

Kas tsemenditööstus ja betooni kasutamine põhjustavad õhu saastumist?

Biokütuste, näiteks puidu põletamisel eralduv CO_2 loetakse keskkonda mittesaastavaks, sest selle seovad uuesti kasvavad taimed. Mille poolest erineb tsemendi tootmine ja betooni kasutamine puidu põletamisest just eralduva CO_2 seisukohalt?

LEMBI RAADO

TTÜ professor, ehitusmaterjalide õppetooli juhataja

Planeeti Maa ümbritsev atmosfäär sisaldab hapniku kõrval nii süsihappegaasi kui ka mitmesuguseid muid gaase. Oleme harjunud, et meid ümbritsevate õhus sisalduvate gaaside suhe on teatud piirides, mis on eelduseks planeedi Maa ökosüsteemi tasakaalule. Kasvuhooneefekti põhjustava CO_2 kontsentratsiooni muutusi registreeritakse ja selle tõus tekitab muret. Rahvastiku plahvatuslik kasv, koos sellega loomapidamise ulatuslikkus, tööstuse ja transpordi areng koos kütuste põle-

tamisega on põhjustanud ka süsihappegaasi emissiooni suurenemise.

Betooni karboniseerumine on protsess, mis leiab aset ehitiste avatud betoonpindadel õhus leiduva süsihappegaasi CO_2 ja tsemendikivis leiduva $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vahel. Nimetatud karboniseerumisprotsessi tulemuseks on CaCO_3 taasmoodustumine, millega kaasneb ka tsemendikivi aluselise reaktsiooni muutumine neutraalseks. Selles protsessis seotakse õhus leiduv CO_2 – väheneb süsihappegaasi sisaldus meid ümbritsevas õhus. Tsemendiklinkri tootmist loetakse üheks keskkonda saastavamaks tehnoloogiliseks

protsessiks, jättes täiesti tähelepanuta betooni taaskarboniseerumise ehitise elutsükli vältel ja selle järel. Samas loetakse keskkonda mittesaastavaks biokütuste (näiteks puit) põletamisel moodustunud CO_2 , sest moodustunud süsihappegaasi seovad uuesti kasvavad taimed. Mille poolest erineb tsemendi tootmine puidu põletamisest eralduva CO_2 seisukohalt?

Emissioon ja karboniseerumine

Tsemendiklinkri tootmisel on tooraineks lubjakivi. Tootmine eeldab lubjakivi lagundamist kõrgel temperatuuril. Iga tonni portlandtsemendi klinkri

Joonis 1. CO_2 ringlus looduses.

Puidu kasutamine kütusena – taastuvad energialiigid



Puit, puiduhake jms kui biokütus

CO_2 atmosfääri



CO_2 vabaneb

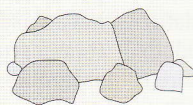
CO_2 tarbitakse fotosünteesis



CO_2 seotakse uuenevas taimestikus

Tsemendi tootmine lubjakivist, betooniehitiste püstistamine ja lammutamine

Tsemendi tootmine



Tooraine: lubjakivi CaCO_3

õhu CO_2



Kaltsineerimise protsessis moodustub CaO , tsemendikivis $\text{Ca}(\text{OH})_2$

CaCO_3 laguneb

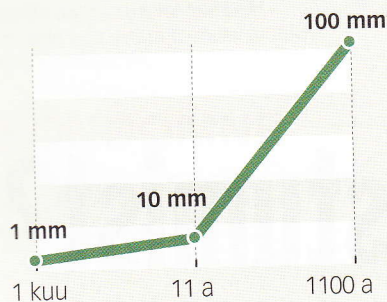
Karboniseerumisel seotakse õhust: $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$



Betoonehitise eksploatatsioonielutsüklil. Aeglane karboniseerumine alates pinnalt

Moodustub CaCO_3

Joonis 2. Eksponeeritud betoonipinna suurus ja betooni täielikuks karboniseerumiseks vajalik aeg.



