

BETONIRAKENTEIDEN YMPÄRISTÖMINAISUUDET

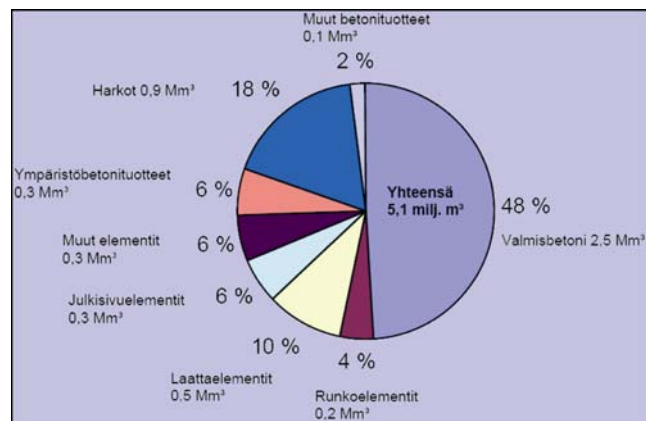


SISÄLTÖ

BETONI RAKENNUSMATERIAALINA
BETONIN HISTORIA
KÄYTTÖ TALONRAKENTAMISESSA
KÄYTTÖ INFRARAKENTAMISESSA
VALMISOSIEN KÄYTTÖ
BETONIRAKENTEEN EKOTEHOKKUUS
BETONIRAKENTEEN ELINKAARIEDULLISUUS
BETONIN ESTEETTISYYS
BETONITEOLLISUUDEN YMPÄRISTÖTAVOITTEET
SEMENTTI
KIVIAINES
RAUDOITTEET
BETONIN VALMISTUS
KIERRÄTYS
SEOSAINEIDEN KÄYTTÖ
TYÖTURVALLISUUS
KIERRÄTYSMATERIAALIEN HYÖDYNTÄMINEN
KULJETUKSET
BETONIN LUJUUS
PALOTURVALLISUUS
PALOVAHINGOT
KOSTEUDENKESTÄVYYS
PÄÄSTÖT
SÄTEILY JA RADON
ÄÄNENERISTYS
RAKENNUKSEN ELINKAARI
BETONIN LÄMMÖNVARAUSKYKY
SISÄLÄMPÖTILAT JA VIIHTYVYYS
KIVIRAKENNUKSEN TIIVEYS
MATALAENERGIARAKENTAMINEN
BETONIN KÄYTTÖIKÄ
MUUNTOJOUSTAVUUS
HUOLTO JA KUNNOSSAPITO
PURETTAVUUS JA UUSIOKÄYTTÖ
KIRJALLISUUTTA

Betoni rakennusmateriaalina

Eniten käytetty rakennusmateriaali maailmassa



Betoni on eniten käytetty rakennusmateriaali maailmassa. Tämän mahdollistaa raaka- aineiden hyvä saatavuus ja yksinkertainen valmistusteknologia. Siitä tehdään mm. rakennuksen runkoja ja julkisivuja, siltoja, patoja, teitä ja muita infrarakenteita, pihakiviä, putkia , harkkoja sekä taideteoksia.

Betoni on kivipohjaisena materiaalina kestävä, luja ja vähän huoltoa vaativa. Betonirakennukset säästävät massiivisina ja tiiviinä energiaa koko elinkaaren ajan. Betonilla saadaan asuntoihin hyvä ääneneristävyyys ja paloturvallisuus.

Betonin pääraaka-aineet ovat sementti, vesi ja kiviaines. Betonin raaka-aineet otetaan maaperästä. Kiviaines on paikallista, eikä vaadi yleensä pitkiä kuljetusmatkoja. Betonin kiviainesta on saatavissa rajattomasti lähes kaikkialla.

Sementti valmistetaan pääasiassa kalkkikivestä, joka on yksi maapallon yleisimmistä kivilajeista. Betoniteollisuus pystyy käyttämään raaka-aineena muun teollisuuden muuten jätteeksi meneviä sivutuotteita, kuten lentotuhkaa, masuunikuonaa ja silikaa.

Betonin vahvuudet

- luonnon raaka- aineista valmistettu
- luja
- kestävä ja pitkäikäinen
- paloturvallinen
- ääntä eristävä
- energiaa säästävä
- kierrätettävä
- edullinen

Koko elinkaaren aikaisilta ympäristökuormituksiltaan betoni on erittäin ekotehokas rakennusmateriaali. Betoni on yksi taloudellisimmista rakennusmateriaaleista.

Betonista voidaan toteuttaa pitkiä jännevälejä, joiden ansiosta tilat ovat hyvin suunnittelujoustavia. Betoni on muovailtava materiaali, jonka väriä, muotoa ja pintakäsittelyä voidaan varioida tarpeen mukaan.

Betoni suojaa sekä ihmisten että liikenteen aiheuttamalta melulta. Siitä ei materiaalina liukene tai emitoidu haitallisia määriä sisäilmaa likaavia tai ihmisen terveyttä haittaavia aineita. Betoni soveltuu mm. juomavesikaivojen ja -putkistojen materiaaliksi. Palotilanteessakaan betoni ei aiheuta ympäristölle vaarallisia savukaasuja tai muita aineita.

Betonirakenteita käytetään yleisesti suojaamaan ihmisiä erilaisilta onnettomuuksilta ja ympäristökatastrofeilta. Esimerkkejä suojaavista rakenteista ovat padot, väestönsuojat, paineastioiden ja reaktoreiden suojarakenteet, säteilysuojat, radonsuojaus, rannikoiden aallonmurtajat jne.

Betonia voidaan käyttää joko valmisosina, jotka on tehty tehtaassa koneellisesti ja automatisoidusti tai rakennustyömaalla betonia paikallavalaen.

Betoniteollisuus työllistää Suomessa suoraan noin 5000 ja välillisesti noin 10000 ihmistä. Eri tuotteille on varsin tiivis valmistajaverkko, jolloin kuljetusmatkat jäävät lyhyiksi. Esimerkiksi elementtitehtaita on yli 100 ja valmisbetoniasemia noin 250.

Betonin historia

2000 vuotta betonia



Rooman Pantheon on yksi tunnetuimpia varhaisimpia betonirakenteita. Siinä vanhaa tekniikkaa oli kreikkalaisilta peritty kivirakentamisen taito ja uutta tekniikkaa betonirakentamistapa. Roomalaisessa betonissa käytettiin sideaineena potsolaania, silikaa sisältävää vulkaanista tuhkaa.

Uudelleen betonia ryhdyttiin käyttämään 1800-luvulla Portland-sementin keksimisen jälkeen ja käyttö levisi nopeasti 1900-luvulla. Suomessa vanhimpia käyttökohteita ovat taidokkaasti valetut portaikot, jotka ovat edelleenkin käytössä lähes kaikissa vuosisadan vaihteen kivitaloissa. Erikoinen käyttökohde ovat Ateneumin julkisivun betoniveistokset vuodelta 1866.

Raudoituksia alettiin kokeilla betonissa 1800-luvun puolivälissä. Tieto betonin käytöstä rungon rakentamiseen levisi maailmanlaajuisesti Pariisin maailmannäyttelyssä vuonna 1900. Helsinkiin nousi nopeasti aikansa uutta betoniarkkitehtuuria ja -tekniikkaa edustavia julkisia rakennuksia, mm. rautatieasema, eduskuntatalo, Stockmann ja Taidehalli.

Vuosisadan alkupuolen teollistuminen ja kaupungistuminen edellyttivät Suomessa rakentamista, joka toteutettiin nuoren betonitekniikan avulla. Betoni otettiin käyttöön kaikilla rakentamisen osa-alueilla. Esimerkki arvostetusta betonirunkorakentamisesta on 1930-luvun Töölö taloineen ja stadioneineen. Arkkitehtonisesti betonin muovailtavuus tarjosi uusia mahdollisuuksia, joita esimerkiksi Alvar Aalto hyödynsi funktionalistisissa töissään 1930-luvulta lähtien.

Betoni valtasi alaa myös tie- ja liikennejärjestelyiden, vesi- ja viemärintijärjestelmien sekä teollisuuden ja tuotannon rakentamisen yhteydessä. Merkittäviä kohteita olivat mm. Enso-Gutzeitin Kaukopään tehtaat ja Imatrankosken valjastus. Muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kaupunkien ja kuntien viemäriputkistot sekä noin 400 vesitornia on rakennettu betonista.

Betoniteollisuutta alettiin kehittää elementtiteknologian avulla 1950-luvulla. Ensimmäiset julkisivuelementit kiinnitettiin Viljo Revellin suunnittelemaan Palace-taloon. Tunnetuimpia varhaisia elementtirakennuksia on arkkitehti Aarne Ervin suunnittelema Helsingin Yliopiston Porthania.

Kolmekymmenluvun aate ja henki heijastuivat rakennusten esteettisissä ratkaisuissa. Betoni soveltui ihannoidun teollisen rakentamisen materiaaliksi heijastaen samalla ajan henkeä ja aatetta pohtia työläisten asuinoloja. Suomessa suuntausta modernimpaan ja rationalistisempaan suuntaan kehitti 1950-luvulla juuri Alvar Aalto, jonka suunnitteli mm. betonista rakennettuja tyyppitaloja. Esimerkkejä varhaisesta betonirakentamisesta ovat arkkitehti Silvennoisen suunnittelema Pihlajamäen asuinalue ja arkkitehtien Viljo Revellin ja Aarne Ervin suunnittelema Tapiola.

Rakennusteollisuus kykeni vastaamaan ajan haasteisiin. Urakoitsijat toivat betonirakentamiseen suur- ja pöytämuottitekniikan sekä kenttävalimot, joissa ensimmäiset sandwich- julkisivuelementit valmistettiin. Auerakentamissopimusten turvin tuotantoa ryhdyttiin edelleen teollistamaan.

Vuonna 1970 julkaistiin betonielementtijärjestelmä BES, joka vakioi betonielementtityypit ja liitosdetaljit siten, että urakoitsijat voivat hankkia valmisosia useilta toimittajilta samaan rakennukseen. Valittu runkojärjestelmä, so. kantavien seinien ja pitkien esijännitettyjen välipohjalaattojen käyttö, antoi lähes vapaat vaihtelumahdollisuudet asuntojen pohjaratkaisujen suunnittelulle.

Kahdeksankymmentäluvun alkuun tultaessa rakennetun miljööän laatuun alettiin kiinnittää enemmän huomiota. Betonirakenteita ja -pintoja lähdettiin edelleen kehittämään. Kehitystyö näkyy tämän päivän monimuotoisena ja laadukkaana betonirakentamisena. Viime vuosina betoni on lisännyt markkinaosuuttaan pientalorakentamisessa. Uutta teknologiaa edustavat mm. itsetiivistyvä betoni, korkealujuusbetonit, kuitubetonit, väribetonit ja erilaiset harkkorakenteet.

Käyttö talonrakentamisessa

5 miljoonaa kuutiota vuodessa



Betonia käytetään maailmassa vuosittain noin 5 miljardia tonnia. Suomessa vuotuinen käyttö on noin 5 miljoonaa m³.

Betonia käytetään sekä talonrakentamisessa että infrarakentamisessa. Talonrakentamisessa betonin osuus on runkorakenteista noin 40 % ja julkisivuista noin 15 %.

