



Õhuheite arvutamise metoodika: puidu töötlemine

Sisukord

Sisukord	2
Sissejuhatus	3
1 Puidu töötlemisel heidet põhjustavad protsessid.....	4
1.1 Puidu mehhaaniline töötlemine (saagimine, hõõveldamine, lihvimine).....	4
1.2 Puidu purustamine	10
1.3 Hakkepuidu ja saepuru hoiustamine ning laadimine.....	11
1.3.1 Hoiustamine ja laadimine kuhjas	11
1.3.2 Hoiustamine ja laadimine silos.....	13
1.4 Puidu kuivatamine	14
Kasutatud allikad	17

Sissejuhatus

Keskkonnaamet on projekti „Keskkonnaluba 3.0“ raames alustanud alamprojektiga, mille eesmärk on arendada KOTKASE süsteemi saasteainete heidete arvutamiseks lisamooduleid selleks, et muuta keskkonnaloa taotlemine mugavamaks, kiiremaks ning kvaliteetsemaks. Kaardistati valdkonnad, mille osakaal keskkonnalubade õhu osas on piisavalt suur ning millele saaks luua arvutusmooduli, mida veel KOTKASes ei ole (või on vaid osaliselt).

Käesolev analüüs on koostatud LEMMA OÜ konsultantide poolt lähtudes Keskkonnaameti tellimuskirjast 02.05.2022 nr 15-2/22/8574. Töö vastutavaks koostajaks on Piret Toonpere. Töö koostamises osalesid Andrus Veskioja, Ain Tõnts, Anna Setskaja ja Kaisa Aadna.

Tellimuskirja alusel on käesoleva töö eesmärgiks koostada analüüsi puidu töötlemisest (sh koore eemaldamine, puidu purustamine, kuivatamine, saagimine, hõõveldamine, lihvimine) tuleneva õhuheite arvutamise metoodika kohta.

Analüüsi eelduseks on, et kõik sisendandmed on arvutuslikud või leitavad dokumentatsioonist, st käitises ei ole mõõdetud ühtegi parameetrit. Saasteainete osas lähtuda keskkonnaministri 14.12.2016. a määruses nr 67 Tegevuse künnisvõimsused ja saasteainete heidete künniskogused, millest alates on käitise tegevuse jaoks nõutav õhusaasteluba “ ja 27.12.2016 . a määruses nr 75 Õhukvaliteedi piir ja sihtväärtused, õhukvaliteedi muud piirnormid ning õhukvaliteedi hindamiskiirid toodud saaste ainetest, seda ennekõike peenosakeste osas. See tähendab, et vajalik on kajastada vähemalt PM sum ja PM 10 heide ning j uhul kui PM 2,5 heidet ei kajastata, siis see põhjendada. Analüüs peab sisaldama:

1. Tüüpiliste protsesside tehnoloogiline kirjeldus koos kirjeldusega, kus/millal võib esineda heide välisõhku (missugused saasteained, missugused heiteallikad).
2. Valemid koos selgitusega igast nimetatud protsessist/heiteallikast lenduvate saasteainete aastase (t/a) ning maksimaalse hetkelise (g/s) heitkoguse arvutamiseks (vastavalt AÕKSi definitsioonidele).
3. Saasteainete eriheidete kirjeldatud protsessidele, kui asjakohane.
4. Valdkonnas kasutatavad võimalikud püüdeseadmed, nende mõju eriheidetele, asjakohased valemid.
5. Kasutatud mõistete selgitus, kui vajalik.

1 Puidu töötlemisel heidet põhjustavad protsessid

1.1 Puidu mehhaaniline töötlemine

Eestis kehtis puidu mehhaanilise töötlemise (saagimise, hõoveldamise, lihvimise jne) heite arvutamise meetodika määrusena kuni 2016 aasta lõpuni¹. Meetodika põhines Venemaalt pärinevale juhendmaterjalil. Venemaal kehtib vastav juhendmaterjal jätkuvalt ning seda on ka uuendatud 2001 aastal². Mõlemad meetodikad annavad hulgaliselt eriheiteid eri tüüpi puidu mehhaanilise töötlemise seadmetele, mida võib kasutada kui on vajalik konkreetse seadme või seadmete saasteainete heide leida.

Tänapäeval on tööstustes kasutusel väga erinevaid puidu töötlemise seadmeid ning sageli ei ole puidu töötlemise protsessid selgelt eristatavad (sama seade näiteks saeb, freesib ja puurib detaili). Seega ei näe käesoleva töö koostajad otsest vajadust eri seadmete eriheitel põhineva arvutusmeetodika kasutamiseks heite arvutamisel. Vajaduse korral võib seadmepõhiseid eriheiteid kasutada. Eeskätt võib see võimalik olla väiksemate tootmiste puhul, kus seadmed ei ole varustatud kohtäratõmmetega. Sellist olukorda võib esineda nt väiksemate saekaatrite puhul.

