



# MÄNGUJUHEND

Süsiniku seiklused  
soovikumetsas

Süsinikuringe mäng on osa **Eesti Teadusagentuuri Teaduse populariseerimise projektikonkursil toetatud projektist „Märka puude taga metsa“**. Projekti käigus loodi metsapuuliike tutvustav ja metsaökosüsteemi tähtsust rõhutav mitmekülgne näitus Tartu loodusmajas, täiendati loodusmaja parki puudega seotud õppevahenditega, toimusid liike tutvustavad metsaretked ja Tartu loodusmaja seenenäituse nädalat täiustanud perepäev.

Soovisime luua õppemängu, mille abil oleks lihtne mõista suuri ökosüsteemis toimuvaid, üksteisega seotud protsesse ning näha, kuidas kõik on kõigega seotud. Käesolev mäng pakub õpilastele võimalust jälgida, kuidas süsinikku sisaldavad ühendid liiguvad ökosüsteemi eri komponentide vahel, võimalust olla ise protsesside mõjutajad ning mängu jooksul on mitmel korral võimalik võtta aega aruteludeks ja olukorra hindamiseks. Mängu tegevuspaigaks on niiske mets koos põnevate mullaorganismide ja maapealsete tootjate, tarbijate ja lagundajatega. Metsad on ühed olulisemad süsinikku siduvad maismaa ökosüsteemid ja nägime käesoleva mängu järele vajadust, arvestades, et kliimamuutuste ja elupaikade säilitamise olulisuse kontekstis on süsinikuringe pidevalt avalikkuse huviorbiidis. Mängu loomisele aitasid kaasa metsateadlased ja ökoloogid Tartu ülikoolist ja Eesti Maaülikoolist.

Mängu sihtrühm on põhikooli III kooliaste ning gümnaasiumiõpilased. Mängu saab mängida mitmes jupis või kõiki mängutasemeid kombineerides. Mängujuhile on heaks toeks teemat avavad infolehed iga mängutaseme kohta. Mängijate arv on soovitatavalt kuni kuus õpilast grupis.

**Mängu koostasid:** Anna-Grete Joamets ja Maria Ivanova koostöös teiste Tartu loodusmaja töötajatega: Mai-Liis Vähi, Annelie Ehlvest, Kati Kekkonen.

**Kujundaja:** Kati Kekkonen.

Täname mängu loomisel nõu andnud teadlasi: Ivika Ostonen-Märten (*Tartu ülikool*) ja Sille Rebane (*Eesti Maaülikool*).



Käesolev mängujuhend on loodud kõigile huvilistele kergesti kättesaadava ja lihtsal viisil kasutatava õppekava toetava materjalina. Õpetajatel jt noorte juhendajatel on võimalik ise mängu detailid välja printida ja/või kasutada mängunuppudeks käepäraseid vahendeid (nt legoklotsid või nõöbid). Mängu juhendajat toetavad teema sügavamaks mõistmiseks sisukad infolehed igal mängu tasemel toimuvate protsesside kohta.

## SÜSINIKU SEIKLUSED SOOVIKU-METSAS

### Mängu eesmärk

Mängu eesmärk on aidata õppuril mõista süsinikuringe protsessi parasvöötmelises soostunud metsas. Soostunud metsad ehk soovikumetsa tüüpi metsad moodustavad ~16% Eesti metsade kogupindalast. Kujutame ette, et sellises metsas meie õppemäng lahti lähebki. Süsinikuringes liigub süsinikku sisaldav aine ökosüsteemis erinevate ökosüsteemi komponentide vahel, läbides erinevaid teisisi aineringe protsesse ning käesolev mäng arendab õpilase võimet mõista suuri süsteeme ja üksteisele järgnevat seotud protsesse.

Süsinik on keemiline element, mis esineb erinevate orgaaniliste ainete koostises ja liigub biosfääri ja atmosfääri vahel enamasti süsihappegaasi (CO<sub>2</sub>) kujul. Mängus ütleme lihtsustatult, konkreetset keemilist valemit välja toomata, et see on süsinik, mis liigub vastavalt protsessikaardil antud juhiste süsinikužetoniga ühest tsoonist teise.

### Mängija mõistab, kuidas

- liigub süsinik looduslikes protsessides (fotosüntees, hingamine, toitumine, suremine, lagunemine, settimine ja häiringud);
- kliimasoojenemine ja inimtegevus võivad tasakaalu häirida;
- on ökosüsteemis ühtaegu olulised nii tasakaal kui ka häiringud ning mis on süsinikuringe tähtsus looduses;
- inimesed saavad metsas tasakaalu hoida või vajadusel taastada ja süsiniku sidumist suurendada;
- toimib mets kui ökosüsteem, milles igal liigil on oma väärtus ja roll;
- kaitsta elurikkust metsas;
- erinevad loodus- ja majandusmetsad ning oskab nimetada säästva metsanduse põhimõtteid.

Mäng pakub õpilastele praktilist süsiniku liikumise jälgimise kogemust, võimalust olla ise protsesside mõjutajad ning mängu jooksul saavad õpilased mitmel korral võtta aega aruteludeks ja olukorra kõrvaltvaatajana hindamiseks.