Laattarakenteena esijännitetty ontelolaatta on edullisin rakenne rakennusten ala-, väli- ja yläpohjissa. Hallimaisiin rakennuksiin soveltuvat harjaTT-laatat, jotka toimivat samalla sekä primääri- että sekundäärirakenteena.

Betonisilla ulkokuorielementeillä voidaan toteuttaa kestäviä ja edullisia julkisivuratkaisuja. Arkkitehti voi valita betonin värin ja pintakäsittelyn erittäin laajasta valikoimasta. Betoniset väliseinät täyttävät ilman lisäeristyksiä niin nykyiset palo- kuin ääniteknisetkin vaatimukset.

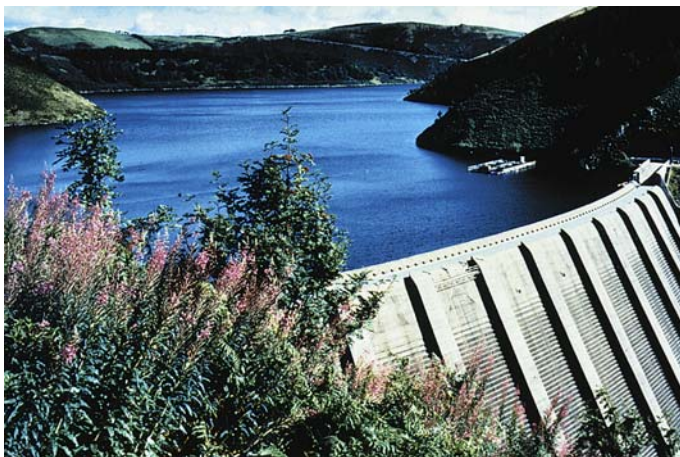
Esijännitetyt palkit mahdollistavat normaalilujuuksillakin 50 metrin jännevälit ja pilareilla saavutetaan suuri kantokyky. Korkealujuusbetoneilla kantokykyä voidaan edelleen lisätä.

Kevytsorabetoni- ja betoniharkot soveltuvat hyvin omatoimiseen rakentamiseen, koska harkkojen siirtelyyn ei tarvita isoja nostureita, vaan niitä voi siirrellä ihmisvoimin. Pihakivet ja -laatat ovat päällysteenä pitkäikäisiä.

Valmisbetoniteollisuus tarjoaa suuren valikoiman eri betonilaatua niin kesä- kuin talvirakentamiseen. Uusin tulokas markkinoilla on itsestään tiivistyvä betoni, joka ei tarvitse valettaessa lainkaan tärytystä.

Käyttö infrarakentamisessa

Betoni on välttämätön ympäristömme suojeija



Infrarakentamista ovat esimerkiksi padot ja tunnelit, putkilinjat, sillat, tienpäällysteet, satamarakenteet, meluesteet, jäteveden puhdistamot ja energialaitokset. Betoni materiaalina sopii infrarakenteisiin hyvin, koska se kestää kosteutta ja säärasituksia, mekaanista kulutusta sekä korkeita lämpötiloja. Betoni myös vaimentaa ääntä, tasaa lämpötilavaihteluja ja suojaa erilaiselta säteilyltä.

Betonia käytetään myös ratapölkkyissä, tunnelirakenteissa, vesitorneissa, aallonmurtajissa ja laitureissa. Se on yleinen erilaisten sillojen ja säiliöiden materiaali mm. maataloudessa ja teollisuudessa. Ydinvoimaloiden rakenteista suuri osa tehdään betonista.

Heikosti kantavalla maaperällä tiet ja rakennukset perustetaan betonilaatan tai -paalujen varaan. Betoni kestää maaperästä tulevia rasituksia muita materiaaleja paremmin.

Betonin etu infrarakentamisessa on , että se pitää veden sekä sisällä että tarvittaessa ulkona. Voimakkaat luonnonilmiöt, kuten tulvat, myrskytuulet ja maanjäristykset ovat viime aikoina lisääntyneet. Tämä vaatii ihmiskunnalta suojaustoimenpiteitä, joihin betonirakenteet ovat monesti ainoa järkevä ja teknisesti kestävä ratkaisu.

Valmisosien käyttö

Materiaalin käyttö optimoitu



Noin puolet Suomessa käytettävästä betonista tehdään valmisosiksi (elementeiksi ja betonituotteiksi) tehtaassa. Tällä saadaan aikaan huomattavia etuja. Tuotteiden laatu tehtaassa tehtynä on parempi. Ympäristöhaitat saadaan tehdasvalmistuksessa minimoitua ja hoidettua keskitetysti paremmin. Rakennustyömaalta työn siirtämisellä tehtaaseen saadaan pöly ja melu ympäristöön, liikenteelliset haitat rakennuspaikan lähellä sekä rakennusajan lyhenemisen kautta muu ympäristöhaitta vähenemään.

Tehtaassa tuotteet voidaan tehdä pienemmällä materiaalihukalla, mittatarkempana, jätteet kierrättäen suljetussa prosessissa sekä automaatiota ja sarjavalmistusta hyödyntäen. Tämä johtaa tehokkaampaan materiaalinkäyttöön ja edullisempiin valmistuskustannuksiin.

Valmisosissa voidaan käyttää tehokkaasti mm. itsetiivistyvää betonia, korkeampia betonin lujuuksia, värillisiä betoneita ja muuta nykyaikaista teknologiaa.

Betonirakenteen ekotehokkuus

Luonnon raaka- aineista energiaa säästävä tuote



Betonin pääraaka-aineet ovat sementti, vesi ja kiviaines. Betonin raaka-aineet otetaan maaperästä. Kalkkikiveä ja betonin kiviainesta on saatavissa rajattomasti lähes kaikkialla. Kiviainesten ottoapaikat maisemoidaan käytön jälkeen.

Sementti valmistetaan pääasiassa kalkkikivestä, joka on yksi maapallon yleisimmistä kivilajeista. Sementti on betonin energiankulutuksen ja päästöjen kannalta sen tärkein osa. Sementin valmistus ja kuljetus vaativat energiaa noin 4500 - 5000 MJ/sementtitonni ja aiheuttavat hiilidioksidipäästöjä 700- 800 kg/t.

Kemiallinen hiilidioksidipäästö kompensoituu osittain rakenteen käytön aikana, kun betoni reagoi ilman hiilidioksidin kanssa (betonin karbonatisoituminen). Pitkällä aikavälillä sementin valmistuksessa kalkkikivestä irronneesta hiilidioksidista saadaan ilmakehästä sitoutettua takaisin noin neljännes.

Betoni ei sisällä terveydelle tai ympäristölle vaarallisia aineita. Päästöt sisäilmaan ovat erittäin vähäiset, joten betonilla päästään rakennuksen pintamateriaalien päästöluokituksen parhaimpaan M1-luokkaan.

Raudoitettun betonirakenteen ympäristöystävällisyyttä arvioitaessa on otettava huomioon rakenteen koko elinkaari. Se sisältää betonin osa-ainesten valmistuksen, rakenteen valmistuksen, käytön, huollon, purkamisen ja mahdollisen osien tai materiaalien kierrätyksen ympäristövaikutukset. Merkittävimmät ympäristövaikutukset syntyvät yleensä rakenteen käytön aikana.

Rakennuksen tai rakenteiden pääasialliset ympäristövaikutukset

- energian käyttö ja siihen liittyvät päästöt
- raaka-aineiden, veden ja maan käyttö
- jätteiden minimointi
- terveydelle ja ympäristölle vaaralliset aineet
- sisäilman ja muun työympäristön laatu

Betoni kuluttaa massiivisuutensa ansiosta rakennuksen lämmitysenergiaa 5–15 % vähemmän kuin vastaava kevytrakenteinen rakennus. Myös betonirakennuksen pitkä käyttöikä lisää sen ekotehokkuutta.

Betonituotteista on laadittu ympäristöselosteet, joissa esitetään luonnonraaka-aineiden käyttö, energiankulutus ja päästöt.

Ekotehokkuutta suunnitteluun

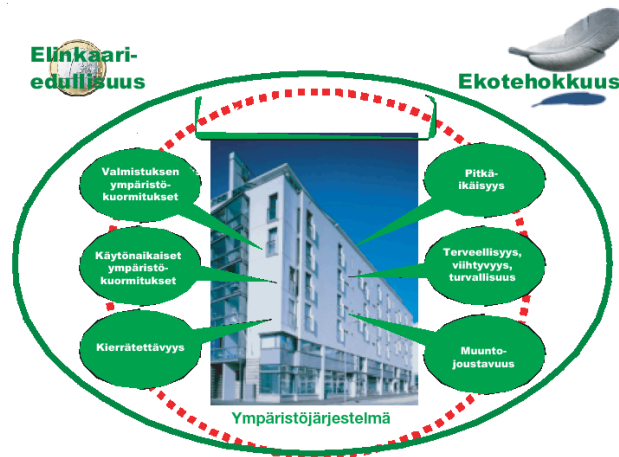
- käytetään pitkiä jännevälejä muunneltavuuden turvaamiseksi
- hyödynnetään aktiivisesti betonin termisiä ominaisuuksia
- käytetään korkeampia betonilujuuksia, esijännitystä ja hoikkia rakenteita materiaalin säästämiseksi
- valitaan pidempi betonin suunnittelukäyttöikä
- huolehditaan talotekniikan vaihdettavuudesta ja huollettavuudesta
- suunnitellaan myös rakenteen purettavuus

Ekotehokkuutta valmistukseen

- korvataan luonnon kiviainesta kierrätyskiviaineksella tai kalliomurskeella
- käytetään seossementtejä
- minimoidaan energian käyttö betonituotteiden valmistuksessa
- kierrätetään prosessivesi, liete ja tuore jätebetoni
- käytetään raaka-aineena muun teollisuuden sivutuotteita, kuten silikaa, lentotuhkaa tai masuunikuonaa.

Betonirakenteen elinkaari-edullisuus

Huoltovapaa ja pienempi energialasku



Rakennuksen elinkaari-edullisuutta arvioidaan elinkaarenaikaisilla kokonaiskustannuksilla ja -tuotoilla. Kustannuksiin kuuluvat rakentamis-, käyttö- ja ylläpito-, perusparantamis-, muutos- ja purkukustannukset sekä rahoituskulut. Betonirakennus on muita edullisempi erityisesti käyttö- ja perusparantamiskulujen osalta sekä pitkän käyttöikänsä ansiosta. Käyttökustannuksiin kuuluvat mm. energia, vuosihuollot, vakuutusmaksut ja keskeytyskustannukset, mikäli rakennusta ei voida käyttää korjausten aikana esimerkiksi vesivahingon tai tulipalon jälkeen.

Betonirakennuksen suunnittelukäyttöikä voidaan valita aina 200 vuoteen asti. Kun käytetään muuntojoustavaa suunnitteluratkaisua ja betonin mahdollistamia pitkiä jännevälejä, saadaan muutoskustannukset minimoitua.

Betonin esteettisyys

Betoni- modernia ja muovailtavaa



Betoni materiaalina on muotoutunut eri aikojen vaatimusten ja ihanteiden mukaan. Betonin muotoilu edellyttää materiaalin luonteeseen ja valmistustapaan perehtymistä. Betoni on haastava materiaali ja se vaatii käyttäjiltään osaamista.

