

KLIIMA-
NEUTRAALNE
AASTAKS
2035

**TAL
TECH**

MINERAALSETE EHITUS- JA LAMMUTUS- JÄÄTMETE RINGLUSSEVÕTU VÕIMALUSED

Simo Ilomets, PhD

Vanemlektor, programmijuht
Volitatud ehitusinsener, tase 8

22.05.2025, Mäekonverents 2025, Rakvere



Rahastanud Euroopa Liit
NextGenerationEU



Eesti
tuleviku heaks

**TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOO**

EHTISTELE ESITATAVAD PÕHINÕUDED (UUS CPR 2024/3110)

- Ehitiste struktuuri terviklikkus
- Ehitiste tuleohutus
- Kaitse tervist ja hügieenitingimusi kahjustava mõju eest
- Ehitiste ohutus ja ligipääsetavus
- Ehitiste heliläbilaskvus ja akustilised omadused
- Ehitiste energiatõhusus ja soojuskasutus
- Heitmete sattumine ehitistest väliskeskkonda
- **Loodusvarade säästev kasutamine ehitistes**

Viimastel aastatel on tekkinud **Eestis** ca:

- **2 miljonit tonni** saastumata kive, pinnast ja süvenduspinnast
- **1 miljon tonni** ehitus- ja lammutusjätmeid (v.a kivid, pinnas ja süvenduspinnas), millest taaskasutati ca 90%, valdavalt tagasitäiteks (allikas: Kliimaministeerium)

▪ **Milline on Eesti (mineraalsete) ressursside vajadus tulevikus?**

- Kus on vajadus ja kus on ressursid (maardlad, kaevandused, hooned, rajatised)
- Ehitusmaterjalide tootmine, kasutuse optimeerimine, toorme väärindamine
- Kus, kuidas ja kui palju on mõistlik kaevandada?
- Kuidas hinnata ja mõõta?

EHTISTELE ESITATAVAD PÕHINÕUDED (UUS CPR 2024/3110)

▪ Loodusvarade säästev kasutamine ehitistes

Ehitised ja kõik nende osad projekteeritakse, ehitatakse ja demonteeritakse või lammutatakse ning neid kasutatakse ja hooldatakse nii, et nende olelusringi jooksul kasutatakse loodusvarasid säästvalt ning tagatakse:

- a) suure keskkonnakestlikkusega tooraine ja teisese materjali ressursitõhusa kasutuse maksimeerimine;**
- b) kasutatava tooraine üldkoguse minimeerimine;**
- c) kasutatava energia üldkoguse minimeerimine;
- d) tekitatavate jäätmete üldkoguse minimeerimine;**
- e) kasutatava joogivee ja tekkiva tarbevee üldkoguse minimeerimine;
- f) tervete ehitiste või nende osade ja nende materjalide korduskasutatavuse või ringlussevõetavuse maksimeerimine pärast demonteerimist või lammutamist;
- g) Lihtne demonteeritavus

LINEAARNE VS RINGNE EHITUSMATERJALIDE KASUTAMINE



Refuse		Make products redundant; either abandon its function or offer the same function with a radically different product
Rethink		Make products' use more intensive (e.g. by sharing product)
Reduce		Increase efficiency in product manufacturing or use by integrating fewer natural resources and materials
Reuse		Reuse by another consumer or discarded products which are still in a as-good-as new condition and fulfills its original
Repair		Repair and maintenance of defective products in order to be used with its original function
Refurbish		Restore old products and bring them up to date
Remanufacture		Use parts of discarded product in new products with the same functions
Repurpose		Use discarded product or its parts in a new products with different functions
Recycle		Process materials to archive the same (high grade) or lower (low grade) quality
Recover		Incineration of material for energy recovery purposes
Waste		Disposal

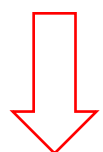


Figure 2 The Circular Economy hierarchy, developed from Kirchherr et al. (2017)