Tänapäeva puidutööstustes on reeglina kõik seadmed kohtäratõmmetega, mille abil eri seadmete puidutolm kogutakse kas ühtsesse kogumissüsteemi või kogumiskottidesse. Ilma kohtäratõmmetega seadmeid, mille puhul seadmete tekitatud tolmu väljub läbi tööruumi ventilatsiooni, on kasutusel ainult väga väikestest tööstustes. Selliste ettevõtete panus Eesti üldistesse heitkogustesse on eelduslikult väga väike ja seega ei ole tõenäoliselt otstarbekas eraldi seadmete eriheitel põhineva arvutusmooduli koostamine KOTKAS süsteemis.

Juhul kui soovitakse võimaldada siiski ka seadmepõhist osakeste heite arvutamist, siis oleks asjakohane kasutada juba Eestis eelnevalt kasutusel olnud meetodikat ning seal esitatud eriheiteid. Antud meetodika kohaselt on võimalik puidu saagimisel, freesimisel, puurimisel, hõoveldamisel, lihvimisel ja muu puidutöötlemisprotsessi käigus tekkiva ja välisõhku eralduva puidutolmu aasta heitkogus tonnides arvutatakse järgmist valemit kasutades:

$M = 10^{-3} \times q \times q_{40} \times k \times t$, kus

q – töötlemisprotsessis tekkiva puidutolmu üldkoguse eriheide, kg tunnis. Eri tüüpi puidutöötlemispinkidel tekkiva puidutolmu üldkoguse eriheitel on esitatud Tabel 1;

q_{40} – välisõhku eralduva puidutolmu sisaldus tekkiva puidutolmu üldkoguses eeldusel, et puidu mehhaanilisel töötlemisel eraldub välisõhku puidutolmu osakeste aerodünaamilise läbimõõduga alla 40 mikromeetri, kaaluosades. Välisõhku eralduva puidutolmu sisaldus on esitatud Tabel 2;

k – seadme kasutegur;

t – tehnoloogiaprotsessi kestus, tundi aastas.

¹ Keskkonnaministri 02.08.2004 määrus nr 98 „Puidu töötlemisel välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramismeetodid“

² «Временных методических указаний по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями деревообрабатывающей промышленности» подготовлено НИИ Атмосфера. (по состоянию на 01.2001 г.)

Tabel 1. Puidutolmu üldkoguse eriheide q. Täiendavate seadmete eriheited leiab <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293852/4293852300.htm>

Tehnoloogia- protsess	Puidutöötluspingid	Puidutolmu üldkoguse (tolmu kõik fraktsioonid läbimõõduga alla 250 mikromeetri) eriheide q, kg/h
Saagimine, freesimine	Saepingid	
	Lattsaa	135
	Mitme saega juurdelõikamispink	168
	Otsamissaag	64,5
	Kahe saega otsatasandimasin	129
	Freespeadega nelja saega formaatpink	325
	Kahepoolne rismushöövelpink	510
	Freespink	32
	Automaatetteandega freespink	46
	Karussellfreespink	25
	Tapimasinad	4,5
	Ühepoolne lintsaag	3,7
	Universaalketassaag	64,5
	Freespeadega lintsaajaoti	248
Lintsaaga tislarpink	27	
Hööveldamine	Höövelpingid	
	Käsitsi etteandega lihthöövelpink	32
	Mehaanilise etteandega lihthöövelpink	320
	Neljapoolne hoovelpink	580
	Ühepoolne rismushöövelpink	94
	Raamitapimasin	152
Puurimine	Puur- ja peitelpingid	
	Mehaanilise etteandega horisontaalpuurpink	21
	Mehaanilise etteandmisega vertikaalpuurpink	18
	Käsitsi etteandega puurpink	4,5
	Kettpeitelmasin	31
Lihvimine	Lihvpingid	
	Lahtise lindiga lihvpink	8,4
	Kinnislauaga lintlihvpink	3,2
	Ketaslihvpink	3,7
	Kahe kettaga lihvpink	4,9
	Kolme trummiga lihvpink	30

Tabel 2. Välisõhku eralduva puidutolmu sisaldus q₄₀ puidutolmu üldkoguses.

Tehnoloogiaprotsess	Puidutolmu (osakeste aerodünaamilise läbimõõduga alla 40 µm) sisaldus q ₄₀ puidutolmu üldkoguses	
	%-des	kaaluosades
Saagimine	3	0,03
Freesimine	0,5	0,005
Puurimine	1,5	0,015
Hööveldamine	0,8	0,008
Lihvimine	21,5	0,215

Väiksemates tööstustes on kasutusel seadme põhised tolmu kogumise süsteemid. Seadme töötamisel tõmmatakse tekkiv saepuru ja puidutolm põhimõtteliselt tolmuimeja kogumiskotti. Sellistel kogumissüsteemidel on kasutusel reeglina kottfiltrid. Väikesemate seadmete puhul võib olla kasutusel tavapärase tööstuslik tolmuimeja, millel on täiendavalt sageli ka kangasfiltrid ja nn HEPA filtrid. Kogumiskotti kogunev puitmaterjal tühjendatakse käsitsi silosse vms saepuru kogumismahutisse. Sellise lahenduse puhul eraldub tööruumi siseõhku vähesel määral kottfiltrid läbinud osakesi. Osakesed saavad välisõhku heidetud läbi tööruumi ventilatsiooni. Ventilatsioonil omakorda võib olla filter, kuid see võib ka puududa.