## Soovitusi mängu mängimiseks

Mängu I taset sobib mängida juba 7.–9. klassi õpilastega. II ja III mängutase on I taseme edasiarendused, mis sobivad süsteemse mõtlemise arendamise eesmärgil gümnaasiumiastme õpilastega mängimiseks.

Kuna mäng võib kesta kaua, sõltuvalt mängijate huvist ja arenevatest aruteludest, soovitame teha ühes ainetunnis I taseme mäng ja järgmises tunnis mängida II ja III taset. Tasemeid võib mängida eraldi või kombineerides omavahel II ja III taset või kõiki kolme taset. Mängujuht suunab arutelusid vastavalt mängu tasemetele.

Mängu kestus sõltub arutelude pikkusest ja süvenemise astmest, kuid kõigi kolme taseme läbi mängimiseks võiks arvestada koos aruteludega ja materjalide lugemisega 2,5 – 3 tundi.

Mänguvahenditeks võib kasutada välja prinditavaid kujundatud mängudetaile ja/või kasutada mängunuppudeks käepäraseid vahendeid (nt legoklotsid või nõöbid).

Mängu juhendajal on soovitatav tutvuda teema sügavamat mõistmist toetavate sisukate infolehedega igal mängu tasemel toimuvate protsesside kohta.

## MÄNGU OSAD

### Mängulaud

- Koosneb **kuusnurksetest** plaatidest, millel on kujutatud parasvöötme soovikumetsale iseloomulikke liike või organismirühmasid ning mängulaua äärisest, mis kujutab atmosfääri tsooni.
- Plaatidel kirjas olevad liigid esindavad ühe liigi populatsiooni ökosüsteemis (isendite kogumikku antud liigist) ja igal hetkel võib žetoon neile peale panna või neilt ära liigutada. Žetoon saab lisada nii neile plaatidele, kus žetoon veel ei ole kui ka neile, kus on varasemast mõni žetoon peal. Žetoon saab minema liigutada loomulikult ainult nendelt plaatidelt, kus varasemalt juba on mõni žetoon peal. Nii tasub mängu käigus jälgida, et žetoonid oleksid jaotatud võimalikult erinevate organismide plaatide peale.
- Laud on üles ehitatud **kärjekujuliselt** ning erinevad sfääriosad paiknevad tsoonidena üksteise ümber.
  - 1 Keskel on **mulla toitainete varu**, kuhu süsinik on talletunud pikaks ajaks.
  - 2 Mulla toitainete varu ümber on **lagundajate kiht**.
  - 3 Lagundajatest väljapoole jääv tsoon kujutab maapealseid tootjaid ja tarbijaid.
  - 4 Mängulaua välisserv on atmosfäär.



## Protsessikaardid

Mängijatele annavad suuna süsinikužetoonide liigutamiseks mängulaual protsessikaardid. Protsessikaartidel on kirjeldatud ökosüsteemis toimuvaid protsesse, mille tulemusena elusolendid kas seovad süsinikku, eraldavad selle atmosfääri või talletatakse süsinik mulla toitainete varus.

Mängul on kolm etappi. Süsiniku liikumist neis juhib protsessikaartidel olev info.

- I taseme kaardid kirjeldavad loodusliku süsinikuringe protsesse;
- II taseme kaardid toovad välja kliimasoojenemise ja inimtegevuse mõju metsa süsinikuringes;
- III taseme kaardid näitavad inimeste võimalusi jätkusuutlikult ja kooslusi taastades metsas süsinikuringe tasakaalu toetada.



Protsessikaardi näidis. Esimene ja tagumine pool.

Mängu osa	Kogus	Pilt
Mulla toitainete varu kuusnurk	1	
Mängulaua kuusnurgad mullakihis	6	
Mängulaua kuusnurgad maapealses tootjate ja tarbijate kihis	12	
Mängulaua ääristustükid atmosfääri tsoonis	4	
Süsinikužetoonid	41	

Mängu osa	Kogus	Pilt / märkused
Majake	1	
Turbapäts	1	
I taseme kaardid	36	12 fotosünteesi, 4 lagunemist, 1 põlemine, 1 torm, 7 hingamist, 1 settimine, 1 turvastumine, 4 suremist, 3 toitumist, 2 turba lagunemist.
II taseme kaardid	12	
III taseme kaardid	5	

## Mängijad

Soovituslikult kuni 6 mängijat.

## Mängu ettevalmistus

**1** Määrata mängujuht (õpetaja või üks õpilastest), kes juhhib arutelusid ja selgitusi, jagab mängijatele kätte vajalikud vahendid ning jälgib kõrvalt mängu käiku.

**2** Mängujuht jagab mängijatele mängulaua osad, mille mängijad ise kokku panevad: keskele tuleb paigutada mulla toitainete varu kuusnurk, selle ümber lagundajad, neist väljaspoole tsooni maa peal elavad tootjad ja tarbijad ja kõige välimiseks raamiks atmosfääri tsoon. Liigid, kes on üksteisega ökosüsteemis seotud, ei pea asuma üksteise kõrval.

