for isolation/purification of polysaccharides. In. Wilson, I.D., Adlard, T.R., Poole, C.F., Cook, M. (Eds.). Encyclopedia of Separation Science. Academic Press. London. p 4568.
10. **Antongiovanni, M., Sargentini, C.** 1991. Variability in chemical composition of straws. In : Tisserand, J.-L. (ed.), Alibés, X. (ed.). Fourrages et sous-produits méditerranéens. Zaragoza. CIHEAM. p. 50-52.
11. **Kent, T.K.** 1971. Effects of microorganisms on lignin. In: Annual Review of Phytopathology. Vol 9. p. 185-210.
12. **Summers, M.D., Blunk, S.L., Jenkins, B.M.** 2003. How straw decomposes. EBNNet Straw Bale Test Program. p. 1-6.
13. **Grätz, M. Indriksone, D.** 2011. Ökoloogilised ehitusmaterjalid. As Rebellis. Saku. 3-6 lk.
14. **Kubba, S.** 2012. Green Building Materials and Products. In. Handbook of Green Building Design and Construction. p. 227-311.

15. **Bronsema, R.N.** 2010. Moisture Movement and Mould Management in Straw Bale Walls for a Cold Climate. University of Waterloo. Canada. p. 4-18.
16. **Munch-Andersen, J. Andersen, B.M.** 2004. Halmhuse. By og Byg Resultater 033. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm. 42 lk.
17. **Christian, J.E., Desjarlais, A.O., Stovall, T.K.** 1998. Straw Bale Wall Hot Box Test Results and Analysis.
18. **Watts, K.C., Wilkie, K. I., Thompson, K.** 1995. Thermal and mechanical properties of straw bales as they relate to a straw house.
19. **Savikodu.** 2010. Hea pöhupakk. <http://savikodu.ee/index.php/pohu-kasutamine-ehituses/hea-pohupakk> (2.06.14).
20. **Farmcollector.** 2012. History of hay press. <http://www.farmcollector.com/implements/hay-press-zmhz12fzbea.aspx#axzz32WohlDrg> (2.06.14)
21. **Tippel, A.** 2009. Pöhupakkidest elamu välisseina niiskus-, konstruktsiooni- ja soojustehnilise käitumise uuring. TTÜ TK. Tallinn. 10 lk.
22. **Savikodu.** 2010. Põhu kasutamine ehituses. <http://www.savikodu.ee/index.php/pohu-kasutamine-ehituses> (2.06.14).
23. **Johansson, P., Ekstrand-Tobin, A., Svensson, T. Bok, G.** 2012. Laboratory study to determine the critical moisture level for mould growth. In: International Biodeterioration & Biodegradation. 73. p. 23-32.
24. **Roasto, M.** Toidupatogeenide ja toidumikrobioloogia algkursus. EMÜ. <http://toidumikrobioloogiaalgkursus.weebly.com/vee-aktiivsus.html> (2.06.14).
25. **Lõiveke, H.** 2008. Hallitusseened ja mükotoksiinid teraviljas. Talu leht. 9 lk.
26. **Nielsen, K.F.** 2002. Mould growth on building materials: Secondary metabolites, mycotoxins and biomarkers. Statens Byggeforskningsinstitut. p. 3-28.
27. **Pinto, V.F.** 2008 Detection and determination of Alternaria mycotoxins. In: Mycotoxins in fruits and vegetables. Academic Press. p 271-278.
28. **EFSA.** 2011. Scientific Opinion on the risks for animal and public health related to the presence of Alternaria toxins in feed and food. EFSA Journal. 9(10):2407. p. 97.
29. **Ukkivi, K.** 2011. Perekonna kerahallik (*Aspergillus*) toidul kasvavad liigid ja nende toodetavad mükotoksiinid. Tartu Ülikool. Tartu. 3-6 lk.
30. **Brakhage, A.A.** 2005. Systemic fungal infections caused by *Aspergillus* species: epidemiology, infection process and virulence determinants. In: Current Drug Targets. p. 875–886.