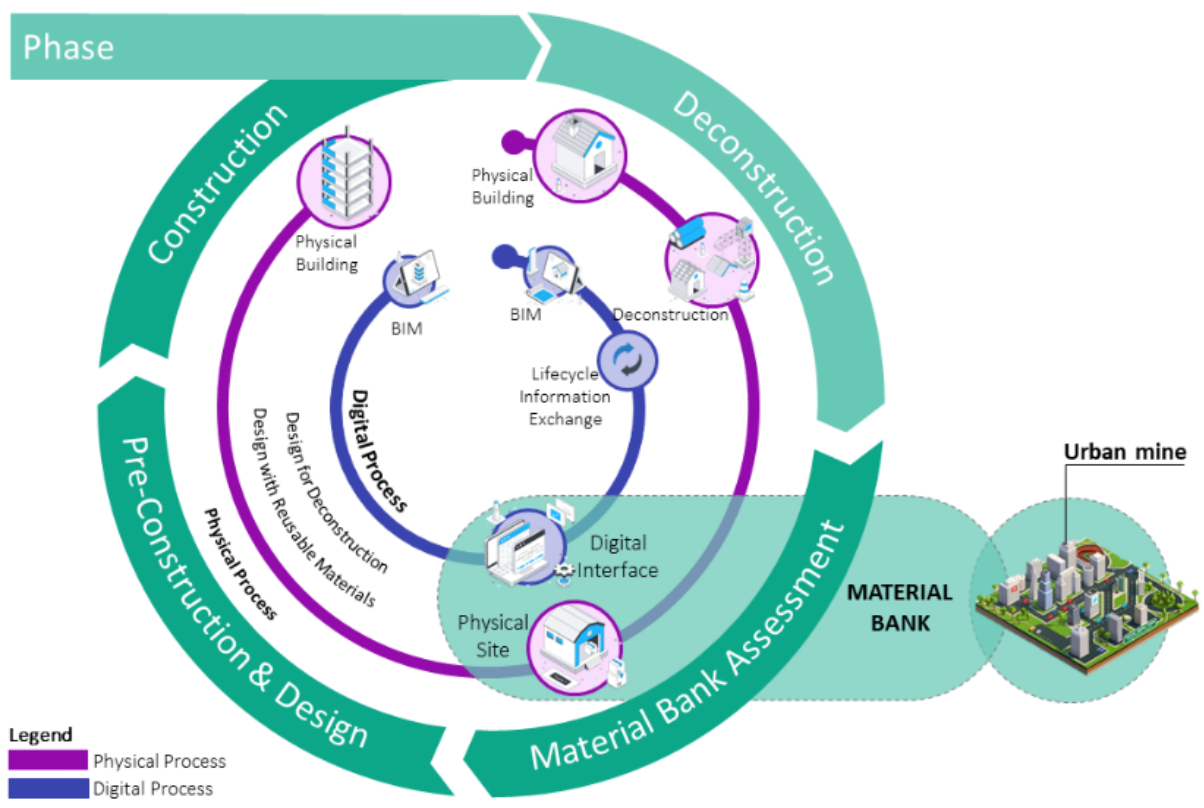


Figure 3. Material banks interact with the parallel worlds of digital and physical workflows

Use Case: Urban Mining: Decommissioning to Reuse (D2R) | Use Case Management
<https://grow-circular.eu/knowledge-base/9r-framework/>

UUS CPR 2024/3110

- **„kasutatud toode“** – toode, mis ei ole jäätmed või mida ei käsitata enam jäätmetena direktiivi 2008/98/EÜ kohaselt, mis on vähemalt ühel korral paigaldatud ehitisse ning mis:
 - a. ei ole läbinud protsessi, mis läheb kaugemale kontrollimise, puhastamise või parandamisega seotud taastamistoimingust, millega valmistatakse toode või tootekomponendid ette kasutamiseks selliselt, et neid on võimalik korduskasutada ehituses ilma muu eeltötluseta, või
 - b. on ümber töödeldud viisil, mis läheb kaugemale kontrollimise, puhastamise või parandamisega seotud taastamistoimingust, mis on toote toimivuse seisukohast ebaoluline vastavalt kohaldatavale ühtlustatud tehnilisele spetsifikatsioonile;
- **„taastoodetud toode“** – toode, mis ei ole jäätmed või mida ei käsitata enam jäätmena direktiivi 2008/98/EÜ kohaselt, mis on vähemalt ühel korral paigaldatud ehitisse ning mis on ümber töödeldud viisil, mis ei piirdu vaid kontrollimise, puhastamise ja parandamisega seotud taastamistoiminguga, mis on toote toimivuse seisukohast olulised vastavalt kohaldatavale ühtlustatud tehnilisele spetsifikatsioonile;

Kasutatud toode/taastoodetud toode on võrdsustatud uue tootega, s.t. kasutatud toote kasutamine ja turustamine EÜ riikides allub samadele reeglitele.