**3** Mängijad võivad mängu sissejuhatuseks üle vaadata, kas kõik mängulaual olevad liigid või organismirühmad on neile tuttavad ning kas nad teavad, mida või keda need organismid söövad. See võimaldab üle korrata, kes on ökosüsteemis tootjad, kes tarbijad ja kes lagundajad. Käesolevas mängus satub süsinikužetoon tootja või tarbija pealt lagundajate kätte surma kaudu, mida kirjeldab eraldi protsessikaart. Oluline on mõista, et toitumine võib toimuda ka lagundajate seas, kui nad üksteist söövad ning lagundamine on ökosüsteemis sisuliselt toitumisega samastatav protsess, lihtsalt lagundajate puhul nimetame seda toitumist lagundamiseks. Antud liikide põhjal mõne toiduahela koostamine enne mängu alustamist aitab paremini mõista, kuidas mängus olevad liigid on omavahel ökosüsteemis seotud.

4 Mängujuht segab I taseme protsessikaardid pakiks ning jagab igale mängurühmale 41 žetooni. Vahendid asetab ta mängijatele kergesti kättesaadavasse kohta. Maja ja turbapätsi tähistavad žetoonid jäävad mängujuhi kätte, kuni mängu II tasemel tõmmatakse nendega seotud protsessikaart.

5 Mängijad jaotavad süsinikužetoonid mängulauale järgnevalt:



Mulla toitainete varu, s.t mineraalne osa ja turvas – **16 musta** värvi žetooni (või mõnda muud kokkulepitud värvi legoklotsid, nõöbid vms sobivat)



Osaliselt lagundatud aine ja lagundajad – **4 pruuni** värvi žetooni.



Maapealsed taimed ja loomad – **9 rohelist** värvi žetooni.



Atmosfäär – **12 sinist** värvi žetooni.

Žetoonide jaotamine värvide järgi kihtidele juba mängu alguses on oluline seepärast, et edaspidi annab see visuaalselt jälgitava efekti, mõistmaks, et süsinik liigub vabalt ökosüsteemi eri komponentide vahel.

## Mängu käik

### I tase. Looduslik süsinikuringe

1 Mängijad tutvuvad I taseme protsesside infolehega ja loevad iseseisvalt, mida looduslik süsinikuringe endast kujutab.

2 Mängijad tõmbavad **tagurpidi asetatud protsessikaartidega pakist** juhuslikult I taseme protsessikaarte.

3 Süsinikužetooni liigutatakse vastavalt protsessikaardi juhistele. I tasemel tehakse iga käigu ajal üks liigutus. Näiteks kui protsessiks on lagundamine ning mõnel lagundajal, näiteks mullaussil on juba varasemast süsinikužetoon peal, siis selle hingab ta atmosfääri välja. Käigu tegemiseks tuleb liigutada süsinikužetoon mullaussi pealt atmosfääri. Süsinikužetooni võib liigutada üle kihtide või samas tsoonis.

4 Mänguvoor lõpeb, kui kaardipakk on ära kasutatud. Kasutatud kaardipakk tõstetakse kõrvale.

5 Loetakse üle süsinikužetoonide arv eri kihtides.

6 Vooru lõpus arutatakse:

- Kuhu süsinik liikus kõige rohkem?
- Milline protsess mõjutab kõige rohkem süsinikuringe tasakaalu?
- Millistes tingimustes toimub turvastumine?
- Mis oleks olnud teisiti, kui ökosüsteemiks, kus mäng toimub, oleks olnud kuiv mets?

- Mis on see ainus protsess, mis seob atmosfäärist süsinikku?
- Kas süsteem oli enam-vähem tasakaalus?

### Võimalikud vastused I taseme aruteluküsimustele

- Meie kliimas talletub palju süsinikku mulda. Osa sellest lagundatakse ja osa talletub mulla toitainete varusse.
- See küsimus annab võimaluse õpilastel välja tuua erinevaid protsesse, sest igaühel neist on oluline mõju süsinikuringe toimimisele. Muidugi ei saa üle ega ümber fotosünteesi olulisusest süsihappegaasi atmosfäärist sidumisel, sest see toobki süsiniku ökosüsteemi ringlema.
- Turvastumine toimub happelises, niiskes ja hapnikuvaeses keskkonnas.
- Kui ökosüsteemiks ei oleks mitte niiske mets, vaid kuiv mets, siis ei toimuks turvastumist ning on võimalik, et suureneks välgust puude põlema süttimise tõenäosus ning kuivavate taimeosade hulk, mistõttu oleks rohkem suremisprotsesse.
- Fotosüntees on see ainulaadne protsess, mille käigus taimed seovad atmosfäärist süsinikku.
- Loodetavasti paistab süsinikuringe metsaökosüsteemis mängu I taseme mängimise järel tasakaaluline: igas tsoonis leidub žetoone ning nende jaotus on enam-vähem proportsionaalne.