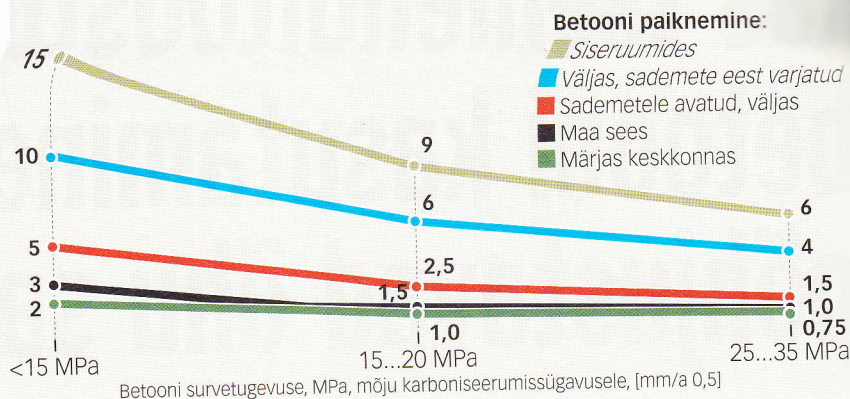
tootmisel eraldub lubjakivi lagundamisest 510 kg CO₂, millele lisanduvad CO₂ emissioonid tarbitud kütusest ja kulutatud elektrienergiast. Seega CO₂ koguemissiooni ühe tonni klinkri kohta võiks hinnata umbes 800...900 kg CO₂. Nii võib tsemenditööstust pidada meid ümbritsevasse õhku emiteeritud CO₂ hulka oluliselt mõjutavaks teguriks. Kogu inimtegevuse tekitatud süsihappegaasist moodustab tsemenditööstus erinevatel hinnangutel 5...7%. See on ka põhjuseks, miks ei saa lugeda tsemendibetooni ja sellest valmistatud ehitisi ning rajatisi keskkonnahoidlikeks.

Protsesside kulgu põhjalikumalt analüüsides nähtub, et märkimisväärne osa õhku paisatud süsihappegaasist seotakse betooni karboniseerumise protsessis tagasi. Nimelt moodustub portlandtsemendi reageerimisel veega tsemendikivi, mis seob täitematerjali tehiskiviks – betooniks. Tsemendikivi koosneb kaltsiumhüdroksilikaatidest ja protsessil eraldunud aluselisest kaltsiumhüdroksiidist Ca(OH)₂. Tekkinud vaba kaltsiumhüdroksiid ei ole püsiv atmosfääri tingimustes. Reageerides betooni avatud pindadel vee juuresolekul aegamööda õhus leiduva süsihappegaasiga, moodustub taas kaltsiumkarbonaat – vaata joonis 1. Joonisel kujutatud näitab, et betooni puhul toimub atmosfäärist CO₂ sidumine. Vaatleme CO₂ sidumise ulatust, protsesside kulgu ja kiirust ning üritame Põhjamaades Taanis, Norras, Rootsis ja Islandil teostatud uurimistööde tulemuste abil tuua selgust tsemenditööstuse poolt emiteeritava CO₂ ringluses.

CO₂ ringlus töötab ka betooni puhul

Tänapäeval valmistatakse betoone, kasutades sideainena portlandtse-

Tabel 1. Betooni survetugevuse mõju karboniseerumiskiirusele erinevates keskkondades.



Protsesside kulgu põhjalikumalt analüüsides nähtub, et märkimisväärne osa õhku paisatud süsihappegaasist seotakse betooni karboniseerumise protsessis tagasi.

menti. Raudbetoon-konstruktsioonide puhul valitakse betooni kaitsekihi paksus terrassarruse peal vastavuses keskkonnatingimustega. Raudbetooni püsivus keskkonnas on tagatud betoonialuselise reaktsiooniga, mis takistab terasarmatuuri roostetamist. Tavapärastel on ehitiste omanike ja hooldajate mureks terrassarruse korrosioon, mida põhjustab betoonikihi karboniseerumine.

Karboniseerunud betooni aluselisus langeb, mille tulemusena ei kaitse betoonikiht terrassarrust enam vee ja õhuhapniku ning nendega kaasneva korrodeerumise eest.