Suuremate tööstuste puhul on puidu mehhaanilise töötlemise seadmed reeglina ühendatud aspiratsioonisüsteemiga. Seadme töötamisel tõmmatakse puidujäätmed ja tolmu kogumissüsteemi. Kogumissüsteemist transporditakse puidujäätmed ja -tolmu kas konveieri abil või pneumaatiliselt kogumismahutisse (tavapäraselt silosse). Siloga on ühendatud kas tsüklon või filtersüsteem või mõlemad. Silo puhastussüsteemi läbinud õhk väljutatakse tänapäeval sageli energia kokkuhoiduks tagasi siseruumi (vähemalt talvisel perioodil). Enamikel tänapäevastel filtersüsteemidel on olemas võimalus valida, kas väljuv õhk läheb siseruumi või välja.

Siseruumi väljutamisel ei ole kogumissüsteemi väljuva õhu puhul tegu otseselt heiteallikaga, sest arvestama peab, et siseruumi suunatav õhk peab vastama töökeskkonna nõuetele st õhk peab olema piisavalt puhas, et see ei kahjustaks töötajate tervist. Vastavalt standardile EVS-EN 12779:2015 ei tohi ringleva õhuga äratõmbesüsteemide **väljutatav õhk ületada PM-sum osas kontsentratsiooni 0.1 mg/m³**. Töökeskkonnas ei tohi VV 20. 03.2001. a määruse nr 105 lisa kohaselt PM-sum kontsentratsioon ületada **2 mg/m³** (keskmistamisaeg 8 h).

Töökeskkonda tagasi suunatav tolmu väljub välisõhku läbi tööruumi ventilatsiooni (sageli läbi üldventilatsiooni). Väliõhu kvaliteedi hindamisel võib käesoleva töö koostajate hinnangul võtta eelduseks, et siseruumi õhukvaliteet vastab töökeskkonna nõuetele. Seega on võimalik välisõhku suunatavat heitkogust lihtsustatult arvutada Tabel 3 esitatud arvutuskäigu alusel võttes eelduseks, et garanteeritud väljuva tolmu kontsentratsioon on maksimaalselt **2 mg/m³**. Töökeskkonna täpsemate mõõtmiste olemasolul võib kasutada täpsemaid andmeid.

Mõnedel juhtudel suunatakse õhk filtersüsteemist/tsüklonist ka otse välja ja sellisel juhul on tegu heiteallikaga.



Joonis 1. Filtriga saepuru kogumissüsteem. Filtrist väljuv õhk suunatakse välisõhku.



Joonis 2. Saepuru kogumissüsteemi läbinud õhk suunatakse läbi kottfiltri tagasi siseruumi. Otsene heide välisõhku puudub.

Kõigi eelpool kirjeldatud lahenduste puhul on võimalik heite kogus arvutada teades filtrite/puhastussüsteemi tootja poolt garanteeritud väljuva tolmu (PM-sum) kontsentratsiooni.

Puhastussüsteeme läbiva tolmu puhul on tegu reeglina pigem peenosakeste ja eriti peenete osakestega, mille püüdmine on keerukam. Juhul kui puudub info puhastussüsteemi garanteeritud väljuvate osakeste eri fraktsioonide kontsentratsiooni osas võib konservatiivselt eeldada, et $PM_{sum}=PM_{10}=PM_{2.5}$



Joonis 3. Saepuru ja puidujäätmete kogumissüsteem suures tootmises.

Tabel 3. Puidujäätmete ja saepuru kogumissüsteemist väljuva heite arvutamine väljuva tolmu kontsentratsiooni alusel.

Tähis	Näitaja	Kogus	Ühik
A	Puidujäätmete ja saepuru kogus (võimalik kasutada tööaja leidmiseks)	1000	t/a
B	Garanteeritud väljuva tolmu kontsentratsioon	20	mg/m ³
C	Kogumissüsteemi tootlikkus/ventilatsiooni mahtkiirus	700	m ³ /h
D	Süsteemi tööaeg ³	100	h
B*C*D/10 ⁹	PM-sum	0.001	t/a
B*C/3600/1000	PM-sum	0.004	g/s

Tabel 1 esitatud arvutuskäiku on võimalik kasutada põhimõtteliselt kõigi heiteallikate puhul, mille puhul on teada püüdeseadme poolt garanteeritud väljuva saasteaine kontsentratsioon. Tegu on üldise arvutusvalemiga, mis võiks olla KOTKAS funktsionaalsusesse integreeritud olenemata tegevusalast – st kui võimaldada heiteallikaga seotud püüdeseadme puhastusefektiivsust märkida kontsentratsioonina, siis on võimalik arvutada ka väljuva saasteaine heitkogus olenemata, millise tegevuse käigus see tekib või mis saasteainega on tegu.