### II tase. Kliimasoojenemine ja inimtegevus

- 1 Taastatakse I taseme algusseis, võetakse sama arv žetoone ja jaotatakse need ökosüsteemi eri tsoonide vahel nii nagu mängu alguses.
- 2 Loetakse koos II taseme infolehte, kus selgitatakse kliimasoojenemise ja inimtegevuse mõju süsinikuringele.
- 3 Võetakse II taseme protsessikaartide pakk. Selles sisalduvad ka kõik I tasemelt tuttavad protsessikaardid (looduslikud protsessid toimuvad endiselt).
- 4 Mängijad tõmbavad kaarte juhuslikus järjekorras ja liigutavad süsinikužetoone kaardil esitatud seletustest lähtuvalt: kaardil on näidatud proportsionaalselt, millised on selle protsessiga seotud märkimisväärsed süsiniku liikumised (nt 3 fotosünteesi, lagunemine, toitumine, suremine jne). Kui I tasemel oli iga käigu ajal vaja teha üks süsinikužetooni liigutus, siis II ja III tasemel liigutatakse žetoone vastavalt protsessikaardi selgitustele. Süsinikužetoone võib liigutada üle kihtide või samas tsoonis.
- 5 Kui mängija tõmbab kaardi „Metsa väärindamine“, siis tuleb anda mängujuhile märku. Mängija annab puuliigilt võetud süsinikužetooni mängujuhile ja mängujuht annab mängijale vahetuskaubana vastu maja tähistava žetooni. Tõsta maja mängulaua kõrvale. Maja kujutab väärindatud puitu, millesse süsinik on pikemaks ajaks talletatud, kuid metsast on puidus sisalduv süsinik välja veetud.

**6** Kui mängija tõmbab kaardi „Turba kaevandamine või märgalade kuivendus“, siis tuleb anda mängujuhile märku. Mängija annab mulla toitainete varust võetud süsinikužetooni mängujuhile ja mängujuht annab mängijale vahetuskaubana vastu turbapätsi tähistava žetooni. Tõsta turbapäts mängulaua kõrvale. Turbapäts kujutab turvast, mis veetakse ökosüsteemist välja ja seda kasutatakse mitmel erineval otstarbel.

**7** Mängujuht jälgib ja selgitab.

**8** Kui kaardipakist on kõik kaardid välja mängitud, pannakse II taseme kaardid kõrvale.

**9** Loetakse üle süsinikužetoonide arv eri kihtides.

**10** Mängu lõpus toimub aruteluring, kus võrreldakse:

- I taseme lõpus olnud süsinikužetoonide hulka ja jaotumist (looduslikus süsinikuringes) II taseme lõpus saavutatud süsinikužetoonide hulka ja jaotumisega (inimtegevuse ja kliimasoojenemise tingimustes toimunud protsesside tulemusega);

- millised muutused ja häiringud toimusid ning kuidas need mõju-tasid süsiniku liikumist.

### **III tase. Inimtegevuse abil tasakaalu taastamine**

**1** Loetakse koos III taseme infolehte, mis selgitab taastamistöde mõju metsa ökosüsteemile.

**2** Võetakse III taseme protsessikaartide pakk. Selles sisalduvad ka kõik I tasemelt tuttavad protsessikaardid (looduslikud protsessid toimuvad endiselt).

**3** Mängijad tõmbavad kaarte juhuslikus järjekorras ja liigutavad süsinikužetooni kaardil esitatud seletustest lähtuvalt: kaardil on näidatud proportsionaalselt, millised on selle protsessiga seotud märkimisväärsed süsiniku liikumised (nt 3 fotosünteesi, lagunemine, toitumine, suremine jne). Kui I tasemel oli iga käigu ajal vaja teha üks süsinikužetooni liigutus, siis II ja III tasemel liigutatakse žetooni vastavalt protsessikaardi selgitustele. Süsinikužetooni võib liigutada üle kihtide või samas tsoonis.

**4** Mängujuht juhendab arutlust, kuidas iga tegevus aitab süsiniku tasakaalu taastada.

**5** Mäng lõpeb, kui kõik III taseme kaardid on mängitud.

**6** Loetakse üle süsinikužetoonide arv eri kihtides.

## Mängu lõpp

Kui kõik kolm taset on läbi mängitud, juhivad mängujuht aruteluringi, milles mängijad toovad välja, mida nad süsinikuringe kohta õppisid, mis oli üllatav ja mis oli uus teadmine. Vaata ka järgnevas alajaotuses välja toodud õpiväljundeid ning saad kontrollida, kuidas õpilased on neid omandanud. Mängujuht suunab arutelu kliimasoojenemise seostele süsinikuringega ning iga õpilane saab mõelda, millised tema tehtavad eluvalikud paiskavad CO<sub>2</sub>-e atmosfääri ning millega ta saab aidata kaasa süsiniku sidumisele ökosüsteemides või seotud süsiniku pikemaajaliseks talletamiseks.

## Õpime läbi mängu (õpiväljundid)

Mängu lõpuks peaksid õpilased:

- mõistma loodusliku süsinikuringe toimimist parasvöötmeelises metsas;
- oskama märgata inimtegevuse ja kliimasoojenemise mõju süsiniku liikumisele ökosüsteemis;
- teadma, mil moel saavad inimesed aidata metsas tasakaalu hoida ja taastada;
- oskama kirjeldada metsa kui ökosüsteemi, sh selle liigilist mitmekesisust ja keskkonnatingimusi niiskes metsas;
- oskama selgitada, kuidas kaitsta elurikkust metsas;

- oskama kirjeldada loodus- ja majandusmetsade erinevusi ning nimetada säästva metsanduse põhimõtteid;
- oskama arutleda, mis on süsinikuringe tähtsus looduses ja miks on ökosüsteemis ühtaegu olulised nii tasakaal kui ka häiringud;
- aru saama toiduahelate, sh laguahelate tähtsusest süsinikuringes ning orgaanilise aine lagunemises ja uuesti kasutuselevõtus.

oskama välja tuua oma igapäevaelust olukordi, kus nad saavad keskkonnasõbralikumaid valikuid tehes vähendada süsiniku eraldumist atmosfääri ning toetada süsiniku sidumist ökosüsteemides.