Betonin estetiikka on sen vahvuus. Betoni on plastinen, kivenomainen, valettava materiaali, jossa osa-aineet, muodot ja rakenteet, värit ja pintakäsittelyt muodostavat kokonaisuuden, jota voidaan säädellä ja muunnella. Betonin kivisyys, massiivisuus, karuus tai karkeus näkyvänä rakennusaineena voivat toimia haluttuna kontrastina muiden materiaalien kanssa. Betonin kieli voi samalla olla karkea ja lyyrinen. Betonin muovailtavuutta voidaan käyttää myös graafisten ja veistoksellisten aiheiden lähtökohtana.

Betoni on sekä vaativa että kiitollinen rakennusaine. Oikea mittakaava, riittävä vaihtelevuus ja huolellisesti suunnitellut yksityiskohdat ovat hyvän ympäristön ja arkkitehtuurin perusedellytykset. Betonin materiaalina tulee vastata myös ns. vanhenemisen haasteeseen: materiaalin vanhenemisprosessi tulee huomioida jo suunnitteluvaiheessa.

Betoni on ollut pitkään piilossa rakenteissa tai pinnoitteiden alla. Tilanne on muuttunut ja betoni on löytänyt oman luovan muotonsa, oman kielensä ja voimansa ja oman ilmaisutapansa. Betoni nähdään taas luonnon materiaalina. Uusi sukupolvi ilmaisee betonilla arkkitehtuuria ja muotoilua.

Betonitekniikan ja arkkitehtuurin yhteistyö on vuosien kuluessa kehittynyt ja materiaalia on opittu käyttämään monipuolisesti.

Betonituotteet tarjoavat valettavuuden, väri vaihtoehtojen, pintakäsittelyiden ja säilyvyyden kannalta monipuoliset mahdollisuudet. Kehitystyössä painotetaan ääneneristystä, kosteustekniikkaa, ympäristöystävällisyyttä, muunneltavia rakenneratkaisuja ja julkisivujen ulkonäköä taloudellisuutta unohtamatta.

Uusia julkisivupintoja ovat mm. lasuuri- ja graafinen pinta sekä erilaiset värirappaukset. Betonipinta saadaan itsepuhdistuvaksi esim. titaanioksidin avulla. Tämä kapseloi pinnalle kertyvää likaa, jonka sadevesi huuhtelee pois. Betonista saadaan eri väristä värillisen kiviaineksen, väripigmenttien ja eri pinnoitteiden avulla.

Betoniteollisuuden ympäristötavoitteet

Ala tuntee ympäristövastuunsa



Elinkaariajattelun pohjalta ja ympäristötavoitteitaan toteuttaen betoniteollisuus kehittää sekä oman toimintansa ympäristömyötäisyyttä että betonirakennusten kestävyyttä, terveellisyttä ja turvallisuutta.

Tavoitteiden onnistumisen kannalta on tärkeää, että myös raaka-ainetoimittajat ja tilaajat

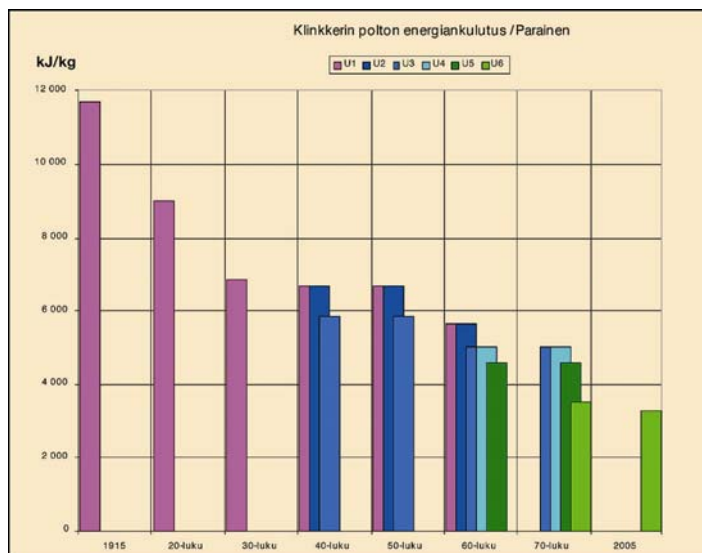
toimivat ympäristömyötäisesti ja samoja tavoitteita tukien.

Betoniteollisuuden ympäristötavoitteet

- Ympäristöjärjestelmien käyttö
- Ajantasaiset tehtaan ympäristönhoitosuunnitelmat
- Raaka-aineiden tehokas käyttö
- Energian säästö rakennuksissa ja prosesseissa
- Kierrätyksen edistäminen
- Henkilöstön työturvallisuuden varmistaminen

Sementti

Hiilidioksidipäästöjä vähennetään



Suomen sementtiteollisuuden vuotuiset CO₂ -päästöt ovat noin 1 miljoona tonnia koko Suomen 80 miljoonan tonnin vuosipäästöistä. Sementtiteollisuus on mukana vuonna 2005 käynnistyneessä päästökaupassa. Sementin polttoprosessi on viime vuosina kehittynyt huomattavasti. Sen ansiosta sekä energiankulutus että kokonaispäästöt ovat vähentyneet.

Sementtiklinkkeri poltetaan kalkkikivestä ja muista mineraalisista raaka-aineista kiertouunissa noin 1400-1450 °C:n lämpötilassa. Tämä sementtiklinkkeri jauhetaan myöhemmin pienen kipsilisäyksen kanssa hienoksi jauheeksi – sementiksi.

Sementin valmistus kuluttaa runsaasti energiaa ja lisäksi sementtiklinkkerin poltossa kalkkikivestä irtoaa huomattava määrä hiilidioksidia. Sementtiteollisuudessa on jo tehty runsaasti kehitystyötä energiakulutuksen pienentämiseksi. Sementtiteollisuuden mahdollisuuksia hiilidioksidipäästöjen pienentämiseksi ovat seosaineiden käytön lisääminen sementin jauhatuksessa tai fossiilisten polttoaineiden korvaaminen biopolttoaineilla.

Sementtituotannon ympäristörasitukset

- energian kulutus (polttoaine ja sähkö)
 - * n. 4500- 5000 MJ/ tonni sementtiä
- päästöt (CO₂, SO₂, NO_x jne)
 - * 700-800 kg CO₂/ tonni sementtiä,
vajaa 1,5 % Suomen kokonais- CO₂ -päästöistä
- uusiutumattomien raaka-aineiden käyttö
 - * 1,5 t kalkkikiveä/ tonni sementtiä

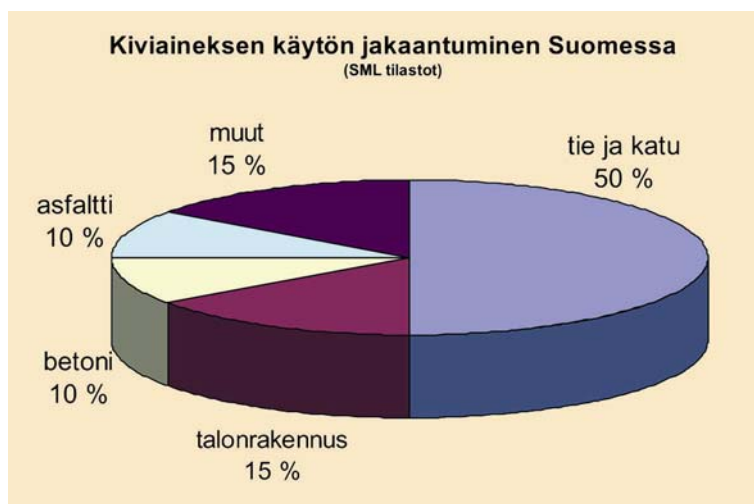
Yhden klinkkeritonnin valmistukseen tarvitaan noin 1,5 tonnia kalkkikiveä, josta vapautuu poltossa noin 530 kg CO₂:ta. Loput hiilidioksidista on peräisin polttoaineista ja hiilidioksidin määrä on luonnollisesti pienentynyt samassa suhteessa kuin uunien energiatehokkuus on parantunut. Lisäksi viime vuosina on otettu käyttöön korvaavina energialähteinä fossiilisia polttoaineita, mm. kumisilppu ja lihaluujauho. Vuonna 2005 oli polttoaineperäisen hiilidioksidin määrä noin 350 kg CO₂/ klinkkeritonni.

Kotimainen sementinvalmistaja on tuonut markkinoille uuden ympäristöystävällisemmän vaihtoehdon vuoden 2006 alusta. Perussementissä granuloidulla masuunikuonalla korvataan 21–35 % sementtiklinkkeristä, joten sen hiilidioksidipäästö on selvästi pienempi kuin muiden rakennussementtien.

Seossementit tulevat olemaan tulevaisuuden sideaineita. Lisääntyvä seosaineiden käyttö ei saa kuitenkaan vaarantaa betonirakenteiden kestävyyttä eli hyvää säilyvyyttä ja pitkää käyttöikää. Reilummin seostetuille sementeille luontevin käyttöalue on kuivat sisätilat.

Kiviaines

Paikallista kotimaista raaka- ainetta



Betonin valmistuksessa käytetty kiviaines on uusiutumaton, mutta käytännössä täysin ehtymätön luonnonvara.

Suomessa käytetään luonnon kiviaineksia noin 16 tonnia asukasta kohti vuodessa eli kaikkiaan noin 80 miljoonaa tonnia. Betonikiviainesten osuus tästä on noin 10 % eli 8–10 miljoonaa tonnia vuodessa.

Kallion osuus Suomessa käytetystä kiviaineksesta on tällä hetkellä noin 50 %, kun se viisitoista vuotta sitten oli vain noin 20 %.

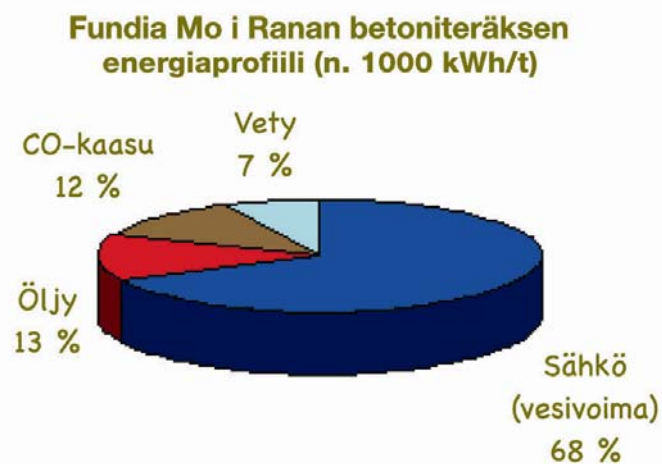
Kalliokiviaineksen käyttöön siirtymiseen on kolme selvää syytä. Merkittävin syy on rakentamisalueiden läheisyydessä olevien soravarantojen ehtyminen sekä sora-alueiden lupaehtojen kiristyminen. Lupaehtoja myönnettäessä harkitaan keskenään kauniiden maisemiarvojen säilyttämistä, pohjavedensuojelua ja elinkeinoelämän toimintaedellytysten turvaamista. Toinen tekijä on kiviaineksen käyttökohde ja lopputuotteen laatu. Tutkimukset ovat osoittaneet, että teiden ja katujen rakentamiseen sekä asfaltin ominaisuuksiin on kalliokiviaineksen käytöstä jopa hyötyä. Kolmas pääsyy kalliokiviaineksen käytön kasvuun on louhinta- ja murskaustekniikoiden kehitys.