- **„ringlussevõtt“** – ringlussevõtt direktiivi 2008/98/EÜ artikli 3 punktis 17 määratletud tähenduses (taaskasutamistoiming, mille käigus jäätmematerjalid töödeldakse toodeteks, materjalideks või aineteks kasutamiseks nende esialgsel või mõnel muul eesmärgil. See hõlmab orgaaniliste ainete töötlemist, kuid ei hõlma energiakasutust ja töötlemist materjalideks, mida kasutatakse kütustena või kaeveõõnete täitmiseks);
- **„ringlussevõetavus“** – võime materjali või toodet tulemuslikult ja tõhusalt eraldada, koguda, sortida ja koondada kindlaksmääratud jäätmevoogudeks, et võtta see ringlusse teisese toormena, minimeerides samal ajal kvaliteedi või funktsionaalsuse kadu asjaomase esmase toormega võrreldes;

Toodete kasutusjuhendisse on lisatud „Soovitused toote ringlussevõtuks“

PROGNOOSID JA TENDENTSID

- Hoonete lammutamise vajadus suureneb (ca 23-25% aastaks 2050):
 - Demograafia
 - Kinnisvaraarendus, muutuv kasutus ja muutuvad vajadused
 - Ehitusmaterjalide lagunemisprotsessid
- Ehitatud keskkond liigub ringse põhimõtte suunas:
 - Ehituselementide korduskasutus (madal ümbertöötlemise aste, olemasolevate omaduste säilitamine ja kasutamine)
 - Ehitusmaterjalide ringlussevõtt/uuskasutus (keskmise ümbertöötlemise aste, keskmise lisaväärtus)
 - Uued ehitusmaterjalide teisest toormest (kõrge ümbertöötlemise aste, kõrge lisaväärtus)
 - **Esmatoorme vajaduse vähendamine**
 - Ehitusmaterjalide keskkonnamõju vähendamine
 - Ehitus- ja lammutusjätmete osakaalu vähendamine (liigiti kogumise teel) ning lõppladestatavate jätmete osakaal

- Hooned kui materjalipangad (*urban mining*)