# INFOLEHED:

## I tase. Looduslik süsinikuringe

Süsinikuringe on looduslik protsess, mille käigus süsinik liigub Maa eri „hoidlate“ ehk reservuaaride vahel. Globaalses süsinikuringes on nendeks hoidlateks atmosfäär (õhk), elusorganismid, muld, ookeanid ja kivimid. Käesolevas mängus keskendume parasvöötme metsades toimuvale süsinikuringele, märkamaks, kuidas süsinik liigub ökosüsteemis erinevate ökosüsteemi komponentide vahel, läbides erinevaid teisigi aineringe protsesse. Metsas saab süsinik liikuda atmosfääri, elusorganismide ja mulla vahel. Metsad on ühed olulisimad süsiniku sidujad Maal, kuid nende süsinikusidumise võime sõltub kliimatingimustest ja inim mõjust. Metsas on looduslikult jahedam, niiskem ja stabiilsem mikrokliima kui avatud koosluses ning metsa liigiline mitmekesisus aitab ökosüsteemiprotsessidel tõhusalt toimida. Süsinikuringe toimub pidevalt ning on üks olulisemaid aine- ja energiaringeid Maal, sest ilma süsinikuta ei oleks elu sellisel kujul võimalik.

Süsinik on kõigi elusolendite põhiline ehitusmaterjal. Kõik taimed, loomad, seened ja mikroorganismid koosnevad süsinikku sisaldavatest ühenditest. Näiteks suhkrud, rasvad, valgud ja DNA on kõik süsinikupõhised molekulid.

Atmosfääris leidub süsinikku peamiselt süsinikdioksiidina ehk süsihappegaasina (CO<sub>2</sub>). CO<sub>2</sub> on värvitu ja lõhnatu gaas, mida taimed

vajavad fotosünteesiks. Fotosüntees on protsess, mille käigus rohelised taimed, vetikad ja mõned bakterid kasutavad päikeseenergiat, et siduda CO<sub>2</sub> õhust ja muuta see orgaanilisteks ühenditeks, näiteks glükoosiks. Nii liigub süsinik atmosfäärist elusloodusesse. Samal ajal eraldub fotosünteesi käigus hapnik, mida kõik Maal elavad organismid hingamiseks vajavad.

Kui taim on süsiniku oma kehasse talletanud, liigub see toiduahela kaudu edasi. Taimi söövad näiteks loomad ja seened ja neid omakorda järgmised organismid. Nii kandub süsinik ühelt elusolendilt teisele. Kõik elusolendid hingavad ning hingamise käigus vabaneb osa süsinikust jälle CO<sub>2</sub>-na atmosfääri. See on süsinikuringe loomulik osa.

Kui organismid surevad, algab lagunemisprotsess. Surnud organismide jäänuseid lagundavad mitmesugused lagundajad: bakterid, seened, mullaloomad jm mikroelustik. Lagunemise käigus liigub osa süsinikust mulda, kus see võib püsida pikemat aega huumuse kujul. Teine osa süsinikust vabaneb taas CO<sub>2</sub>-na atmosfääri, sest ka lagundajad hingavad. Parasvöötmelises kliimas on süsiniku talletumine mulla toitainete varusse suurem kui ükskõik millisesse teise ökosüsteemi tsooni.

Mõnikord võib süsinik jääda väga pikaks ajaks „lukku“. Näiteks meredes elanud organismide jäänustest võivad settimise käigus miljonite aastate jooksul tekkida lubjakivid, või nii maismaal kui vees elanud organismidest tekkida fossiilkütused nagu kivisüsi, nafta ja maagaas. Eestis on oluliseks settimisproduktiks turvas. Ka sellised loodusvarad on osa süsinikuringest.

Ökosüsteeme kujundavad olulisel moel ka häiringud. Keskkonnanäring on ökosüsteemi mõjutav, väljastpoolt alguse saanud sündmus, mis põhjustab väikese- või suureskaalalisi muutusi ökosüsteemis. Häiringud võivad mõjutada metsas näiteks puude tervislikku seisundit, toitainete kättesaadavust või elurikkust. Laialatusliku häiringu korral võivad surra paljud organismid ja vahel terved populatsioonid. Väikesed häiringud on näiteks suure puu ümber kukkumine, mis loob häid valgustingimusi teistele liikidele ning metsloomade kraapimisjäljed alusmetsas, mis on paljastanud maapinda või kriimustanud puukoort. Niiviisi tekkinud mikroalaseid on võimalik teistel liikidel elupaigana kasutada. Mitmed looduslikud häiringud võimaldavad metsa uuenumist ja soodustavad toidu ja toitainete paremat kättesaadavust.