Betonissa kiviainesta on noin 1,7–2,0 tonnia/ betoni-m³ jakautuen hienoon ja karkeaan kiviainekseen sekä vähäiseen määrään filleriä.

Korvattaessa luonnonsoraa kalliolla betoni on kiviaineksen käyttökohteista vaativin. Karkeat kiviainekset voidaan korvata kalliopohjaisilla tuotteilla, mutta toisen puolen eli hienon kiviaineksen korvaaminen kalliosta valmistetuilla tuotteilla edellyttää huolellista tutkimusta.

Raudoitteet

Betoniteräkset valmistetaan 100 %:sta kierrätysraaka- aineesta



Maailmanlaajuisesti nykyään noin puolet kaikesta teräsromusta palautuu terästehtaille sulatettavaksi uusioteräkseksi.

Pohjoismainen betoniterästuotanto on vuodesta 1994 lähtien ollut kokonaan romupohjaista. Romupohjainen terästuotanto kuluttaa huomattavasti vähemmän energiaa kuin malmipohjainen. Valmistusmäärät pohjoismaissa vastaavat pohjoismaiden käyttöä. Myös pohjoismaihin tuotu betoniteräs on pääosin ollut romupohjaista. Raudoitusverkot tehdään yleensä kylmävalssatuista betoniteräslaaduista. Niiden lähtömateriaali on myös romupohjainen. Jänneteräkset tehdään malmipohjaisesti.

Raudoitusverkkojen valmistuksen raaka-aine on tarkoitukseen soveltuva valssilanka. Lanka kylmävalssataan, oikaistaan ja leikataan. Hitsaus verkoiksi tehdään pistemäisenä sähkövastushitsauksena verkkokoneilla.

Materiaalin ja raudoitteiden jakelu käyttökohteeseen tapahtuu maateitse, useimmiten jatkojalostuksen tai välivarastoinnin kautta.

Betonin valmistus

Betonia eri käyttötarkoituksiin



Betoni ja betonirakenteet valmistetaan koneellisesti ja osin automatisoiduilla tuotantolinjoilla. Betonin valmistuksessa sekoitetaan luonnon materiaaleja kiviainesta, vettä ja sementtiä keskenään. Betonin valmistuksesta ei aiheudu haitallisia päästöjä.

Tehtaassa on betonisekoitin raaka-ainesiloineen. Tuotteista riippuen tehtaan toimintamalli ja laitteisto vaihtelevat, joten myös tehdaskohtainen prosessista syntyvä kierrätettävän materiaalin laatu ja määrä vaihtelee melko paljon.

Itsetiivistyvän betonin ominaisuudet aikaansaadaan uusilla lisäaineilla ja lisäämällä betoniin hienoaineksia.

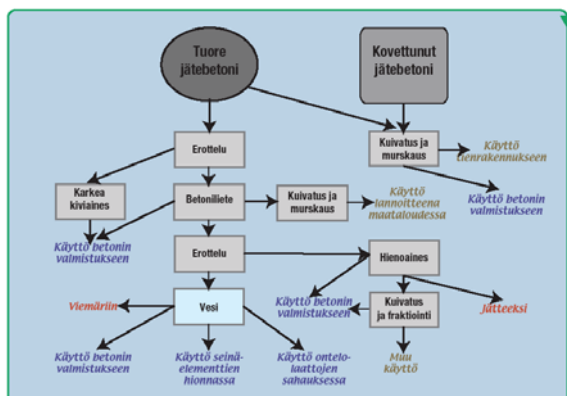
Betonin valmistus sisältää betonin raaka-aineiden vastaanoton ja varastoinnin, kiviaineksen ja veden lämmityksen tarvittaessa, betonin osa-aineiden mittauksen, massan sekoituksen, notkeuden säädön sekä laadunvalvonnan.

Betoni valmistetaan ennakolta tehdyn suhteituksen mukaan. Suhteituksessa on ilmoitettu osa-aineiden määrät kilogrammoina betonikuutiometriä kohden. Eri osa-aineet, kuten vesi, kiviaines, sementti ja lisäaineet, punnitaan vaa'alla ja lisätään betonisekoittimeen. Betonin sekoitus kestää yleensä 60–90 sekuntia.

Nykyään betonitehtailla betonin valmistus on lähes täysin automatisoitu.

Kierrätys

Suljetut prosessikierrat



Betonin valmistuksessa syntyvä tuore ylijäämäbetoni erotetaan pesemällä karkeaksi kiviaineeksi ja betonilietteeksi. Edelleen lietteestä selkeytetään altaissa kiintoaines erilleen. Vesi kierrätetään uudelleen prosessiin.

Kierrätysvettä syntyy ylijäämäbetonin lisäksi puhdistettaessa betonisekoittimia, betonikuljettimia ja betoniautojen rumpuja. Kierrätysvettä syntyy myös kovettuneen betonin sahausesta, hiomisesta ja vesisuihkupuhdistuksesta. Kierrätysvesi sisältää vaihtelevia määriä hyvin hienoja partikkeleita, joiden koko on yleensä alle 0,25 mm. Betoniasemalta tai -tehtaalta pois johdettava vesi ei ole ympäristön kannalta ongelmallista. Kierrätysvettä käytetään betonin valmistukseen joko sellaisenaan tai sekoitettuna vesijohtoveteen.

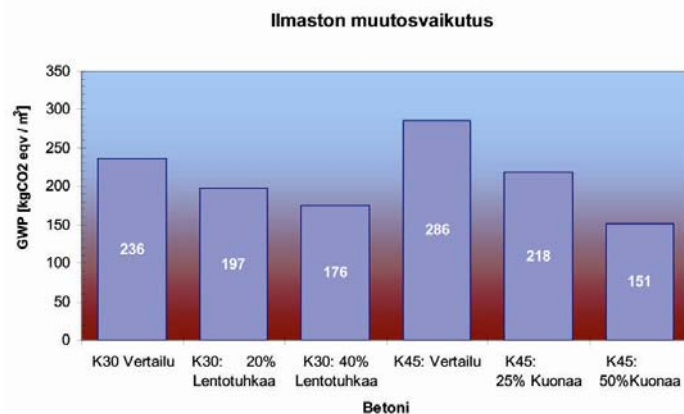
Betonilietettä voidaan käyttää maanparannusaineena, mikäli sen neutraloiva kyky ylittää 10 % (Ca). Erityisesti betonin sahaus- ja hiontaliete, jota syntyy esimerkiksi ontelolaattojen ja betonin hionnan yhteydessä, soveltuu hyvin peltojen happamuuden vähentämiseen.

Pesuvedestä tai betonimassasta pesty kiviaines sopii maanrakennuskäyttöön, kuten teiden rakentamiseen, yhtä hyvin kuin vastaava luonnonkiviaines. Pestyä kiviainesta voidaan käyttää lajitteisiin jakamattomana myös betonin valmistuksessa.

Betonia valmistettaessa syntyy pieniä määriä ylijäämäbetonia, joka voidaan kierrättää. Murskattua jätebetonia voidaan käyttää uusiokiviaineena betonin valmistuksessa. Betonissa käytettyä luonnon kiviainesta voidaan korvata myös muilla materiaaleilla. Betonimurske on yleisesti käytössä. Hyvälaatuista betonimursketta on mahdollista käyttää uuden betonin valmistuksessa 10–20 % koko kiviaineksesta ilman, että se vaikuttaa betonin perusominaisuuksiin. Myös murskattua lasia ja tiiltä voidaan käyttää betonissa.

Seosaineiden käyttö

Betoni hyötykäyttää muun teollisuuden sivutuotteita



Betonin valmistuksessa voidaan seosaineena hyödyntää muun teollisuuden sivutuotteita.

Lentotuhkaa syntyy kivihiilen poltosta voimalaitoksissa. Se erotetaan palokaasuista sähkösuotimin. Lentotuhkan käytöstä saadaan hyötyä sekä tuoreen että kovettuneen betonin ominaisuuksien hallintaan. Lentotuhka voi toimia betonissa hienoaineena tai sillä voidaan korvata sementtiä.

Masuunikuonaa syntyy raudan valmistuksen yhteydessä satoja tuhansia tonneja vuodessa. Sillä voidaan osittain korvata portlandsementtiä.

Silika on piiraudan ja piin valmistuksessa syntyvä erittäin hienojakoinen pozzolaani. Silika lisää betonin lujuutta. Lisäksi se parantaa betonin kemiallista kestävyyttä, tiiviyyttä ja vedenpitävyyttä.

Tutkimustulosten mukaan seosaineiden käytöllä voidaan selvästi vähentää betonin ympäristökuormaa. Kokonaisenergian kulutus pienenee jopa 50 %, kun käytetään 70 %

masuunikuonaa ja lähes 40 %, kun käytetään lentotuhkaa. 50 %:n masuunikuonan käyttö vähentää CO₂- päästöjä noin 40 % ja 30 %:n lentotuhkan käyttö noin 20 %.

Betonien ympäristökuormien vertailussa tulee ottaa huomioon myös betonin lujuus ja kestävyys.

Työturvallisuus

Itsetiivistyvä betoni mullisti työolot



Valmisbetonin toimittajalla on betonin ominaisuuksia ja sen käyttöön liittyviä kysymyksiä käsittelevä käyttöturvallisuustiedote, jossa on määritelty betonimassan terveydelliset riskit. Betonimassan käsittelyssä oleellisin seikka on sementtiliiman emäksisyys. Massan käsittelyssä on käytettävä sellaisia käsineitä, jalkineita ja muuta vaatetusta, ettei tuore betonimassa pääse jatkuvaan ihokosketukseen.

Betonin valmistus voi joissain tilanteissa aiheuttaa yli 85 dB melutason. Tällöin kuulosuojaimien käyttö tehdashalleissa on välttämätöntä.

Betoniteollisuudessa käytetään myös koneita, jotka aiheuttavat aiempaa vähemmän melua. Esimerkiksi ontelolaattojen uusissa valukoneissa käytetään leikkaustiivistystä tärytiivistyksen sijaan alhaisemman melutason ja tuotteen paremman laadun vuoksi.

Betonia valettaessa se tiivistetään yleensä täryttimien avulla. Käsiin kohdistuvan tärinän haittavaikutuksia on vähennetty koneellisilla tärytysmenetelmillä. Betoniteollisuudessa jatkuvasti osuutetaan kasvattava itsetiivistyvä betoni tiivistyy ja täyttää valumuotit ilman tärytystä, joten täryttämisestä aiheutuvia terveyshaittojakaan ei synny.

Betoniteollisuudessa on otettu käyttöön turvallisemmat ja ympäristöystävällisemmät kasviöljypohjaiset muotiniirrotusaineet.

Kuljetukset

Myös kuljetuksissa panostetaan turvallisuuteen



Betoniteollisuus on varsin suuri kappaletavaran ja massan kuljettaja maanteillä. Vuosittaiset kuljetusmäärät ovat yli 10 miljoonaa tonnia vastaten noin 700.000 kuormaa elementtejä, betonituotteita ja valmisbetonia. Kuljetukset rautateitse ja vesitse ovat vähäisempiä. Osa kuljetuksista on vientitoimituksia lähialueille Ruotsiin, Norjaan ja Venäjälle. Kuljetuksissa käytetään mahdollisuuksien mukaan ns. meno-paluu- rahteja, jolla kuljetuskustannuksia ja kuljetusten ympäristövaikutuksia saadaan pienennettyä. Tämä vaatii myös erikoiskalustoa.