Juhul kui väljuva tolmu kontsentratsiooni osas on antud ainult PM-sum (*TSP, total dust, dust content*) kontsentratsioon ja puudub teave eri osakeste fraktsioonide (PM10, PM2.5) kontsentratsioonide osas, siis konservatiivselt võib eeldada, et PMsum=PM10=PM2.5

³ Võimalik arvutada teades süsteemi võimsust t/h või m³/h ja puitmaterjali kogust tonnides või m³: aastane puidu kogus/süsteemi võimsus = tööaeg

Alati ei ole leitav puhastussüsteemi garanteeritud väljuva tolmu kontsentratsioon, vaid on teada näiteks puhastussüsteemi efektiivsus %-des. Mõnikord ei ole puhastussüsteemi kohta võimalik leida mingeid andmeid. Sellisel juhul on võimalik kasutada arvutusmeetodikaid. Käesolevas töös on esitatud Kanada pädeva asutuse poolt soovitatava meetodika kohased eriheited⁴.

Tabel 4. Puidujäätmete ja saepuru kogumissüsteemist väljuva heite arvutamine tsükloni eriheite ja puhastussüsteemi puhastusefektiivsuse alusel.

Tähis	Näitaja	Kogus	Ühik
A	Tsüklonisse suunatav puidujäätmete kogus	1000	t/a
B	Puidu niiskussisaldus	30	%
$C=A-A*B/100$	Kuiva puidu kogus	700	t/a
D	Tööaeg	100	h
E	Täiendava puhastusseadme (nt filtersüsteem) puhastusefektiivsus ⁵	95	%
F	PM-sum eriheide	0.914	kg/t kuiva puidu kohta
G	PM10 eriheide	0.616	kg/t kuiva puidu kohta
H	PM2.5 eriheide	0.0975	kg/t kuiva puidu kohta
$C*F/10^3*(100-E)/100$	PM-sum	0.032	t/a
$C*G/10^3*(100-E)/100$	PM10	0.022	t/a
$C*H/10^3*(100-E)/100$	PM2.5	0.003	t/a
$C*F/D/3600*(100-E)/100$	PM-sum	0.089	g/s
$C*G/D/3600*(100-E)/100$	PM10	0.060	g/s
$C*H/D/3600*(100-E)/100$	PM2.5	0.009	g/s

Näidisarvutuses on eeldatud, et puhastusefektiivsus kehtib kõigile osakeste fraktsioonidele. Kuna reaalselt on sageli dokumentides puhastusefektiivsuse info antud tolmu kohta summaarselt, siis **võib põhimõtteliselt ka konservatiivset lähenemist silmas pidades eeldada, et puhastusefektiivsus kehtib PM-sum osas ning PM10 ja PM2.5 on võrdsed tagatud PM-sum heitega.** Garanteeritud väljuva tolmu kontsentratsioon kehtib kõigi osakeste fraktsioonide puhul, sest seda määratakse tootjate poolt mõõtmistega. Tahkete osakeste kontsentratsiooni väljuvas gaasis ei ole võimalik mõõta viisil, mis ei arvesta PM10 ja PM2.5 kontsentratsiooni. PM10 (ja PM2.5) heitkogus ei saa kunagi olla suurem kui PM-sum heitkogus ehk PM10 maksimaalne heitkogus saab olla võrdne PM-sum heitega.

Tabel 4 esitatud arvutuskäigu puhul on vaja teada puidu niiskussisaldust. Enamasti on puidutööstuses puidu niiskussisalduse andmed olemas, sest toodete kvaliteedi tagamiseks on puidu niiskuse määramine laialtlevinud tegevus. Juhul kui puidu niiskussisalduse kohta täpsemad andmed puuduvad võib lähtuda järgnevast liigitusest:

- Toores puit: niiskussisaldus üle 25%
- Õhukuiv puit: 15-20 %
- Tislerikuiv puit: 10–15%
- Mööblikuiv puit: 6–10%

⁴ <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/national-pollutant-release-inventory/report/tools-calculating-emissions/wood-products-operations.html>

⁵ Arvestada kui lisaks tsüklonile on kogumissüsteemil lisaks filtersüsteem. Kui täiendav filter puudub tuleb püüdeefektiivsus võtta 0-ks.