31. **EMLab** **P&K.** Aureobasidium sp.
<http://www.emlab.com/app/fungi/Fungi.po?event=fungi&type=primary&species=6>
 (2.06.14).
32. **Singh, R.S., Gaganpreet K. Saini, G.K., Kennedy, J.F.** 2008. Pullulan: Microbial sources, production and applications. In: Carbohydrate Polymers. Volume 73, Issue 4. p. 515–531.
33. **Pritchard, R.C., Muir, D.B.** 1987. Black fungi: a survey of dematiaceous hyphomycetes from clinical specimens identified over a five year period in a reference laboratory.
34. **Najafzadeh, M.J., Fata, A., Naseri, A., Keisari, M.S., Farahyar.** 2013. Implantation phaeohyphomycosis caused by a non-sporulating Chaetomium species. In: Journal of Medical Mycology.
35. **Thomas, C., Mileusnic, D., Carey, R.B., Kampert, M., Anderson, D.** 1999. Fatal Chaetomium cerebritis in a bone marrow transplant patient.
36. **Bensch, K., Braun, U., Groenewald, J.Z., Crous, P.W.,** 2012. The genus Cladosporium. In: Studies in Mycology. 72:1-401.
37. **Kallavus, U.** 2005. Kas hallitus võib ka mürgine olla?
http://www.keskkonnatehnika.ee/arhiiv/2001/5_2001/kallavus.htm (2.06.14).
38. **Smith, S.N.** 2007. An Overview of Ecological and Habitat Aspects in the Genus Fusarium with Special Emphasis on the Soil-Borne Pathogenic Forms. In: Plant Pathology Bulletin 16. p 97-120.
39. **Lõiveke, H., Ilumäe, E., Akk, E.** 2008. Teravilja mikrobioloogiast ja ohutusest. Eesti Maaviljeluse Instituut.
40. **Lõiveke, H.** 2008. Fusariumid ohustavad teravilja. Eesti Maaviljeluse Instituut.
41. **Bibashi, E., SybrendeHoog, G., Pavlidis, T.E., Symeonidis, N., Sakantamis, A., Walther, G.** 2012. Wound infection caused by Lichtheimia ramosa due to a car accident. In: Medical Mycology Case Reports. Volume 2, 2013. p. 7–10.
42. **Hoffmann, K., Discher, S., Voigt, K.** 2007. Revision of the genus Absidia (Mucorales, Zygomycetes) based on physiological, phylogenetic, and morphological characters; thermotolerant Absidia spp. form a coherent group, Mycocladiaceae fam. nov.
43. **Pilt, K.** Ehitusmükoloogia: Mikro- ehk Hallitusseened.
<http://mycology.ee/UserFiles/File/mikro-ehk%20hallitusseened.pdf> (2.06.2014).

44. **Jarvis, B.B** .2002. *Stachybotrys chartarum*: a fungus for our time. In: *Phytochemistry*. 64 (2003). p. 53–60.
45. **Hossain, M.A., Ahmed, M.S, Ghannoum, M.A.** 2004. Attributes of *Stachybotrys chartarum* and its association with human disease. In: *Molecular mechanisms in allergy and clinical immunology*. p. 201-208.
46. **Institut national de santé publique du Québec**. *Ulocladium Chartarum*. <http://www.inspq.qc.ca/english/mould-compendium/ulocladium-chartarum> (2.06.14).
47. **Zalar, P., de Hoog, G.S., Schroers, H-J., Frank, J.M., Gunde-Cimerman, N.** 2005. Taxonomy and phylogeny of the xerophilic genus *Wallemia*.
48. **Konsa, K., Pilt, K.** 2012. Hoonete biokahjustused. *Eesti Mükoloogiauringute Keskuse SA. Tartu*. 45-89 lk.
49. **Yoon Soo Kim, Y.S., Singh, A.P.** 2000. Micromorphological characteristics of wood biodegradation in wet environments: a review. *IAWA Journal*. Volume 21, Issue 2p. 135-155.
50. **Morrell, J. J.** 2005. Protection of Wood-Based Materials. In: (Ed) Kutz, M. *Handbook of Environmental Degradation of Materials*. p 299-317.
51. **Kirk, M.T., Kent, T.** 1988. Lignin Peroxidase of *Phanerochaete chrysosporium*.
52. **Schmidt, O.** 2007. Indoor wood-decay basidiomycetes: damage, causal fungi, physiology, identification and characterization, prevention and control. *Mycological Progress*. 6 (4): 261-279.
53. **IARC.** 1993. Some Naturally Occurring Substances: Food Items and Constituents, Heterocyclic Aromatic Amines and Mycotoxins
54. **European Union Reference Laboratories.** Factsheet Mycotoxins 4th edition. https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/Factsheet%20Mycotoxins_2.pdf (2.06.14).
55. **Marin, S., Ramos, A.J., Cano-Sancho, G., Sanchis, V.** 2013. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. In: *Food and Chemical Toxicology*. 60. p. 218–237.
56. **da Rocha, M.E.B., Freire, F.C.O., Maia, F.E.F., Guedes, M.I.F., Rondina, D.** 2012. Mycotoxins and their effects on human and animal health. In: *Food Control*. 36. p. 159-165.
57. **Binder, E.M., Tan, L.M., Chin, L.J., Handl, J., Richard, J.** 2007. Worldwide occurrence of mycotoxins in commodities, feeds and feed ingredients. In: *Animal Feed Science and Technology*. Volume 137, Issues 3–4. p. 265–282.
58. **Ueno, Y.** 1984. Toxicological features of T-2 toxin and related trichothecenes.