Taulukko. Betoniteollisuuden keskimääräiset kuljetukset vuodessa.

Tuote	milj. tuote-m ³	milj. tonnia	kuormia (kpl) 1)
Betonelementit	1,0	2,4	85.000
Paalut , ratapölkkyt, putket, kaivonrenkaat	0,3	0,7	25.000
Pihakivet ja -laatat	0,25	0,6	30.000
Betoniharkot	0,35	0,7	35.000
Kevytsoraharkot	0,45	0,3	15.000
Valmisbetoni	2,5	6,0	500.000
Yhteensä	4,85	10,7	690.000

1) Elementtikuorman keskikooksi on arvioitu 28 tonnia, betonituotekuorman 20 tonnia ja valmisbetonikuorman 5 m³.

Materiaali- ja varastointilogistiikka kehittyi koko ajan. Kuljetuksia kyetään ohjaamaan entistä helpommin uusien ohjausjärjestelmien ja mobiiliteknologian avulla. Tällöin säästyy polttoainetta ja ympäristöhaitat saadaan minimoitua. Työmaat voivat suunnitella aikataulujaan eri perustein. Esimerkiksi elementtien toimittaminen työmaalle ns. valmiskuormapukeilla antaa mahdollisuuden kuljetuksiin ilta- ja yöaikaan, jolloin myös liikenne on vähäisempää. Tämä parantaa kuljetusten kustannus- ja ekotehokkuutta.

Betonin lujuus

Tulossa 150- 250 MPa:n erikoislujat kuitubetonit



Betonille on ominaista suuri puristuslujuus, yleensä 30-80 MPa. Lujuus valitaan käyttötarkoituksen mukaan ja sitä säädetään betonin koostumuksella ja erityisesti vesisementtisuhteella. Betonin puristuslujuutta on pystytty kasvattamaan materiaalitekniikan kehittymisen myötä. Betonin vetolujuus on suhteellisen pieni, 6-10 % puristuslujuudesta.

Rakenteet suunnitellaan niin, että betoni ottaa puristusjännitykset ja raudoitus vetojännitykset. Jännitetyissä rakenteissa annetaan betonille jänneteräksillä puristusjännitys sinne mihin kuormat aiheuttavat vetojännityksiä. Raudoituksella varmistetaan myös rakenteen sitkeys, jotta taipumat tai halkeamat varoittavat, jos rakenne lähestyy murtorajatilaa.

Korkealujuusbetonilla (60-100 MPa) voidaan vähentää materiaalien käyttöä. Korkealujuusbetonin kehitysprojektin yhteydessä arvioitiin esimerkiksi pilarin lujuuden kaksinkertaistamisen pienentävän suhteellista kustannusta noin 25 %. Myös ympäristövaikutusten kannalta korkealujuusbetonin käyttö on edullista.

Erikoislujien betonien (lujuus 150-250 MPa) käyttö lisääntyy koko ajan lähinnä erikoisrakenteissa. Usein näissä rakenteissa käytetään myös teräs-, lasi-, hiili- tai muovikuituja rakenteen vetolujuuden parantamiseksi.

Betonirakenteilla on oma paino yleensä merkittävä osa rakenteelle tulevasta kokonaiskuormasta. Oman painon varmuuskertoimeen sisältyy reserviä eli betonirakennetta voi ylikuormittaa melko reilusti. Kevyillä rakenteilla ei tätä oman painon varmuusreserviä juurikaan ole. Betonirakenteilla on hyvä vaurionsietokyky ylikuormituksille.

Betonirakenne vaimentaa törmäysten ja räjähdysten aiheuttamia iskuja. Betonirunkoisissa asuintaloissa on sattunut räjähdyksiä, jotka eivät ole johtaneet sortumisiin. Kalliosuojien ohella kaikki muut väestönsuojat rakennetaan betonista.

Betonin massiivisuuden ja jäykkyyden etuna on myös vähäinen herkkyys värähtelyyn. Värähtelyt koetaan epämiellyttävinä. Betonia käytetään myös koneperustuksissa tärinän vaimentamiseen.

Paloturvallisuus

Betoni ei pala eikä sula



Betoni on palamaton rakennusmateriaali. Se luokitellaan parhaaseen A1- luokkaan. Palamattomalla rakennusmateriaalilla vältetään seuraavat haitat:

- palava materiaali lisää palokuormaa ja nostaa siten palolämpötiloja ja pidentää palon kestoa
- palavista materiaaleista tulee savua, hiilimonoksidia, myrkyllisiä kaasuja ja muita haitallisia palamisjätteitä
- palavat pintamateriaalit nopeuttavat yleissyttymistä ja palon leviämistä
- palo pääsee etenemään tai kytee hankalasti sammutettavissa onteloissa, jos niiden pinnoissa on palavaa materiaalia.

Palomääräyksissä palokuormat määräytyvät käyttötarkoituksen mukaan. Rakennusmateriaalien sisältämää palokuormaa on joissain tapauksissa otettu epäsuorasti huomioon asettamalla puurunkoisille taloille lisävaatimuksia tai rajoituksia. Puisessa asuinrakennuksessa voi palokuorma olla jopa yli kaksinkertainen betonirakennukseen verrattuna.

Palamattomat betonipinnat voivat viivästyttää yleissyttymistä helposti syttyviin pintoihin nähden. Betonin lämmönvarauskyky sitoo palossa kehittyvää kuumuutta paremmin kuin hyvin eristävät ja kevyet pintamateriaalit.

Betonin jännitystaso rakenteessa on korkeintaan 60 prosenttia murtolujuudesta, minkä betoni vielä kestää lämpötilassa 500 °C. Betoniterästen kriittinen lämpötila on myös 500 °C. Eräitä hoikkia rakenteita lukuun ottamatta betonirakenne kestää aina vähintään tunnin standardipalon. Betonipeitettä kasvattamalla palonkesto saadaan aina neljän tunnin luokkaan, eli käytännössä betonirakenne kestää koko palon sortumatta. Betonirakennuksen sortumisia tulipaloissa ei juurikaan ole tapahtunut.

Teräs on palamaton materiaali kuten betoni, mutta kuumenee niin nopeasti, että

suojaamaton teräsrakenne kestää standardipaloa vain noin 15 minuuttia. Puurakenteet pystytään luokittelemaan jopa 60 minuuttiin, mutta ilman sammutustoimenpiteitä puurakenne ei kestä sortumatta koko paloa. Esimerkiksi Lontoon Colindalessa kaksi rakenteilla ollutta puukerrostaloa tuhoutui nopeasti, vaikka palokunta tuli paikalle neljässä minuutissa hälytyksestä.

Betoni toimii luotettavana osastoivana rakenteena ja estää palon leviämisen. Esimerkiksi kerrostaloasunnoissa syttyy vuosittain satoja tulipaloja, mutta palo rajoittuu yleensä siihen huoneistoon, jossa se on syttynyt. Paloturvallisuuden oleellinen vaatimus on estää palon leviäminen ympäristöön. Palamattomat ulkoseinät ja kantokykynsä säilyttävät rakenteet ovat myös sammutushenkilöstön turvallisuuden kannalta tärkeitä. Asia korostuu erityisesti kaupunkikeskustojen korkeissa rakennuksissa.

Madridissa helmikuussa 2005 palaneen 100 metriä korkean Windsor toimistotornin betonirunko kesti sortumatta koko palon eikä ympäristölle aiheutunut vahinkoja. New Yorkin WTC:n kaksoistornit taas sytyttivät muitakin rakennuksia tuleen johtaen niiden sortumiseen, kuten viereinen 47-kerroksinen teräsrunkoinen WTC 7.

Palovahingot

Betonitalossa 10 % alemmat vakuutusmaksut



Betonitalojen palovahingot ovat tutkimusten mukaan selvästi muita taloja pienemmät. Ruotsissa on tehty selvitys asuinkerrostaloista, joissa oli ollut kymmenen vuoden ajanjaksona vakuutusyhtiöiden luokittelun mukainen suurpalo, eli itse rakennuksen kärsimät vahingot ylittivät 150.000 euroa. Tällaisia paloja oli yhteensä 125 rakennuksessa, joista 56 % puutaloissa, vaikka puutalojen osuus vastaavasta rakennuskannasta on vain 10 %.

Ruotsin tulokset ovat hyvin samansuuntaiset kuin Tampereella aikaisemmin tehty kaikkien sattuneiden palojen seurantatutkimus.

Voimakkaissa tulipaloissa betonin pintakerros on saattanut vaurioitua tai lohkeilla. Tarvittaessa betonin vauriot voidaan korjata esimerkiksi ruiskubetonoinnilla.

Ruotsalaiset asuinkerrostalojen palovahingot

- Puutaloissa palon kehittymisen riski suurpaloksi 11,5-kertainen kivitaloon verrattuna.
- Puolet puutaloista tuhoutui täysin tai niin pahasti, että ne purettiin. Kivitaloista purettiin alle 10 %.
- Huoneistoa kohti lasketut korvaussummat puutalossa 647 000 kruunua ja kivitalossa 101 000 kruunua.

Kosteudenkestävyys

Betoni kestää vettä eikä homehdu



Betoni kestää hyvin kosteutta. Se jopa saavuttaa parhaat lujuusominaisuutensa, kun sitä säilytetään pitkään kosteassa.

Betoni on luja ja kuormitusta kestävä kiinnitysalusta erilaisille pintamateriaaleille. Vaikka itse betoni kestääkin kosteutta, niin sen päällyste saattaa vaurioitua uudesta betonista tulevan alkalisen kosteuden vuoksi. Siksi betonirakenne tulee kuivata riittävästi ennen pinnoittamista.

Rakennusten kosteus- ja homevauriot ovat varsin yleisiä ja niiden määrä on tasaisessa kasvussa. Kosteusvaurioihin johtavia rakennusvirheitä on erityisesti alapohjan rakenteissa sekä märkätiloissa, joissa on levyrakenteiset laatoitetut seinät. Toinen laajoja kosteusvaurioita aiheuttava syy on viemäri- ja käyttövesiputkistojen sekä niihin liitettyjen laitteiden vuodot.

Kosteutta voi rakennukseen tulla myös vuotavan vesikaton tai huonosti tiivistettyjen ikkunanpuitteiden kautta tai jos julkisivun tiiveys on puutteellinen.

Vakuutusilastojen mukaan Suomessa sattui vuonna 2004 noin 35 000 vuotovahinkoa, joista vakuutusyhtiöt korvasivat yhteensä hieman yli 100 milj. euroa. Asuinrakennuksissa sattuu noin kerran 50 vuodessa vesivuodosta aiheutuva kosteusvaurio.

Vuonna 2004 keskimääräinen vuotovahinkokorvaus oli runsas 3000 euroa/vahinkotapaus.

Betonirakenteet sietävät varsin paljon kosteutta. Lisäksi ne sitovat kosteutta vähän ja toisaalta kosteuden siirtyminen tapahtuu hitaasti. Äkillisessä vesivauriossa betonirakenteille riittää yleensä kuivaus eikä rakenteiden uusimisiin tarvitse ryhtyä. Pinnoitteet ja kostuneet puuosat sekä puulevyverhoukset on lähes poikkeuksetta uusittava.