Tabel 4 esitatud arvutuskäigu puhul on vaja teada puidujäätmete kogust. Enamikul ettevõtetel on selle kohta mingi arvepidamine või on võimalik teatud ajaühikus jälgida tekkivat kogust ning aastane kogus leida tööaja alusel. Põhimõtteliselt on võimalik kogumissüsteemi suunatava puidutolmu aasta kogus tonnides arvutatakse järgmist valemit kasutades:

$$M = 10^{-3} \times q \times q_{40} \times k_t \times t, \text{ kus}$$

q – puidutolmu eriheide, kg tunnis (Tabel 1);

q_{40} – välisõhku eralduva puidutolmu sisaldus tekkiva puidutolmu üldkoguses, kaaluosades (Tabel 2);

k_t – kohtäratõmbe efektiivsust arvestav tegur. Täpsemate andmete puudumisel loetakse kohtäratõmbe efektiivsust arvestavaks teguriks 0,9;

t – tehnoloogiaprotsessi kestus, tundi aastas.

Juhul kui puidujäätmete osas on teada nende kogus mahuühikus, siis on võimalik leida puidujäätmete mass teades tihedust $\Rightarrow m = \rho * V$, kus

m – aine mass;

V – aine ruumala.

Kuiva saepuru/puiduhakke tihedus on 160–230 kg/m³, toorest puidust puiduhakke tihedus 180–340 kg/m³.⁶

Puidu mehhaanilise töötlemisega kaasnevana võib esineda ka orgaanilisi lahusteid sisaldavate kemikaalide kasutamist. Näiteks saeveskites kasutatakse saeterade puhastamiseks puhastusvahendeid, mis võivad sisaldada lenduvaid orgaanilisi ühendeid.

1.2 Puidu purustamine

Puidu purustamist esineb nii puiduhakke tootmises kui ka näiteks jäätmekäitluses (jäätmepuidu purustamine).



Joonis 4. Puidu purusti töötamas.

Puidu purusteid on väga erineva võimsusega lähtuvalt purustatava materjali kogustest. Tavapäraselt toimub puidu purustamine välitingimustes ning heide eraldub hajasheiteks. Puidu

⁶ Gendek, Arkadiusz & Aniszewska, Monika & Chwedoruk, Kinga. 2016. Bulk density of forest energy chips. Ann. Warsaw Univ. Life Sci. – SGGW, Agricult.. 67. 101-111.

purustamiseks kasutatavad purustid on sageli multifunktsionaalsed ja lisaks puidule võidakse nendega purustada ka muid materjale.

Puidu purustamise heite arvutamiseks soovivad käesoleva töö autorid kasutada Kanada pädeva asutuse poolt soovitatud meetodikat⁷. Antud meetodikas on antud puidu purustamise eriheited osakeste erinevatele fraktsioonidele ning meetodika arvestab puidu niiskussisaldust.

Tabel 5. Puidu purusti heite arvutamine.

Tähis	Näitaja	Kogus	Ühik
A	Purustatav puidu kogus	1000	t/a
B	Puidu niiskussisaldus	30	%
$C=A-A*B/100$	Kuiva puidu kogus	700	t/a
D	Purusti tööaeg ⁸	100	h
E	PM-sum eriheide	0.118	kg/t kuiva puidu kohta
F	PM10 eriheide	0.091	kg/t kuiva puidu kohta
G	PM2.5 eriheide	0.008	kg/t kuiva puidu kohta
$C*E/10^3$	PM-sum	0.083	t/a
$C*F/10^3$	PM10	0.064	t/a
$C*G/10^3$	PM2.5	0.006	t/a
$C*E/D*1000/3600$	PM-sum	0.229	g/s
$C*F/D*1000/3600$	PM10	0.177	g/s
$C*G/D*1000/3600$	PM2.5	0.016	g/s

Puidu purustitel üldjuhul ei ole kasutusel heite vähendamise meetmeid. Heite suurust mõjutab peamiselt puidu niiskussisaldus, mida Tabel 5 kohane arvutuskäik juba arvestab. Põhimõtteliselt on võimalik, et purustil on sisseehitatud püüdesüsteem. Selle olemasolul tuleb püüdesüsteemi efektiivsust arvestada heitkoguse arvutamisel.

1.3 Puiduhakke ja saepuru hoiustamine ning laadimine

1.3.1 Hoiustamine ja laadimine kuhjas

Hakkepuitu ja puidutööstuse jääke (saepuru, hõvellaast jms) hoiustatakse avatuna kuhjades nii mõnedes puidutööstustes kui ka katlamajades. Ladustamine võib toimuda nii avatult kuhjas kui osaliselt avatud varjualustes (Joonis 5). Lasuna hoiustamisel eraldub hajusheite osakesi (PM-sum, PM10, PM2.5) vähesel määral tuule toimel ning peamiselt laadimistel (kuhja ja kuhjast ära).

⁷ <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/national-pollutant-release-inventory/report/tools-calculating-emissions/wood-products-operations.html>

⁸ Võimalik arvutada teades purusti võimsust t/h ja aastas purustatava puidu kogust tonnides: aastane puidu kogus/purusti võimsus = tööaeg



Joonis 5. Puiduhakke ladustamine hoidlas ja lahtiselt kuhjas.