Asam 2005



Gonzalez-Fonteboa
et al. 2021



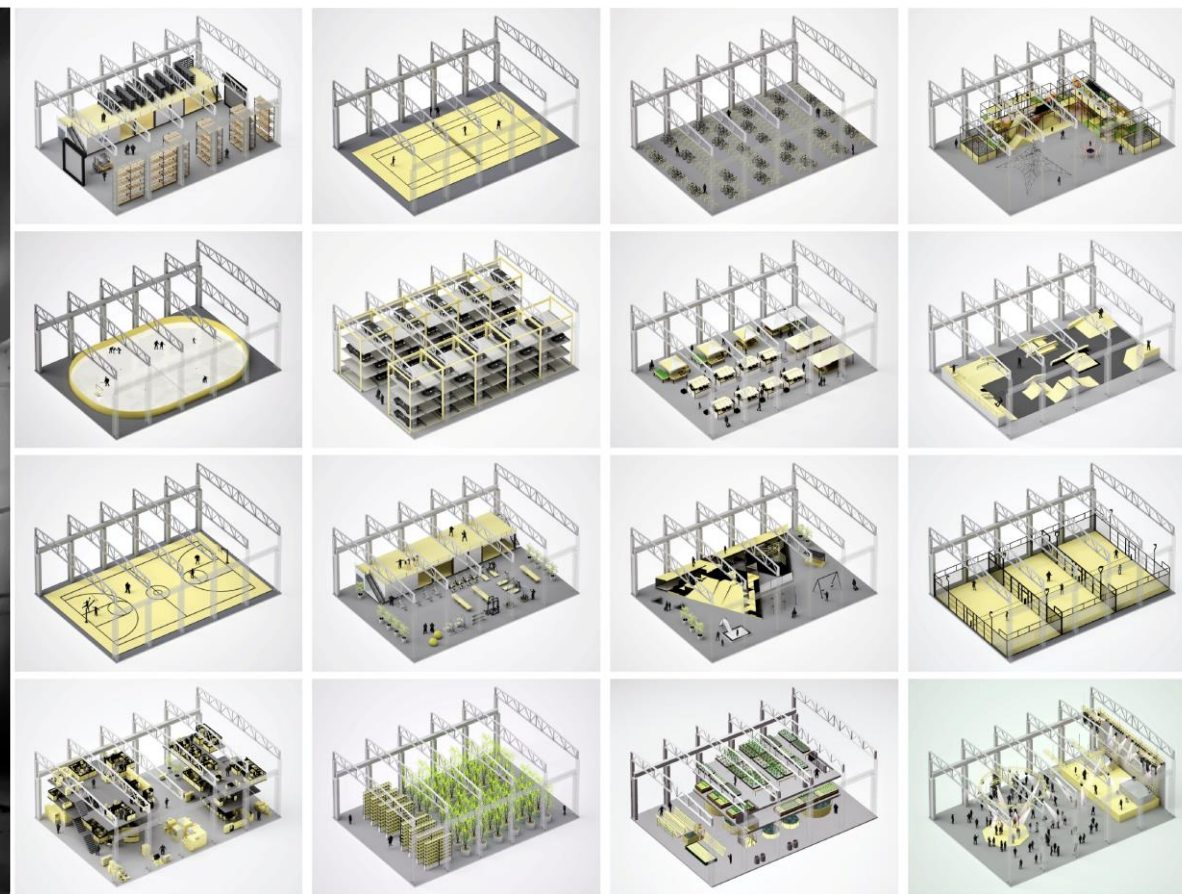
Wilson 2019



Wilson 2019



KOHANDATAVUS/DEMONTEERITAVUS – OL.OL HOONED (KRULLI)



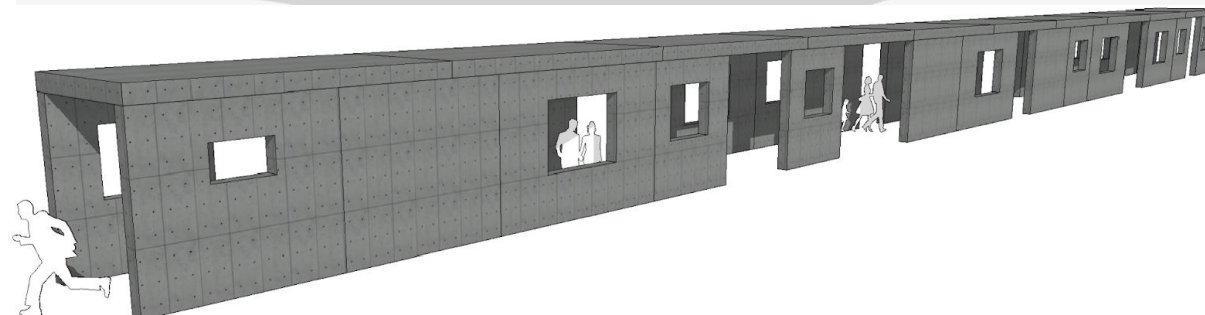
RAUDBETOON ÕÕNESPANEELIDE OHUTU KORDUSKASUTUS LÄTIS



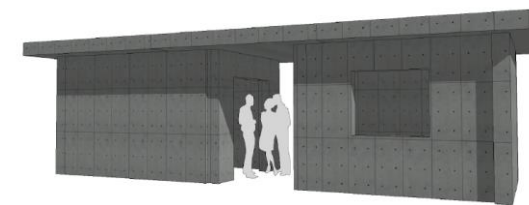
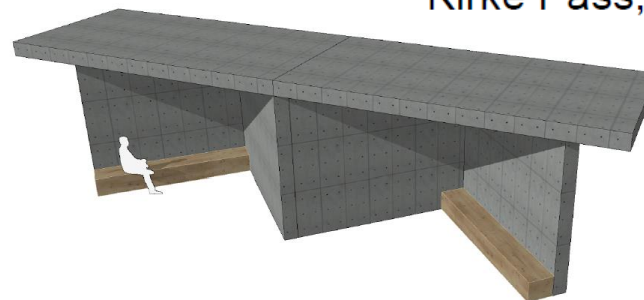
EHITUSELEMENTIDE KORDUSKASUTATAVUS (NN TARTU TÜÜPI SUURPANEELELAMU VALGAS)