Päästöt

Betoni sopii allergikoille



Betonista ei inerttinä materiaalina liukene juurikaan päästöjä veteen tai maaperään. Siksi sen käyttö mm. juomavesivarastoina ja -putkistoina on yleistä. Se on turvallinen perusrakenteiden rakennusmateriaali myös pohjavesialueilla. Liukenemistesteissä on todettu, että orgaanisia aineita betonista ei yleensä liukene lainkaan. Epäorgaanisten aineiden, kuten mahdollisten liukoisten suolojen mukana tulevat raskasmetallijäämät ovat erittäin pieniä.

Betonin emissiot sisäilmaan täyttävät Rakennustietosäätiön pintamateriaalien päästöluokan 1-vaatimukset. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissiot (TVOC) ovat kaikilla betoneilla jo 4 viikon iässä mitattavuusrajan alapuolella. Formaldehydin ja ammoniakkin emissiot ovat merkityksettömän pieniä. Kuitenkin rakentamisvaiheessa on kiinnitettävä erityistä huomiota betonin pinnoituskosteuteen ja materiaaliyhdistelmien toimivuuteen. Betoni ei myöskään homehdu.

Säteily ja radon

Betoni suojaa säteilyltä



Kaikki rakennusmateriaalit sisältävät luonnon radioaktiivisia aineita. Materiaalien radioaktiivisuus ilmoitetaan bequerelleinä (Bq). Uraanin U^{238} yleisesti tunnetuin välivaiheen hajoamistuote on radiumista syntyvä radonkaasu. Radon on hajuton, mauton ja näkymätön jalokaasu.

Radioaktiivisen säteilyn lähteitä asunnoissa ovat rakennusmateriaalien ja maaperän (mukaanlukien pohjavesi) radioaktiivisuus sekä kosminen säteily. Kivitaloissa rakennus absorboi lähes täysin maaperästä tulevan gammasäteilyn, joten niissä on radonpitoisuudella keskeinen rooli.

Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen mukaan asunnon huoneilman radonpitoisuus ei saisi ylittää arvoa 400 bequereliä kuutiometrissä (Bq/m^3). Uusi asunto tulee suunnitella ja rakentaa siten, että radonpitoisuus ei ylittäisi arvoa $200 Bq/m^3$.

Merkittävin radonpitoisuuden vaihteluun vaikuttava tekijä on maaperästä tulevan radonpitoisen ilman virtaus. Huoneilman radonpitoisuuteen voidaan näiltä osin vaikuttaa ennen kaikkea alapohjan rakenne- ja tuuletusratkaisuilla.

Kun lattia, seinät ja katto ovat betonia, ne tuottavat asuntoon noin $70 Bq/m^3$ radonpitoisuuden, joka on noin kolmasosa uuden talon suunnitteluarvosta ja kuudesosa asuintalolta vaadittavasta enimmäisarvosta. Käytännössä sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen raja- arvojen ylittyminen on mahdollista vain, jos maaperän korkea radonemissio pääsee asuntoon.

Betonia käytetään mm. sairaaloissa säteilysuojarakenteissa. Tähän tarkoitukseen on kehitetty erityisiä raskaita betonilaatuja, joista tehdyt rakenteet ovat tehokkaita esteitä säteilyn etenemiselle.

Rakennusmateriaalina betoni on hyvä radioaktiivisen säteilyn vaimentajana, koska säteilyn vaimentuminen tapahtuu eksponentiaalisesti massan suhteessa. Tästä ominaisuudesta on hyötyä sellaisilla alueilla, jossa maaperän oma säteilytaso on korkea.

Radonturvallisia perustapoja- vaikuta sisäilman radonpitoisuuteen

- tuulettuva betoninen alapohja (ryömintätilainen perustus)
- yhtenäinen saumaton betonilaattaperustus
- maanvarainen betonilaatta perusmuurin sisällä– laatan ja sokkelin liitokset tiivistetty

Rakennuksen alapohja rakennetaan mahdollisimman tiiviiksi. Betonin tiiviys on paras tae radonia vastaan. Liitokset ja saumat tulee tiivistää huolella. Maanvastaisessa alapohjassa betonilaatan paksuuden tulee olla vähintään 80 mm. Maanvarainen alapohja tehdään alipaineiseksi ja radon tuuletetaan pois alapohjasta putkistojen ja tarvittaessa poistoimurin avulla. Liitossaumat tiivistetään bitumikermein tai tiivistysmassalla.

Maanvastaisissa rakenteissa paras ratkaisu on mahdollisimman yhtenäinen ja tiivis alapohja- ja perustusrakenne, jossa on vähän tiivistystä vaativia kohtia. Ryömintätilaisessa alapohjassa radon tuulettuu pois luonnostaan. Myös ryömintätilainen alapohja tulee tehdä ilmatiiviiksi.

Kevytsorabetoniharkkorakenne läpäisee radonia ja rakenteita on tiivistettävä mm. bitumikermeikään.

Ääneneristys

Kivitalo on hiljainen



Erityisesti asuinrakennuksille on määritelty vaatimukset sekä ilma- että askelääneneristävyydelle. Ilmaääneneristävyys riippuu rakenteen massasta ja jäykkyydestä. Betoniseinät ja -välipohjat varmistavat hyvän ääneneristävyyden.

Vuonna 2000 voimaan tulleiden ääneneristysmääräysten mukaan huoneistojen välisen ilmaääneneristävyyden tulee olla vähintään 55 dB, jolloin voimakas puhe ei kuulu seinän läpi. Ontelolaattavälipohjalla ja 180 mm paksuilla väliseinillä voidaan päästä jo 58 dB:n eristävyteen.

Ilmaääneneristävyydessä rakenteen tiiveydellä on suuri merkitys, koska pienikin rako voi heikentää eristävyttä merkittävästi. Myös tässä suhteessa oikein tehdyt massiiviset rakenteet ovat kevyitä luotettavampia.

Askelääneneristyksen tulee olla enintään 53 dB. Asuinkerrostalojen välipohjissa vähintään 240 mm paksu paikallavalettu betonilaatta tai vähintään 500 kg/m² painava ontelolaatta pehmeillä lattianpäällysteillä tai lautaparketilla täyttää nykyiset vaatimukset. Kun lattianpäällysteenä käytetään mosaiikkiparkettia, kiveä tai keraamista laattaa, tulee käyttää kelluvaa lattiarakennetta. Akustisesti ja asukkaiden tyytyväisyyden kannalta kelluva betonilaatta on paras vaihtoehto. Myös monesti haitalliset matalat äänet saadaan helpon kuriin betonivälipohjalla.

Ääni heijastuu betonista, mutta esimerkiksi melusteissa voidaan käyttää apuna seinämän muotoilua, pinnan rikkomista muilla pehmentävillä materiaaleilla tai ns. harvabetonia. Se absorboi osittain ääntä ja heijastusäänet jäävät pienemmiksi.

Rakennuksen elinkaari

Investoi tulevaisuuteen- investoi kivitaloon



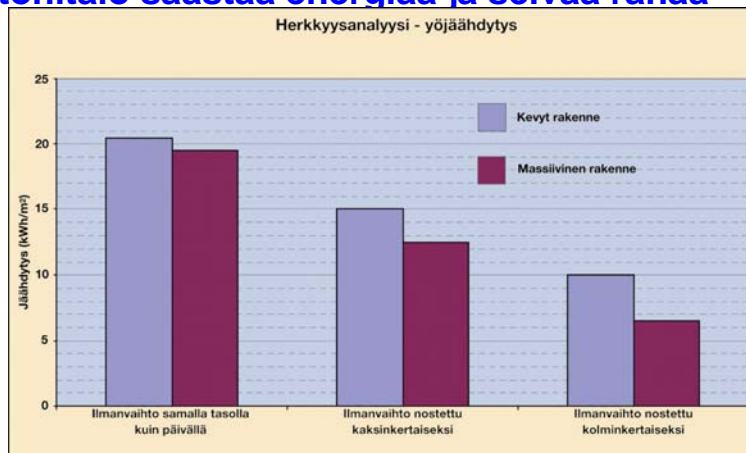
Rakennuksen elinkaaren aikaisesta energian kulutuksesta on käyttövaiheen osuus yleensä 80–90 % ja rakentamisvaiheen osuus vain 10–20 %. Rakennuksen purkuvaiheen osuus energiankulutuksesta on hyvin pieni, normaalisti korkeintaan muutama prosentti.

Hiilidioksidipäästöjen ja energian kulutuksen osalta pätee suurin piirtein sama suhde elinkaaren eri vaiheiden välillä, mutta materiaalien käytössä rakentamisvaiheen painoarvo on huomattavasti suurempi, normaalisti reilut 50 %. Toisaalta rakennusmateriaalit ovat osittain vain "lainassa" rakennuksessa. Osa niistä palautuu uudelleen käytettäviksi rakennuksen purkamisen yhteydessä.

Suurin energiankulutuksen säästöpotentiaali rakennuksen käyttövaiheessa. Rakennusten energiankulutuksen vähentäminen tulee jatkossa olemaan entistäkin tärkeämpää, sillä energian hinta nousee edelleen. Toki rakentamisvaiheessakin tulee pyrkiä ekologisiin ratkaisuihin, mutta rakentamisvaiheen tärkein rooli ekologisuuden kannalta on varmistaa käyttövaiheen alhainen energian kulutus. Rakentamisvaiheen aiheuttamien ympäristökuormitusten kapeakatseinen minimointi voi helposti johtaa lisääntyvään energiankulutukseen käyttövaiheessa tai rakennuksen lyhyeen käyttöikään.

Betonin lämmönvarauskyky

Betonitalo säästää energiaa ja selvää rahaa



Betonirakenteen terminen massa säästää lämmitys- ja jäähdytysenergiaa. Se myös alentaa merkittävästi sisälämpötilan vaihteluita ja kesän huippulämpötiloja. Termistä massaa voidaan käyttää aktiivisesti mm. yöaikaisessa jäähdytyksessä tai ilmalämmityksessä, jolloin lämmitys voi tapahtua varaavasti halvemmalla yösähköllä.

Massiivisen rakenteen avulla saadaan ilmaislämmöt, kuten ikkunoiden kautta tuleva aurinkoenergia ja kodinkoneiden hukkalämpö varastoitua ja hyötykäytettyä.

Lattialämmitys toimii parhaimmin betonirakenteeseen asennettuna. Varautunut lämpö siirtyy tasaisesti sisäilmaan. Betonilaattaan sijoitetulla lattialämmityksellä voidaan lämmityksen ja käyttöveden tarvitsemasta energiasta saada 80 % edullisemmalla yösähköllä.

Betonirakenteiden massiivisuuden on lukuisissa tutkimuksissa todettu vähentävän sekä lämmitys- että jäähdytysenergiankulutusta. Betonirakenteet varastoivat ja luovuttavat lämpöä. Eurooppalaisissa tutkimuksissa on saatu massiivisilla rakenteilla kevyisiin verrattuna keskimäärin lämmitysenergiassa säästöä 5–15 % (tutkimustulosten ääriarvot 1–20 %).