Õhusaastelubades on viimastel aastatel puidu jm biomassi kuhjade heite arvutamiseks kasutatud nn Hollandi metoodikat: *Air pollutant emissions from stationary installations using bioenergy in the Netherlands, BOLK Phase 2. Netherlands Environmental Assessment Agency/Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). November 2009.*

Varasemalt on kasutatud ka USA AP42 metoodikat (*13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles*), kuid kuna see on töötatud välja mineraalsete materjalide (süsi, tuhk, liiv, kruus, lubjakivi jne) laadimiste jaoks, siis ei ole see otseselt puidu jaoks kohaldatav.

Hollandi metoodikas on antud eriheite väärtused erinevatele, peamiselt bioloogilistele puistematerjalidele, sealhulgas ka tahketele biokütustele. Eriheite väärtused on antud erinevate tolmamisklasside alusel, eri tolmu liikide suhtes.

Hakkepuiduna käsitletakse metoodika joonise 3-2 alusel väikesefraktsioonilist puidu haket, milles on suuremaid osiseid. Sellise puidu niiskussisaldus on metoodikas <25%. Puiduhake vastab metoodikas tolmu klassile S5 (tabel 3-10 ja 3-11), mille eriheited on PM-sum 10 g/t ja PM10 0.5 g/t. Metoodika ei anna PM2.5 osas eriheidet. Täpsema teabe puudumisel võib konservatiivselt võib eeldada, et PM10=PM2.5

Metoodika kohaselt kajastavad eriheidet nii kuhjast toimuvat tuulekannet kui ka kahekordset laadimist (kuhja ja kuhjast ära).

Arvestades, et metoodika kohaselt on eriheitele vastava puitmaterjali niiskuse sisaldus võrdlemisi madal (<25%). Sellise niiskussisaldusega puidujäätmed on iseloomulikud puidutööstustele kus kasutatakse juba kuivatatud puitu. Tööstuste puhul kus puidujäätmed tekivad toorpuidust või ka puiduhaket põletavate katlamajade puhul annab metoodika eeldatavalt mõnevõrra ülehinnatud heitkogused.

Lähtuvalt eelkirjeldatud metoodikast on võimalik puiduhakke lasuna hoiustamisel tekkivat heidet arvutada.

Tabel 6. Puiduhakke kuhjas ladustamisel ja laadimisel eralduva heite arvutamine.

Tähis	Näitaja	Kogus	Ühik
A	Saepuru ja puiduhakke kogus	1000	t/a
B	1 tavapärase veoki maht	15	t
C=A/B	Tööaeg (arvestusega 1 auto tunnis). Kui laadimine toimub nt pidevalt, siis on tööaeg	66.7	h

	<i>võrdne antud tööprotsessi tööajaga</i>		
D	PM-sum eriheide	10	g/t puiduhakke kohta
E	PM10 eriheide	0.5	g/t puiduhakke kohta
$A \cdot D / 10^6$	PM-sum	0.01	t/a
$A \cdot E / 10^6$	PM10	0.0005	t/a
$A \cdot D / C / 3600$	PM-sum	0.041	g/s
$A \cdot E / C / 3600$	PM10	0.002	g/s

Nagu eelnevalt kirjeldatud, siis hoitakse puiduhaket/saepuru jm purustatud puitmaterjali üldiselt avatud kuhjas või varjualustes. Kuiva hakkmaterjali ja pelletite puhul on võimalik ka hoiustamine kinnises hoidlas. Kinnise hoidla puhul tuleb välja selgitada kuidas toimub materjali laadimine. Juhul kui see toimub avatud ustega, siis võib Tabel 6 esitatud arvutuskäiku pidada kohalduvaks. Juhul kui laadimine toimub samuti suletud ruumis, siis tuleb välja selgitada kas ruumil on ventilatsioon. Kui ventilatsioon (sh loomulik ventilatsioon) puudub, siis võib eeldada, et ka heide välisõhku puudub. Ventilatsiooni olemasolul eraldub heide läbi ventilatsiooni ning kasutada võib jätkuvalt Tabel 6 esitatud arvutuskäiku. Kui ventilatsioonil on püüdesead (nt filter) on asjakohane arvestada püüdeseadme garanteeritud väljuva osakeste kontsentratsiooni näitajat või püüdeefektiivsust.

1.3.2 Hoiustamine ja laadimine silos

Puidujäätmete suunamisel pneumaatiliselt või konveieri abil silosse/punkrisse eraldub silole paigaldatud tsükloni või filtersüsteemi kaudu välisõhku või töökeskkonna õhku puidutolmu sisaldavat õhk. Antud heide on käsitletud ptk 1.1.