59. **EFSA**. 2005. Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in Food Chain on a request from the Commission related to fumonisins as undesirable substances in animal feed.
60. **IARC**. 2002 Some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene
61. **HGCA**. 2004. Ochratoxin a (ota) in cereals: development of a rapid test; species and conditions favouring development.
62. **EFSA**. 2006. Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the commission related to ochratoxin a in food.
63. **Kuiper-Goodman T**. 1991. Risk assessment of ochratoxin A residues in food. IARC Scientific Publications.
64. **Boudra, H., Le Bars, P., Le Bars, J**. 1995. Thermostability of ochratoxin A in wheat under two moisture conditions. In: Applied and Environmental Microbiology. March .vol. 61 no. 3. p. 1156-1158.
65. **Chiu, A.M., Fink, J.N**. 2002. Fungal allergy and pathogenicity. Introduction. Chemical Immunology and Allergy. Vol. 8.
66. **Tööttervishoiu Keskus**. 2004. Tööst põhjustatud allergiad. Tallinn. http://osh.sm.ee/good_practice/allergia_all.pdf (2.06.14).
67. **Horner, W. E., Helbling, A., Salvaggio, J.E., Lehrer, S.B**. 1995. Fungal allergens. In: Clinical Microbiology Reviews. 8(2). p. 161-175.
68. **Bush, R.K., Prochnau, J.J**. 2004. Alternaria-induced asthma. Journal of Allergy and Clinical Immunology. 113(2) p. 227.
69. **Genuis, S.J.**, 2007 Clinical medicine and the budding science of indoor mold exposure. In: European Journal of Internal Medicine. Vol. 18, (7). p. 516–523.
70. **José, R.J., Brown, J.S**. 2012. Opportunistic and fungal infections of the lung. In: Medicine. Volume 40, Issue 6. p. 335-339.
71. **Alvarez, B., Arcos, J., Fernández-Guerrero, M.L**. 2011. Pulmonary infectious diseases in patients with primary immunodeficiency and those treated with biologic immunomodulating agents. In: Current Opinion in Pulmonary Medicine. Vol. 17(3). p. 172-179.
72. **Bush, R.K., Portnoy, J.M., Saxon, A. Terr, A.I., Wood, R.A**. 2006. Position paper: The medical effects of mold exposure. Environmental and occupational respiratory disorders.
73. **Biotsiidiseadus**. Riigikogu seadus, 14.05.2009. RT I 2009, 29, 174.

74. **Reiska, R.** Puidu kaitseimmutus. TTÜ. Puidutöötlemise õppetool. http://www.kk.ttu.ee/puit/Puittoodete_tehnoloogia/Puidu_immutamine.pdf (2.06.14).
75. **Minke, G.** 2005. Building with straw. Design and technology of a sustainable architecture. Birkhäuser Architecture. p. 48-69.
76. **MTÜ Eesti Kütte- ja Ventilatsiooniinseneride Ühendus.** Külmasillad <http://www.ekvy.ee/attachments/article/17/K%C3%BCImsilade%20konspekt.pdf> (2.06.14).
77. **Gruppe Angepasste Technologie an der TU Wien.** 2001. Stroh als Baustoff - Zu schade zum Verheizen. <http://www.grat.at/Publikationen/Strohbau-Tagungsband.pdf> (2.06.14).
78. **Bech-Andersen, J.** 2005. Sisekliima ja Hallitusseened. Eesti Mükoloogiaüuringute SA. Tartu.
79. **Elgorban, A.M., Elsheshtawi, M., Al-Sum, B.A., Bahkali, A.H.** 2013. Factors affecting on Sclerotinia sclerotiorum isolated from beans growing in Ismailia, Egypt. In: Life Science Journal. 10(4). p. 1278-1282.
80. **Kohn, L.M.** 1979. Delimitation of the economically important plant pathogenic Sclerotinia species.
81. **Laemmlen, F.** 2001. Sclerotinia Diseases. University of California.
82. **Tamil Nadu University.** Chemical methods – study of different groups of fungicides. <http://tnau.ac.in/eagri/eagri50/PATH171/lec27.pdf> (2.06.14).