Käesolevat süsinikuringe mängu mängides, kus tuleb liigutada süsinikužetooni vastavalt kaartidel kirjeldatud sündmustele (fotosüntees, hingamine, toitumine, lagunemine, mullas talletumine, atmosfääri vabanemine ning mitmesugused häiringulised protsessid), on lihtne mõista, et süsinik ei kao, vaid liigub ühest kohast teise. Just see pidev liikumine hoiab elusorganisme elus ja Maa ökosüsteemid toimimas.

## II tase. Süsinikuringe kliimasoojenemisest ja inimtegevusest mõjutatud metsas

Elusorganismid ja metsamaa muld seovad ja hoiavad endas suures koguses süsinikku. Metsa süsinikuringe on üks väike osa globaalsest süsinikuringest ja sedasi töötab see üsna tasakaalulisena. Looduslikus, häirimata metsas seotakse fotosünteesi käigus atmosfäärist süsinikku ning samal ajal eraldub hingamis- ja lagunemisprotsessidega osa süsinikust tagasi õhku. Kliimasoojenemine ja inimtegevus võivad süsinikuringe tasakaalu aga oluliselt muuta.

CO<sub>2</sub>-st räägitakse palju seoses kasvahooneefektiga. CO<sub>2</sub> on kasvahoonegaas, mis hoiab Maa soojusenergiat atmosfääris kinni. Looduslik kasvahooneefekt on eluks vajalik – ilma selleta oleks Maa liiga külm. Probleem tekib siis, kui inimtegevuse tõttu satub atmosfääri liiga palju CO<sub>2</sub>, mis kiirendab kliima soojenemist. Juba soojenev kliima loob tingimusi veel paremaks süsiniku atmosfääri eraldumiseks ja tekib lumepalliefekt, kus inimtegevuse toel kliima üha soojeneb.

Kliima soojenemine mõjutab metsi mitmel viisil. Soojemad temperatuurid ja lühemad ning pehmemad talved soodustavad putukahjurite, näiteks kooreüraskite, ellujäämist ja levikut. Samuti tõuseb niiskete ja soojade perioodide sagenemisega taimede seenhaiguste levik. Kui putukahjureid ja seenpatogeene on rohkem, kahjustub või hukkub suurel hulgal puid jt taimi. Sel juhul liigub süsinik taimedest putukatesse ning taimede hukkumisel ka mulda ja atmosfääri. Nii võib mets ajutiselt muutuda tavapärasest rohkem süsiniku allikaks kui sidujaks.

Kliimamuutustega kaasnevad ka sagedasemad äärmuslikud ilmastikunähtused, nagu tugevad põuad ja tormid. Põud pärsib puude kasvu ja fotosünteesi, mistõttu seotakse atmosfäärist vähem CO<sub>2</sub>. Samal ajal jätkub hingamine, mis tähendab, et süsinikku eraldub rohkem, kui seda juurde seotakse. Tormid võivad murda või juurida välja suuri puid, mis hakkavad lagunema ning süsinik liigub elusast biomassist mulda. Põlengud, tormid ja ilmastikumuutused toimuvad ka looduslike protsessidena, kui välg süütab kuiva puu või mõned puud või oksad kukuvad tuulehooga, ent need häiringud on tavaliselt kohapealsed ja väikese mõjuga kogu ökosüsteemile.

Eriti kiire ja märkimisväärne süsiniku liikumine toimub metsapõlengu ajal. Põlengu käigus eraldub suur osa puudes ja alustaimestikust talletunud süsinikust kiiresti CO<sub>2</sub>-na atmosfääri. Väiksem osa süsinikust liigub tuha või söestunud orgaanilise ainega mulda. Metsapõlengu ajal on mets suur süsiniku eraldaja, kuid põleng on lühiajaline protsess. See-eest pärast põlengut võtab mets taastumine ja jätkub süsiniku eraldamine lagundamise käigus veel aastakümneid. Soojem ja kuivem kliima teeb metsapõlengud tõenäolisemaks, mistõttu eraldub metsadest rohkem süsinikku õhku.

Lisaks kliimale mõjutab süsinikuringet tugevalt inimtegevus. Metsaraie vähendab puude hulka, kes suudavad CO<sub>2</sub>-e fotosünteesi käigus siduda. Lisaks sellele eraldub raietegevuse käigus märkimisväärses hulgas CO<sub>2</sub>-e atmosfääri, kui inimene kujundab ümber olemasolevaid keskkonnatingimusi. Süsinikku eraldub paljaks jäänud mullapinna pealt ning raiējääkide ja surnud juurestiku lagunemisest. Kui raiutud puit põletatakse, liigub selles olnud süsinik atmosfääri. Kui puitu kasutatakse pikaealistes toodetes, näiteks ehituses ja tarbeesemetes, võib süsinik jääda aastakümneteks talletatuks.