Lisaks silo täitmisele eraldub tolmu ka silo tühjendamisel. Tavapäraselt toimub silo tühjendamine silo alt või kõrvalt. Veok sõidab silo tühjendusava alla, silo vastav luuk avatakse ja puidujäätmed laetakse veokisse (Joonis 6). Silo tühjendusava ümber on reeglina kummimaterjalist kate, mis vähendab puistematerjali kukkumiskõrgus ja seeläbi vähendab puistematerjali laialikannet laadimisel ja seega ka õhuheidet.

Silo tühjendamisel eralduvaid heidet on võimalik arvutada sama meetodikaga nagu kuhja puhul. Meetodika kohaselt juhul kui toimub ainult materjali ühekordne laadimine (nt kinnisest silost otse veokile), siis tuleks eriheidet jagada kahega. Meetodika ei anna PM2.5 osas eriheidet. Täpsema teabe puudumisel võib konservatiivselt võib eeldada, et $PM10 = PM2.5$

Tabel 7. Puiduhakke/saepuru silost veokisse laadimisel eralduva heite arvutamine.

Tähis	Näitaja	Kogus	Ühik
A	Saepuru ja puidujäätmete kogus	1000	t/a
B	1 tavapärase veoki maht	15	t
C=A/B	<i>Tööaeg (arvestusega 1 auto tunnis). Kui laadimine toimub nt pidevalt, siis on tööaeg võrdne antud tööprotsessi tööajaga</i>	66.7	h
D	PM-sum eriheide	5	g/t puiduhakke kohta
E	PM10 eriheide	0.25	g/t puiduhakke kohta
$A \cdot D / 10^6$	PM-sum	0.005	t/a
$A \cdot E / 10^6$	PM10	0.00025	t/a

A*D/C/3600	PM-sum	0.020	g/s
A*E/C/3600	PM10	0.001	g/s

Juhul kui ei toimu parasjagu ei silo täitmist ega tühjendamist, siis ei esine töökorras silost ka heidet.



Joonis 6. Silo tühjendusavad erinevatel silodel.

1.4 Puidu kuivatamine

Puidust toodete valmistamisel kasutatakse eelnevalt kuivatatud puitu. Tööstusliku kasutuse puhul toimub puidu kuivatamine puidukuivatites. Erinevaid tööstuslikke puidukuivatusi võimalusi on lühidalt iseloomustatud järgnevalt⁹:

- Kamberkuivatamine toimub koldegaaside, niiskuse aurustamise või ülekuumendatud auruga. Konstruksiooniliselt ja seadmete valiku osas võivad kamberkuivatid olla väga erinevad.
- Rotatsioonikuivatamine on kamberkuivatamise eriliik, kus kuivatatav puitmaterjal on asetatud pöörlevale platvormile. Tsentrifuugides sunnitakse niiskus puidu sisemuses liikuma, kuid antud meetodit ei peeta otstarbekaks võrreldes tavalise kamberkuivatamisega.
- Kontaktkuivatamine toimub enamasti õhukese puidu puhul nagu näiteks vineerplaadid, kui kuumaks köetud metallplaadid on kokkupuutes kuivatava materjaliga.
- Kõrgsageduslikus elektriväljas kuivatamine: puidu temperatuuri tõus algab sisemistest kihtidest ja liigub niiskusega samas suunas. Antud meetod on ülimalt energiamahukas ja kallis.

⁹ Lukin, E. 2015. Puidu kuivatamise ja kuumtöötuse seade. Magistri töö. – Tartu: EMÜ.

- Kuivatamine vedelikus ehk petrolaatum kuivatamine toimub petrolaatumi vannides. Petrolaatum on kõrge viskoossusega naftasaadus, mis sisaldab parafiini ja tseresiini. Kuivatamise protsess toimub 120 – 140 °C juures ja antud meetod on kamberkuivatist kuni 6 korda kiirem. Kuivatatud ja kuumtöödeldud puit on osaliselt petrolaatumiga läbi imunud, kuid pakkematerjaliks mõeldud puidule sobilik. Antud tehnoloogia vajab üsna spetsiifilisi seadmeid.
- Induktsioonkuivatamine toimub tööstusvoolu sagedusel. Kuivatatav materjal on asetatud metallvõredele, mis on ühtlasi induktsioonpooli südamikuks. Võred kuumenevad ning toimub kontaktne ja konvektiivne kuivatamine. Kuivatatav materjal kuumeneb ja kuivab väga ebaühtlaselt, seega meetodit rakendatakse vähe.
- Vaakumkuivatamine toimub hermeetilises metallpiiretega kambris alarõhul. Vaakumkuivatust on soovitatav kasutada hajusooneliste puiduliikide nagu kask, pöök ning vaher kuivatamisel. Meetod on 35 % tavaliselt kamberkuivatamisest kiirem, kuid puidu termotöötlust ei toimu.
- Radiatsioonkuivatamisel kasutatakse infrapuna- ja ultraviolettkiirgust. Kuivati seintele ja lakke on paigaldatud kiirgurid. Meetod on kasutuses peamiselt mööblitööstuses ja viimistletud pindade kuivatamisel. Suuremahuliseks märja puidu kuivatamiseks pole meetod piisavalt efektiivne.