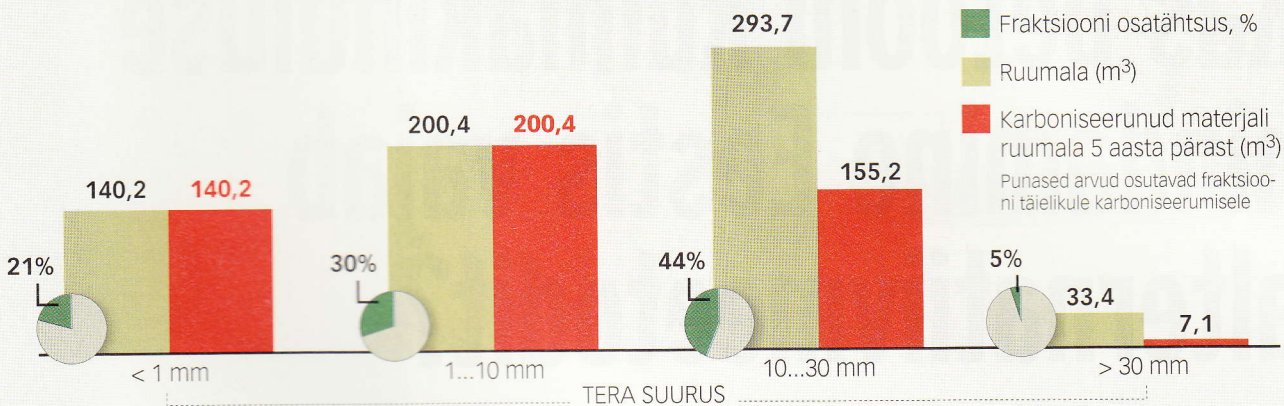
Siinkohal puutusimegi kokku betooni vältimatu karboniseerumise protsessiga. Tuletame meelde, et betoonis kasutatava portlandtsemendi tootmisel eraldus atmosfääri saastav süsihappegaas. Tegelikult hakkab betoon kohe siduma atmosfäärist süsihappegaasi. Nii jõuamegi siinkohal CO₂ ringi sulgumiseni. Jääb vaid küsida, millest on betooni puhul õhust CO₂ sidumise kiirus ja missuguses ulatuses see võrreldes järjest suurenevate toodangumahtudega toimub.

Avatud pindadel betoon karboniseerub kiiremini

Et karboniseerumine algab betoonkonstruktsiooni avatud pinnalt, liikudes aeglaselt sissepoole, on protsessi kiirus avatud pinna suurusel, betooni tihedusel, kihi paksusel jne. Joonisel 2 on esitatud betooni avatud pinna suurus ja selle täielikuks karboniseerumiseks vajalik aeg. Mida suurem on avatud pind, seda kiiremini toimub karboniseerumine. Ka betooni tihedus, tugevus ja betoonikihi paksus mõjutavad karboniseerumise käiku. Mida kõrgema tugevusklassiga on betoon (tabel 1), seda aeglasemalt toimub karboniseerumine /5/. Olulist mõju avaldab karboniseerumise kiirusele ka betoonkonstruktsiooni massiivsus. Joonisel 3 nähtub, et konstruktsioon, milles betoonikihi paksus on 5 cm, võiks sisetingimustes täielikult karboniseeruda saja aasta möödudes.

Nii toimub karboniseerumine süsihappegaasirikastes sisetingimustes kiiremini kui välistingimustes (tabel 1) /3/. Mida väiksema poorsuse ja kõrgema tugevusklassiga on betoon, seda aeglasemalt toimub karboniseerumine /5/. Terrassarruse korrodeerumise eeltingimuseks on vee jõudmine terrassarruseni, seega kuivades sisetingimustes ka karboniseerunud betoonis terrassarrus ei korrodeeru. Pragudeta, keskkonnatingimustele vastava paksusega betoonikihi olemasolu sarruse peal lükkab edasi betooni täielikku karboniseerumist ja seega kaitseb terrassarrust korrosiooni eest. CO₂ sidumine betooni poolt on aga seda aeglasem, mida suurema paksusega on betoonkonstruktsioon.

Loomulikult ei ole see kiirus piisav tsemendi valmistamisprotsessis eraldunud CO₂ taassidumise seisukohalt. Vastavalt Põhjamaades /4/ teostatud

Tabel 2. Purustatud betooni karboniseerumise ulatus 5 aasta pärast olenevalt betoonipuru terasuurusest.

uuringutele seotakse betoonehitise 70-aastase eluea jooksul vaid 20...40% tsemendi tootmisel tekkinud CO₂ hulga.