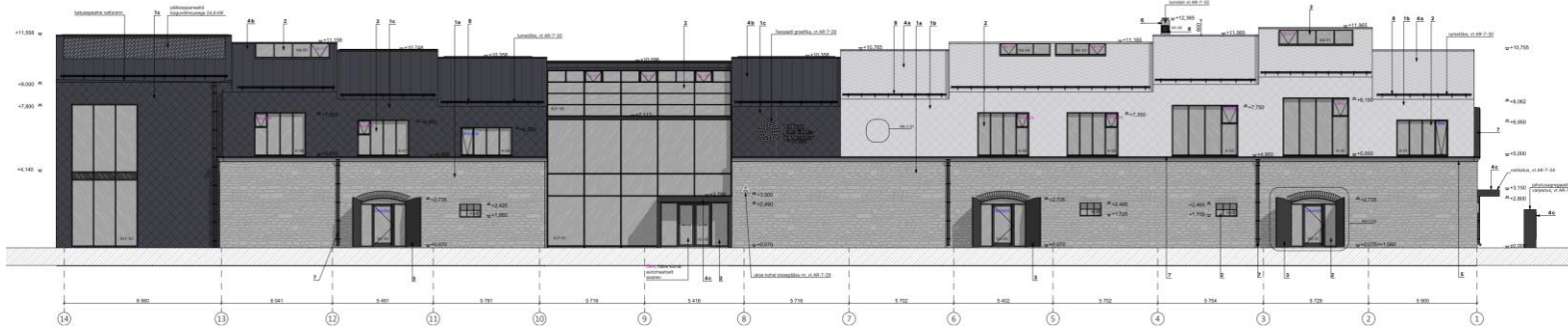
EHITUSELEMENTIDE KORDUSKASUTATAVUS (NN TARTU TÜÜPI SUURPANEELELAMU VALGAS)



Kirke Päss, Ivar Marist ja Kaarel Svätski



TALLINNA LOOME- JA RINGMAJANDUSKESKUS LAMMUTAMISEL TEKKINUD PAEKIVIST



EHITUSMATERJALIDE ROHEKAARDID (SILIKAATKIVI NÄIDIS)

PDF [Lõppraport](#)

PDF [Lõpparuanne](#)

PDF [Äriplaani ehitusmaterjalide korduskasutus](#)

PDF [Korduskasutatavad müürimaterjalid](#)

Rohekaardid:

PDF [Beton](#)

PDF [Katuseplaat](#)

PDF [Keraamiline katusekivi](#)

PDF [Keraamiline tellis](#)

PDF [Palkpuit](#)

PDF [Poorbeton](#)

PDF [Saepuit](#)

PDF [Silikaatkivi](#)

TAL
TECH

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Tuüp	Materjal	SILIKAATKIVI /koos mördiga/
Mineraalsed materjalid	Asjakohane standard	Tihedus, kg/m ³
CO ₂ jalajälg alternatiivsel uuel materjalil (A1...A3), kgCO ₂ e/kg	EVS-EN 771-2:2011+A1:2015	~1900
0,127		

Kirjeldus

Silikaatkivid on lubja ja peene liiva segust autoklaavimise teel (kõrge temperatuuri ja rõhu tingimustes) valmistatud valkjaat värvi tehiskivid, harva plokid, argikeeles ka silikaattellised (ei ole korrektne, kuna üldiselt nimetatakse tellisteks keraamilisi, ühe käega tõstatavaid risttahukaid). Silikaatkive valmistati erinevate standardmõõtudega (pikkus, laius, kõrgus):

- nn moodulkividena 250-120-88 mm
- nn normaalkividena 250-120-65 mm (Eesti Vabariigi aegne mõõt 1918-40),
- esineb ka mõõte 270-130-70/65 mm (Eesti Vabariigi aegne mõõt 1918-40),
- 250-125-60 mm (ENSV aegne mõõt) ning 250-85-65 mm (ENSV aegne mõõt).

88 mm paksusi silikaatkive toodeti ka õõnsustega. Õõnessilikaatkivide ümarad ~ 30 mm läbimõõduga õõnsused ei ole läbivad. Kivide massid on üldjuhul ~3,5... 6 kg.