Eestis on levinuimad kamberkuivatid. Kamberkuivatid jagunevad omakorda madaltemperatuurilisteks ja kõrgtemperatuurilisteks (toimub puidu termotöötlus).

Puit on oma olemuselt keerukas biopolümeer, millest eralduvad kuivamisel lenduvad orgaanilised ühendid, sh formaldehüüd. Tegu on looduslikku päritolu LOÜ-de eraldumisega. Eraldumise hulk sõltub puidu liigist ning kuivatamise temperatuurist.

Puidukuivatite puidu kuivatamisega seonduvat heidet on Eesti praktikas õhusaastelubades väga vähe käsitletud ja valdavalt kõrgtemperatuuriliste kuivatite puhul. Enamike madaltemperatuuriliste puidukuivatite puhul on käsitletud kuivati kütmiseks kasutatava põletusseadme heidet, kuid mitte puidust kuivamisel eralduvaid saasteaineid.

Käesolevas töös kõrgtemperatuuriliste kuivatite (puidu termotöötlus) heiteid ei käsitleta. Tegu on valdkonnaga, milles tegutsevate käitiste hulk on võrdlemisi väike ning kasutatavad tehnoloogiad erinevad. Termotöötluse korral tuleb igale käitisele läheneda individuaalselt ning leida sobilik arvutusmeetodika. Välistatud ei ole ka otseste mõõtmiste läbiviimise vajadus eriheite määramiseks.

Teaduskirjanduses leidub mitmeid puidu liigispetsiifilisi uuringuid, mis püüavad määrata LOÜ-de eriheidet. Peamiselt on tegu okaspuu kuivatamist käsitlevate uuringutega. Kuna kuivatid töötavad erinevatel kuivatusrežiimidel, siis heite määramise seisukohalt ülevaatlikuima (temperatuuri arvestava) uuringu kohased eriheidet on kajastatud järgnevas tabelis.

Tabel 8. Okaspuu kuivatamise eriheidet kuivati erinevatel kuivatustemperatuuridel¹⁰

Kuivatustemperatuurid °C	70 /60	90/50	90/60	90/70	120/70
Saasteainete eriheidet					
NMVOC eriheidet (g/m ³ kuivatatava puidu kohta)	95	95.9	49.5	84	31.2
NMVOC eriheidet (g/m ³ kuivatatava puidu kohta tunnis)	1.5	5.2	2.3	3.5	1.6

¹⁰ Pang, S et al. 2006. New instrument for measurement of kiln emissions in drying of softwood timber and result analysis.

Formaldehüüd eriheide (g/m ³ kuivatatava puidu kohta)	26.6	12.3	1.9	4.6	2.1
Formaldehüüd eriheide (g/m ³ kuivatatava puidu kohta tunnis)	0.4	0.7	0.1	0.2	2.1
Atsetoon eriheide (g/m ³ kuivatatava puidu kohta)	23.9	2.6	3.6	1.9	2.9
Atsetoon eriheide (g/m ³ kuivatatava puidu kohta tunnis)	0.4	0.1	0.2	0.1	2.9

Lehtpuu osas ei õnnestunud samaväärset kuivatusrežiime arvestavat eriheidete allikat leida. Arvestades, et madaltemperatuurilistes kuivatites kuivatatava lehtpuu osakaal on suhteliselt madal, siis võib konservatiivselt rakendada eelnevalt esitatud eriheiteid kõigile puuliikidele kui täpsem teave puudub.

Eriheite alusel heitkoguste leidmine on esitatud järgnevas tabelis.

Tabel 9. Puidukuivati heite arvutamine eriheite alusel 70/60 °C kuivatustsükli korral.

Tähis	Näitaja	Kogus	Ühik
A	Kuivatatava puidu kogus	10000	m ³ /a
B	Kuivatatava puidu kogus	20	m ³ /h
C	NMVOC eriheide	95	g/m ³
D	NMVOC eriheide	1.5	g/m ³ puitu/h
$E=A*C/10^6$	NMVOC	0.950	t/a
$F=B*D/3600$	NMVOC	0.008	g/s

Kasutatud allikad

Lukin, E. 2015. Puidu kuivatamise ja kuumtöötamise seade. Magistri töö. – Tartu: EMÜ.

Pang, S et al. 2006. New instrument for measurement of kiln emissions in drying of softwood timber and result analysis.

«Временных методических указаний по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями деревообрабатывающей промышленности» подготовлено НИИ Атмосфера. (по состоянию на 01.2001 г.)

Keskkonnaamet. 28.05.2019. Seisukoht: Püüdeseadme arvestamine saasteaine heite leidmisel tsükloniga põletusseadmetele

<https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/national-pollutant-release-inventory/report/tools-calculating-emissions/wood-products-operations.html>