Pohjoismaisen tutkimuksen mukaan rakenteiden massiivisuudella voidaan asuinrakennuksissa säästää 3–14 % lämmitysenergiasta ja 30–50 % jäähdytysenergiasta. Rakennuksen sisäilmasto myös paranee massan lämpökapasiteetin leikatessa kesäaikaan korkeimmat sisälämpötilat pois. Massiivisuuden etu on suhteellisesti suurin, kun ikkunapinta-ala on suuri, ikkunat on suunnattu etelään ja rakennetaan muutenkin matalaenergiaratkaisu.

Toimistorakennusten osalta samanlaisia tuloksia on saatu Terma -projektissa. Massiivisessa toimistossa säästöksi saatiin lämmitysenergiassa 4–7 % ja jäähdytysenergiassa 42–52 %. Säästöjä voidaan edelleen lisätä siirryttäessä massan passiivisesta hyödyntämisestä aktiivisiin järjestelmiin.

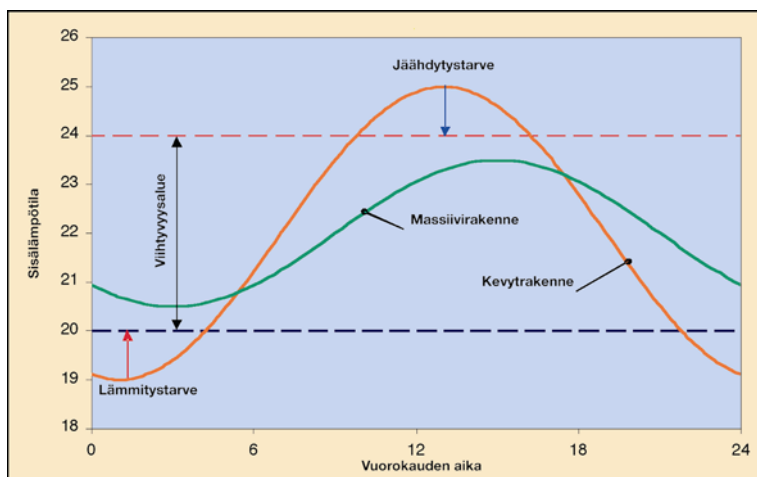
Betonirakennuksen lämmönvarauskyvyn ansiosta

- rakennuksen ilmaisenergiat saadaan hyötykäyttöön
- massiivisuus säästää 5-15 % lämmitysenergiasta
- tasaa ja alentaa liian korkeita sisälämpötiloja
- säästää 20- 50 % jäähdytysenergiasta
- voi poistaa jäähdytystarpeen kokonaan
- soveltuu hyvin matalalämpötekniikan yhteyteen (esim. maalämpö)
- soveltuu hyvin matalaenergia- ja passiivitaloihin
- pienentää rakennuksen CO₂- päästöjä
- pienentää talotekniikan investointikustannuksia

Aktiivisissa järjestelmissä ontelolaataston onteloita voidaan käyttää tehokkaasti ilmanvaihtokanavana. Tällöin laatastoon voidaan varastoida ylimääräistä lämpöä tai viileyttä, mikä alentaa kesäajan maksimilämpötiloja sekä vähentää rakennuksen jäähdytystarvetta. Koneellisen jäähdytyksen tehontarve ja energiankulutus vähenevät ja joissakin tapauksissa koneellinen jäähdytys voidaan jättää kokonaan pois hyödyntämällä ontelolaataston termistä massaa. Tällöin saavutetaan huomattavia säästöjä sekä rakentamis- että käyttökustannuksissa.

Sisälämpötilat ja viihtyvyys

Betonitalo on kesällä viileä- talvella lämmin



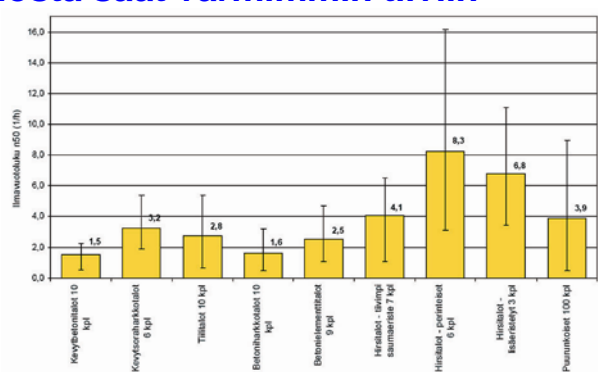
Rakenteiden termisellä massalla voidaan alentaa merkittävästi sisälämpötilan vaihteluita. Erityisesti kesäajan lämpötilahuippuja voidaan alentaa rakenteiden termistä massaa hyödyntämällä 3-6 astetta. Termistä massaa voidaan käyttää aktiivisesti mm. yöaikaisessa jäähdytyksessä tai ilmalämmityksessä, jolloin lämmitys voi tapahtua varaavasti halvemmalla yösaikalla.

Pohjoismaisessa tutkimuksessa verrattiin massiivisen ja kevytrakeisen asuinrakennuksen yötuuletuksen vaikutusta jäähdytysenergian kulutukseen. Kun yötuuletus on kolminkertainen päivätuuletukseen nähden, jäähdytysenergian kulutus laskee ollen massiivisessa rakennuksessa noin kolmanneksen pienempi kuin kevyessä rakennuksessa.

Lattialämmitys toimii parhaimmin betonirakenteeseen asennettuna, jolloin lämpöenergia varautuu rakenteeseen. Siitä se siirtyy tasaisesti sisäilmaan. Betonilaataan sijoitetulla lattialämmityksellä voidaan 80 % lämmityksen ja käyttöveden tarvitsemasta energiasta saada yösaikalla, mikä säästää runsaasti nykyisellä sähköhinnoittelulla. Samalla saadaan tasainen lämmönjako ja miellyttävän lämmin lattia.

Kivirakennuksen tiiveys

Kivitalosta saat varmimmin tiiviin



Massiivisuuden lisäksi myös betonirakenteiden tiiveys vaikuttaa vähentävästi energiankulutukseen. Tiiveyden merkitys kasvaa jatkuvasti vaipan lämmöneristävyyden parantuessa ja ilmanvaihdon lämmöntalteenoton kehittyessä.

Rakennuksen n50-ilmanvuotoluvun pienentyessä 1,0:lla säästyy 3-5 % lämmitysenergiaa. TTY:n ja TKK:n päättymässä olevassa AISE- tiiveystutkimuksessa on mitattu pientalojen ja

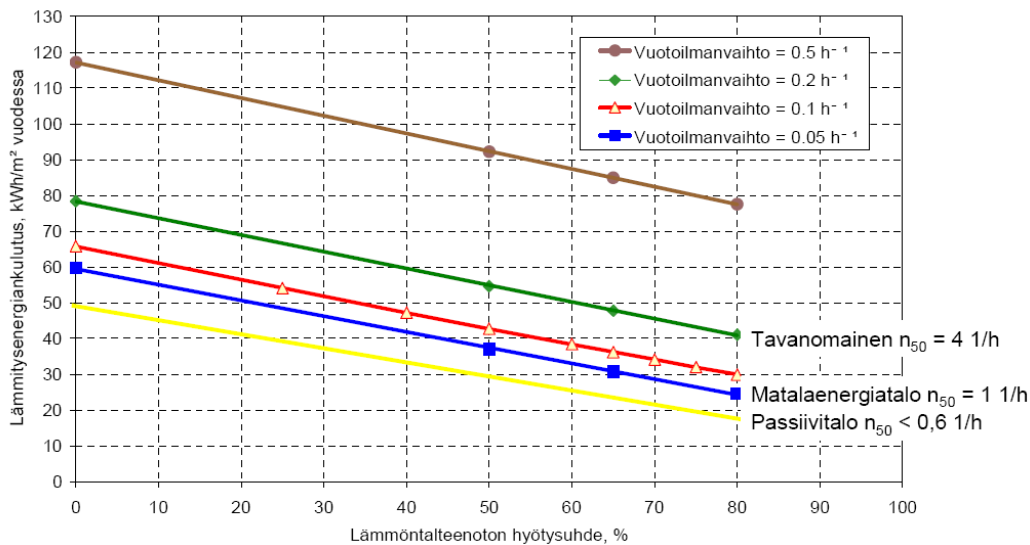
asuinkerrostalojen tiiveyttä. Tehdyt mittaukset ovat antaneet yläpohjaltaan kivrakenteisessa pientalossa n_{50} -luvuksi keskimäärin 1,4 ja yläpohjaltaan puurakenteisessa kivitalossa 2,5.

Puurakenteisille pientaloille saatiin vastaavasti keskimääräiseksi ilmanvuotoluvuksi 3,9.

Kokonaan kivrakenteisen pientalon parempi tiiveys säästää puutaloon verrattuna täten keskimäärin 10 % lämmitysenergiasta. Tiiveyden vaikutus on siis erittäin merkittävä.

Betonisissa asuinkerrostaloissa päästään huolellisella työllä ilmanvuotolukuun 0,5 ja jopa sen alle.

Betonirakenteiden massiivisuuden ja tiiveyden kautta saavutettava hyöty on merkittävä. Jo 5 prosentin säästö lämmitysenergian kulutuksessa tarkoittaa noin 4 prosentin säästöä elinkaarenaikaisessa energiankulutuksessa (käyttövaiheen osuus noin 80 %). Säästö on suurusluokaltaan sama kuin tyypillisen toimistorakennuksen kaikkien betonirakenteiden valmistukseen tarvittava energiamäärä.



Matalaenergiarakentaminen

Passiivikivitalo on tulevaisuuden luksusta



Uusien pientalojen energiankäyttöä voidaan tehostaa monilla tavoilla. Kun uusi talo rakennetaan vähän energiaa tarvitsevaksi, ei myöhemmin tarvitse tinkiä asumismukavuudesta eikä puhtaasta ja terveellisestä sisäilmasta, vaikka energian hinta nousisikin.

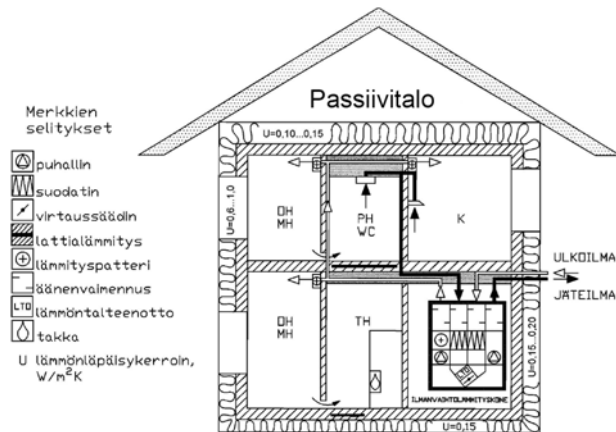
Rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen pienentää paitsi lämmityslaskua myös hiilidioksidi- ja muita päästöjä. Nykyisten vaatimusten (v. 2003) mukaan rakennetun normipientalon energiankulutus on noin 100–120 kWh/krs-m². Kun puhutaan

matalaenergiatalosta, tarkoitetaan taloa jonka lämmittämiseen kuluu energiaa alle puolet tavanomaiseen taloon verrattuna. Matalaenergiatalon lämmittämiseen kuluu siis noin 60 kWh/kerrosneliötä kohti.

VTT:n vertailulaskelmien (tutkimusraportti RTE627/05) mukaan tiivis hyvin eristetty harkkopientalo säästää 50 vuoden aikana energialaskussa **75.000,- ...130.000,- euroa** kevytrakenteiseen normipientaloon verrattuna.