Üks suurema mõjuga muutusi on metsade raadamine. Raadamine on metsa ja võsa eemaldamine, eesmärgiga muuta püsivalt maa sihtotstarvet, näiteks põllumajanduse, ehituse või taristurajatiste arendamiseks. Puud veetakse metsast välja, mullas oleva orgaanilise aine lagunemine hakkab mullaorganismidele sobivate tingimuste tõttu kiirenema, kuna päikesele avatud koosluses tõuseb mullasoojus ning maaharimisel segatakse mulda läbi, mistõttu muld rikastub hapnikuga. Selle tulemusena eraldub mullas talletunud süsinik CO<sub>2</sub>-na atmosfääri. Seepärast muutuvad mullad sageli märkamatult inim-mõju tõttu oluliseks süsinikuallikaks.

Ka metsakuivendus mõjutab süsinikuringet. Kui metsas kõrget vee-taset kuivenduskraavide rajamisega alandatakse, muutub muld kui-  
vemaks ja hapnikurikkamaks. See soodustab mullaelustiku tegevust ja orgaanilise aine, nt turba lagunemist, mille tulemusel vabaneb olulises mahus süsihappegaasi atmosfääri. Samal ajal kuivendatud metsa süsinikusidumise võime taimede paremate kasvutingimuste tõttu suureneb. Turba kaevandamisel on suur negatiivne keskkonna-mõju: turbakihi pealt eemaldatakse taimestik ning õhuga kokkupuutel hakkab lagunevast turbast eralduma suurtes kogustes süsinikku sisaldavaid gaase. Pärast turba kaevandamise ja väljaveo lõppe-mist jäävad lagedad turbaväljad veel aastakümneteks suurteks sü-  
siniku eraldajateks. Taastaimestumine toimub erakordselt aeglaselt ekstreemsete kasvutingimuste tõttu: kuiv turbapind tolmas, mis ei soodusta seemnete idanemist ja juurte kinnitumist ning selle pinna-temperatuur on päikese käes kõrge.

Oluline on ka mõista, et mets on kohanemisvõimeline ja aeglaselt, ent siiski taastuv ökosüsteem. Lageraiejärgsed puistud on võimelised taastuma ja muutuma süsiniku eraldajast süsiniku sidujaks umbes kümne aasta jooksul pärast lageraiet. Süsiniku sidumise võime taas-tumine sõltub metsauuenduse edukusest ja ilmastikutingimustest. Metsade taastamine, noorte puude kasv ja looduslähedane ma-jandamine aitavad süsinikku atmosfäärist siduda. Kui mets kasvab, liigub süsinik taimede ja mulla kaudu paljudesse elusorganismidesse. Vana mets, huumushorison ja turvas on aga olulised süsiniku endas talletajad aastasadeks või lausa tuhandeteks aastateks.

Süsinikuringe kliimasoojenemisest ja inimtegevusest mõjutatud metsas ei ole sirgjooneline ega lihtne. Sama mets võib eri aegadel olla nii süsiniku siduja kui ka selle vabastaja. Mängu teises tasemes saab kogeda, kuidas erinevad sündmused ja otsused muudavad süsiniku liikumist ning mõjutavad kogu metsasüsteemi tasakaalu. See aitab mõista, et kliimamuutused ja inimtegevus ei ole abstrakt-sed nähtused, vaid protsessid, millel on otsene mõju loodusele ja süsinikuringele.

## III tase. Kuidas inimene saab aidata metsas tasakaalu taastada

Kuigi kliimasoojenemine ja inimtegevus võivad metsades toimiva süsinikuringe tasakaalu häirida, on inimesel ka võimalus metsade süsinikuringet teadlikult toetada ja suunata. Mängu kolmas tase keskendubki lahendustele – tegevustele ja protsessidele, mis aitavad süsinikul püsida metsas kauem ning liikuda atmosfäärist tagasi elusloodusesse ja mulda.

Üks olulisemaid viise süsiniku sidumiseks on taimkatte kasv ja säilimine. Noorte puude istutamine ja loodusliku uuenemise ning liigirikkuse soodustamine suurendavad fotosünteesi ning võimaldavad puudel siduda atmosfäärist süsihappegaasi. Kasvavad puud talletavad süsinikku oma tüvedes, okstes ja juurtes ning osa sellest liigub aja jooksul ka langenud lehtede ja juurte kaudu metsamulda. Mida mitmekisem ja tervem on mets, seda stabiilsem on süsiniku sidumine.

Seetõttu on ka vanade metsade säilitamine oluline süsinikuringet toetav tegevus. Kuigi vanad metsad ei kasva enam nii kiiresti kui noored, on neis süsinik seotud suurtesse puudesse ja sügavatesse mullakihtidesse. Samal ajal toimub neis pidev süsiniku liikumine taimede, loomade, mullaelustiku ja mulla vahel. Selline tasakaalustatud ringlus hoiab süsinikku metsas kaua ning vähendab selle kiiret vabanemist atmosfääri.