Eeltoodust selgub, et karboniseerumiskiirus olenes otseselt avatud betoonipinna suuruselt. Järelikult, oma otstarbe kaotanud ja elutsükli lõpetanud ehitiste lammutamine ja betooni purustamine taaskasutamiseks täitena või mõnel muul otstarbel võimaldab oluliselt rohkem siduda ka CO₂ atmosfäärist ja seega vähendada esialgselt tsemendi tootmisel eraldunud CO₂ hulka. Tabelis 2 on toodud purustatud betooni terasuuruse mõju karboniseerumise kiirusele. Nii on viie aasta pärast purustatud betooni fraktsioon 1...10 mm karboniseerinud täielikult, fraktsioon > 30 mm aga 21% ulatuses.

Taaskasutamine purustatud betooni kaudu

Eeldades, et ehitise ekspluatatsiooniea möödudes ehitise lammutatakse ja betoon purustatakse taaskasutamiseks, muutub oluliselt ka süsihappegaasi sidumine. Purustatud betooni poolt atmosfäärist seotava CO₂ hulk ületab 2-2,5 korda betoonehitiste vastava näitaja. Seega võimaldab lammutatavatest betoonehitistest järele jääva betooni purustamine taaskasutamiseks oluliselt suurendada betooni keskkonnahoidlikkust ja vähendada CO₂ sisaldust atmosfääris. Andmed pärinevad Põhjamaade, Rootsi, Norra, Taani ning Islandi kogemustel betoon-



Oma otstarbe kaotanud ja elutsükli lõpetanud ehitiste lammutamine ja betooni purustamine taaskasutamiseks täitena või mõnel muul otstarbel võimaldab oluliselt rohkem siduda ka CO₂ atmosfäärist ja seega vähendada esialgselt tsemendi tootmisel eraldunud CO₂ hulka.

ehitiste lammutamise ja nendest saadava betoonipuru kui kiirendatult karboniseeruva materjali CO₂ uurimuste referimisel /1/.

Uurimuses on arvutuslikult modelleeritud 1950. aastal Taanis püstitatud betoonehitiste elukaart: karboniseerumine toimub ehitise 70-aastase eksisteerimise vältel umbes 31% ulatuses ja lammutusjärgselt purustatud materjali karboniseerumine saavutab 2050. aastal 79% algsest õhku paisatud CO₂ kogusest /4/. 2003. aastal moodustas betoonehitiste purustamisel taaskasutamiseks purustatud betoon Taanis 90%, Norras 30%, Rootsis 60% ja Islandil sellist praktikat ei ole märgatavas ulatuses kasutatud /1/.

Kindlasti on ka Eestis perspektiivne oma elutsükli lõpetanud ja sihipärast kasutamist mitteleidvate betoonehitiste lammutamisjärgne purustamine taaskasutamise otstarbel. Siiani puudub statistiline ülevaade lammutatud betoonehitistest järele jääva betooni kohta. Lammutatud raudbetoonist metalli eraldamine ja suure tugevuse

ning abrasiivsusega materjali purustamine on tehnoloogiliselt teostatav, kuid ka energiamahukas protsess. Samal ajal ei võimalda meid ümbritsev loodus lõputult ladustada inimtegevusest tekkinud jäätmeid ja mõistlikud lahendid nende probleemide vältimiseks väärivad kaalumist. Arvestades, et Eestis toodetakse aastas umbes 1 miljon tonni tsementi, annaks CO₂ emissioonide ning kodumaise betooni kasutamises taasseotava süsihappegaasi suhte väljatoomine tegelikkusele parema pildi tsemenditootmise ja betoonist ehitamise keskkonnamõjutustest.

Kirjandus

1. Jónsson, G., *Information on the use of concrete in Denmark, Sweden, Norway and Iceland*, Nordic Innovation Centre, 2005.
2. Kjellsen, K. O., Guimaraes, M., Nilsson, Å., *The CO₂ Balance of Concrete in a Life Cycle Perspective*, Nordic Innovation Centre Project, 2005.
3. Virtanen, J. *Betoni on hiilidioksiidnielu*, *Betoni*, 4, 2010, pp. 42-44.
4. CO₂ uptake during concrete life cycle, Project of Nordic Innovation Centre.
5. Lagerblad, B.: *Carbon Dioxide Uptake During Concrete Life Cycle, state of the art*, Swedish Cement and Concrete Research Institute - CBI, 2005, www.cbi.se.



Kindlasti on ka Eestis perspektiivne oma elutsükli lõpetanud ja sihipärast kasutamist mitteleidvate betoonehitiste lammutamisjärgne purustamine taaskasutamise otstarbel.