Koska matalaenergiatalossa lämmitysenergian tarve on pieni, voidaan lämmitysjärjestelmää yksinkertaistaa. Matalaenergiatalossa ikkunavetoa ei synny, koska ikkunapintojen lämpötila on lähes sama kuin huonelämpötila. Tämän vuoksi patterit voidaan jättää pois ikkunoiden alta.

Kivitalon rakenteet toimivat matalaenergiatalossa lämmön varastona ja toisaalta sisälämpötilan vaihtelun tasaajina esimerkiksi kesähelteillä. Kun rakennetaan matalaenergiataloa, on erityisen tärkeää saada rakennuksen ulkovaippa ilmatiiviiksi. Betonirakenteet on kehitetty myös matalaenergiarakentamista varten. Esimerkiksi seinärakenteita saa jo U- arvoltaan 0,15...0,16 vakiotuotteina.



Betonin käyttöä

Betonirakenteita suunniteltu jopa 1000 vuoden käyttöäälle



Rakennuksilta edellytetään pitkää käyttöä, esimerkiksi 100-vuotiaatkin rakennukset ovat useimmiten täydessä käytössä. Myös kestävä kehitys kannalta rakennusten pitkäikäisyys on ensisijaisen tärkeä ominaisuus. Sitä korostavat ekologisten ja taloudellisten näkökohtien

lisäksi myös kulttuurilliset näkökohdat.

Betonin ja betonirakenteiden säilyvyysominaisuuksia ja niiden laskennallisia perusteita on kehitetty vuosikymmeniä ja normeissa käyttöiän luotettava varmistaminen on keskeinen tavoite.

Betonirakenteiden suunnittelukäyttöiksi valitaan yleensä vähintään 50 vuotta, mutta rakenteet voidaan suunnitella jopa 200 vuoden käyttöiälle. Onpa Euroopassa käytetty jopa 1000 vuoden suunnittelukäyttöikää betonirakennuksille. Sisätiloissa betonirakenteet ovat periaatteessa ikuisia, sillä ei ole mitään vauriomekanismia, joka turmelisi betonia normaaleissa sisätiloissa. Betonirakenteiden käyttöiksi sisätiloissa voidaankin olettaa 200 vuotta.

Betonin ikään vaikuttavat

- lujuusluokka
- vesi-sideainesuhde
- sementin määrä ja laatu
- betonin lisäaineistus
- raudoituksen betonipeitteen paksuus
- raudoitteen laatu
- ulkoinen rasitus

Muuntojoustavuus

Pitkiä jännevälejä ja vapaita tiloja



Muuntojoustavuudella/muunneltavuudella tarkoitetaan rakennuksen tai rakenteen kykyä mukautua käyttöiän aikana tapahtuviin merkittäviin käyttötarkoituksen muutoksiin.

Tulevaisuuden muutostarpeet kannattaa ennakoida jo suunnitteluvaiheessa, mikäli se on mahdollista. Kustannukset rakentamisvaiheessa ovat vain murto-osa muutosvaiheen kustannuksista. Rakennuksen muuntojoustavuuteen voidaan vaikuttaa varsin tehokkaasti rakenneteknisin keinoin. Tulevaisuuden muutostarpeita ajatellen on edullista, jos saavutetaan kantavien rakenteiden osalta mahdollisimman laajoja, avoimia tiloja. Näin tila on hyvin muunneltavissa. Vaakarakenteiden osalta pitäisi pystyä ennakoimaan mahdollista lisäkantokyvyn tarvetta tai parempaa palonkestoa tai ääneneristävyyttä. Muuntojoustavuuden ennakointi vaatii suunnittelijalta entistä enemmän, koska koko rakenteen ylimitoittaminen ei ole ekotehokasta. Hyvä periaate olisi miettiä rakennukselle mahdollinen vaihtoehtoinen käyttötarkoitus ja huomioida kyseisen käyttötavan aiheuttamat muutostarpeet jo suunnitteluvaiheessa.

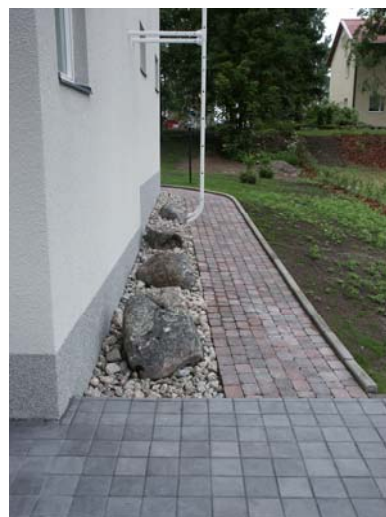
Muuntojoustavuuden kannalta betonin etuja ovat hyvä kantokyky, pitkät jännevälit ja sitä kautta vähäinen pystyrakenteiden määrä sekä riittävä palo- ja ääneneristävyys eri

käyttötarkoituksiin.

Suunniteltaessa rakennuksia yli 50 vuoden käyttöiälle, on muuntojoustavuuteen kiinnitettävä entistä enemmän huomiota. 200 vuoden suunnittelukäyttöikä on käytetty esim. Turun Yliopiston Kasarmialueen betonijulkisivuille. Vaikka betonirakenne teknisesti kestäisikin 200 vuotta, pitkän käyttöiän yhteydessä on varauduttava korjattavuuteen. Siksi Turun Yliopistonkin julkisivut tehtiin vaihdettaviksi.

Huolto ja kunnossapito

Betonirakenteilla vähäinen huoltotarve



Betonirakenteet vaativat vain vähän huoltoa. Rakenteet tulee kuitenkin hyvää kiinteistönhoitotapaa noudattaen tarkastaa säännöllisesti. Usein rakenteelle riittää säännöllinen pesu. Lämpimissä sisätiloissa betoni on lähes ikuinen materiaali. Ulkona sen tulee kestävä vähintään pakkasrasituksia. Betonin pinta voidaan suojata graffiteja vastaan ns. antigraffiti-aineilla, jolloin graffitit ovat pinnasta poistettavissa.

Betonipintaa ei tarvitse maalata. Mikäli näin kuitenkin tehdään, joudutaan maalipinta jossain vaiheessa uusimaan. Betonijulkisivuissa elementtien väliset elastiset saumat pitää uusia noin 20 vuoden välein. Mikäli betoni pääsee pinnaltaan rapautumaan, se voidaan korjata paikkauslaasteilla. Mahdollinen betoniterästen alkanut korroosio on korjattavissa rapautunut betoni poistamalla, käsittelemällä pinnassa olevat teräkset ja paikkaamalla betonipinta tai uudelleenalkalisoinnalla teräkset.

Taulukko. Betonijulkisivun huolto

Tuote	Käyttöikä	Huoltoväli	Kunnossapitoväli
Betonijulkisivu/ normaali raudoitus, Parveke- elementit	50 vuotta	5 vuotta, tarkastus 10 vuotta, kuntoarvio, mahdollinen painevesipuhdistus ja suoja- ainekäsittely, puu- ja metalliosien maalaus	15 vuotta, mahdollinen uusintamaalaus (esim. PUR- pohjaiset maalit vaativat) 20...25 vuotta, elastisen saumauksen uusiminen, laattapinnan osittainen korjaus, rapatun pinnan paikkaus
Betonijulkisivu/ ruostumaton raudoitus	75...200 vuotta	5 vuotta, tarkastus 10 vuotta, kuntoarvio 50 vuotta, kuntotutkimus	25 vuotta, saumojen kumitiivisteiden uusiminen
Ikkunat	40...50 vuotta	1 vuosi, tarkastus, puhdistus 10 vuotta, puupintojen pintakäsittely	15...25 vuotta, eristyslasien uusiminen
Pellitykset, kourut, syöksytorvet	25...30 vuotta	2 vuotta, tarkastus	15 vuotta, osittainen uusiminen
Elementtien saumat	20...25 vuotta	1...2 vuotta, tarkastus	10...15 vuotta, osittainen saumojen uusiminen

Purettavuus ja uusiokäyttö

Betonirakenteita voidaan kierrättää



Betonielementtirakennus on purettavissa ja siirrettävissä rikkomatta, jos se on koottu elementeistä pultti- tai hitsausliitoksin. Esimerkiksi Hollannissa on kehitetty rakennejärjestelmiä, jotka ovat purettavissa täysin ehjänä ja rakennus on siirrettävissä uuteen paikkaan.

Paikallavalettu rakenne puretaan rikkomalla. Pilari- palkkirunkoisissa elementtirakennuksissa purettavuus on parempi kuin juotosvaluilla saumat tehdyissä rakennuksissa. Osa elementeistä voidaan usein käyttää uudelleen ja loput rakenteet murskataan kierrätykseen.

Kattotiilet, pihakivet ja -laatat, putket ja kaivonrenkaat sekä monet harkkorakenteet ovat käytettävissä uudelleen koottuna seuraavassa käyttökohteessa.

Murskattu betoni voidaan käyttää joko murskeena tienrakentamisessa tai uuden betonin valmistuksessa. Mikäli betonin valmistuksessa käytetään murskattua betonia enintään noin 20 % kiviaineksen kokonaismäärästä, säilyvät betonin ominaisuudet lähes samoina normaalikiviaineksilla tehtyyn betoniin verrattuna.

Murskatun jätebetonin suurin käyttöalue on maarakentamisessa.

Sitä käytetään yleisesti teiden, katujen sekä piha- ja pysäköintialueiden sitomattomissa kerroksissa. Käyttö on mahdollista myös putkikaivannoissa, ympäristörakentamisessa sekä talonrakennuksen perustus- ja muissa täytöissä.

Jätebetonille on olemassa yli 20 keräyspistettä eri puolilla Suomea.

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa antaa mahdollisuuden käyttää betonimursketta ilmoitusmenettelyllä ilman ympäristölupaa. Betonimurskeelle on järjestetty laadunvarmistus, jossa tutkitaan määrävlein mahdollisten haitallisten aineiden pitoisuus ja liukoisuus ympäristöön.



Kirjallisuutta



- Betonirakenteiden ympäristöominaisuudet. Betonikeskus ry. Helsinki 2007.
- Betonin, betonilietteen ja veden kierrätys betoniteollisuudessa. Betonikeskus ry. Helsinki 2005.
- Matalaenergiarahkotalo. Pientalojen energiankulutuksen vertailulaskelmia. Tutkimusraportti RTE 627/05. VTT Rakennus ja yhdyskuntatekniikka. Espoo 2005.
- Kalema, T. et al. Nordic Thermal Mass- Effect on Energy and Indoor Climate. Tampere University of technology. Raportti 184. Tampere 2006.
- Hietämäki et al. Rakennusten massiivisuus. Keskeiset tutkimukset ja tulokset. Tampereen teknillinen yliopisto. Energia- ja prosessitekniikan laitos. Tampere 2003.
- Laine, T., Laine J., Saari M. Terma- rakenteiden termisen massan aktiivinen hyödyntäminen rakennuksissa. Terma- järjestelmäopas. Olof Granlund Oy & VTT Rakennus ja yhdyskuntatekniikka. Espoo 2006.
- Betonituotteiden emissiomittaukset. VTT, Tutkimusraportti KET 2693/97. Espoo 1997.
- Pientalojen energiakulutuksen vertailulaskelmia. Matalaenergiarahkotalo. VTT:n tutkimusraportti RTE 627/05. Espoo 2005.