Säästev metsamajandamine tagab elustiku mitmekesisuse, metsa tootlikkuse, uuenemisvõime ja elujõulisuse, samal ajal võimaldades ka muid inimvajadusi rahuldavat mitmekülgset metsakasutust. Selle

eesmärk on säilitada metsi kui terviklikke ökosüsteeme ka tulevastele põlvkondadele ja hoida ära metsaressursside ammendumist. Peamised säästva metsamajanduse põhimõtted on järgmised:

- 1 **Ökoloogiline tasakaal ja elurikkus:** metsade majandamine peab säilitama bioloogilise mitmekesisuse, veevarud, mulla ja ainulaadsed ökosüsteemid.
- 2 **Pikaajaline tootlikkus:** metsa kasutatakse viisil, mis tagab puidu ja teiste hüvede kättesaadavuse ka tulevastele põlvedele.
- 3 **Seaduslikkus ja standardid:** tegevus vastab riiklikele seadustele ja rahvusvahelistele standarditele (nt FSC, PEFC).
- 4 **Kõrge kaitseväärtusega metsade hoidmine:** kaitstakse vääriselupaiku ja ohustatud ökosüsteeme.
- 5 **Sotsiaalne vastutus:** võetakse arvesse kohaliku kogukonna õigusi ja huvisid ning töötajate turvalisust.
- 6 **Majandamisplaan ja seire:** metsi majandatakse pikaajalise kava alusel, mille mõju pidevalt seiratakse ja hinnatakse.

Väga tähtis roll süsiniku pikaajalisel talletamisel on ka metsamullal. Muld sisaldab sageli rohkem süsinikku kui kogu metsa elus biomass. Inimtegevus saab seda varu kas kaitsta või kaotada. Näiteks soode jt märgalade taastamine tõstab veetaset ning aeglustab orgaanilise aine lagunemist. Hapnikuvaeses ja niiskes mullas ei suuda lagundajad orgaanikat kiiresti lagundada, mistõttu süsinik talletub pikaks ajaks

turbana. Turba kaevandamine ja selle põletamine aga vabastab süsinikku atmosfääri.

Inimene saab teadlike valikutega toetada metsade tervist ja vastupanuvõimet. Patogeensete ehk haigustekitajatest seente ja kahjurputukate biotõrje aitab vältida ulatuslikku puude jt organismide hukkumist. Kui puud püsivad elus ja kasvavad edasi, jääb süsinik nende biomassi seotuks ning ei liigu kiiresti atmosfääri organismide lagunemise teel.

Väga oluline roll süsinikuringes on ka elurikkuse säilitamisel. Nii näiteks suurendab tolmeldajate putukate elupaikade kaitse ja mitmekesise taimkatte säilitamine tolmeldatavate taimede hulka. Mida rohkem on taimi, seda rohkem toimub fotosünteesi ja seega seotakse atmosfäärist suuremas koguses süsinikku. Osa süsinikust liigub taimedest kui putukate toiduobjektidest ka putukatesse ning sealt edasi kogu toiduvõrgustikku. Elurikkus loob koosluses ka mitmekesisemad elupaigatingimused, mis omakorda soodustavad toiduvõrgustike liigirikkust ja suuremat süsiniku hulka koosluses.

Raiemeetodi valimisel on samuti määrav roll süsiniku eraldumise ning ökosüsteemi häiringu suuruse mõjutamisel. Raieviise on palju ning need erinevad nii raiutava ala suuruse, tegevuse eesmärgi kui ka teostuse ja raiejärgsete tegevuste poolest. Siiski võib välja tuua, et lageraie või raadamine ehk metsa maha võtmine nii, et metsa asemele rajatakse hoopis midagi muud (kas nt elamurajoon, tee või põld), avaldavad väga suurt mõju ökosüsteemi terviku toimimisele ning süsiniku eraldumisele, ent väikeseskaalalised raied nagu nt hooldusraie või valikraie muudavad keskkonnatingimusi küll oluliselt, aga korraga väik-

sematel aladel. Valikraie korral raiutakse püsimeetsana majandatavast puustust välja seadusega kehtestatud raievanuse saavutanud puud kas üksikult või väikeste raiealadena. Hooldusraiega parandatakse metsa valgustingimusi, haigustele ja kahjuritele vastupanuvõimet ning suunatakse metsa liigilist koosseisu. Püsimeetsamajandusviisi korral asenduvad välja raiutud või välja langenud puud ise kasvukohale omaste puudega, kui tuulega vabale ja valgusrikkale alale jõudvad seemned kasvama lähevad. Oluline on teada, et ka juhul, kui inimene ei istuta lagedale alale noori puid, kujuneb aastate jooksul iseeneslikult sellele alale iseloomulikele keskkonnatingimustele vastav taimestik. Metsa protsesse võib kujundada, aga mets on ka ise, ilma inimese sekkumiseta toimiv ökosüsteem.

Lisaks otsesele metsahooldusele mõjutavad süsinikuringet ka inimeste tarbimis- ja tootmisvalikud. Puidu kasutamine pikaealistes toodetes, nagu hooned ja mööbel, võimaldab süsinikul püsida seotuna aastakümneid. Taaskasutus ja taastuvenergia kasutamine vähendavad fossiilsete kütuste põletamist ning hoiavad ära uue süsiniku lisandumise atmosfääri.

Süsinikuringe toetamine metsas ei tähenda ühe lihtsa lahenduse rakendamist. See on paljude väikeste ja teadlike otsuste kogum, mis aitavad süsinikul liikuda aeglasemalt ja püsivamalt. Mängu kolmandas tasemes saab katsetada, kuidas erinevad taastavad tegevused ja keskkonnasõbralikud valikud aitavad metsas tasakaalu taastada ja hoida ning muudavad metsa eelkõige süsiniku sidujaks, mitte selle allikaks.