Silikaatkivide ladumiseks kasutatud mört on tavapäraselt tsementmört (tugevam ja jäigem) või lubi-tsementmört. Esimese puhul on liiva sidumiseks kasutatud tsementi ja teisel lubja ning tsementi segu. Ainult lubimörti (kasutati ajalooliste hoonete puhul enne silikaatkivide masstootmist) silikaatkivide ladumiseks ei ole tavapäraselt kasutatud. Silikaatkivide masstootmine hoogustus 2. maailmasõja järgsel perioodil 1940.-ndatel. Silikaatkivide puhul on nende mördist puhastamine keeruline ja töömahukas, kuna mört on üldiselt tugev ning kiviga hästi nakkunud. Mõeldav on müüritise osade kasutamine järgmiste hoonete survele töötavates seintena, lahendades müüritise osadeks lõikamise ja tõstmise seonduvad küsimused.

Vaadeldav omadus	TUGEVSUSNÄITAJAD / SURVETUGEVSUS
Tõendamismeetod	Pragude olemasolu tuvastamine visuaalse vaatlusega
	Silikaatkividel esineb kahte sorti pragusid; pinnapealsed võrkpraod ja läbivad praod. Pinnapealsete pragude olemasolu viitab keskkonna tingimustest põhjustatud kivi pealmise kihi lagunemisele. Tüüpiliselt on pinnapealsed praod arenenud ka kivi sisemistesse kihtidesse. Läbivad praod ilmnevad reeglina kividel mille paindetugevus on ammendunud. Kivi poolitub seejuures kaheks.
Usaldusväärsus (1/2/3)	2
Meetodi rakendamise saadud hinnang materjali korduskasutatavusele	- Pindmiste pragudega kivide korduskasutus ei ole mõeldav kuna kahjustunud kivide gabariitmõõtmel on varieeruvad ja kivide survetugevus on oluliselt vähenenud. - Kivide kasutamine ümbertöödeldud kujul on mõeldav juhul, kui saadavale materjalile ei esitata mehaaniliste omaduste kõrgendatud kriteeriume ja kasutatakse kuivades keskkondades, nt täitematerjalina hoonejalil. - Läbivate pragudega kivid on korduskasutatavad mittekanadvates konstruktsioonides. Kivide gabariitmõõtmel võivad pragulisuse tõttu varieeruda ja seetõttu võib laotava müüri tasapinnalisus olla muutuv.
Hinnang materjali ümbertöötlemise potentsiaalile	- Läbivate pragudega silikaatkivid on ringlussevõetavad ümbertöödeldud kujul (näiteks täitematerjal) ka koormusi vastuvõtvates konstruktsioonides. - Üldises plaanis ei ole silikaatkividest valmistatud täitematerjalid kasutatavad kulumiskooormatud (sõidetavad teed/parklad) keskkondades vähesel määral üldiselt tugevate silikaatkivide ja nendest ümbertöödeldud materjalid ei ole marguvalates kanadvates konstruktsioonides reeglina kasutatavad neile iseloomuliku suure pehmenemise tõttu margades keskkondades.
Tõendamismeetod	Tugevuse hindamine kriimustamisega
	Silikaatkivide survetugevused kõiguvad üldjuhul vahemikus 20-30 N/mm ² . Silikaatkivide tugevuse hindamine käepäraste materjalidega ei pruugi reaalsust piisavalt täpselt peegeldada. Silikaatkivide kriimustamine metallist esemetega põhjustab reeglina pinnakriimustusi. Tekkinud kriimustuste sügavuse järgi saab hinnata kivi pindmiste kihtide tugevust, mis ei kajasta siiski sisemiste kihtide olukorda.
Usaldusväärsus (1/2/3)	2
Meetodi rakendamise saadud hinnang materjali korduskasutatavusele	- Kui kive metallist esemega lihtsasti kriimustada ei õnnestu siis võib eeldada, et kivide tugevus on algupärane (reeglina ≥25 N/mm²); - kui kriimustuse sügavus jätkuvalt kriimustamisel suureneb, siis on põhjust eeldada ka sisemiste kihtide kahjustumist ja kivi tugevust võib hinnata väikeseks.

<https://kliimaministerium.ee/buildest/ringmajandus-ehituses>

<https://www.tartu.ee/et/ringrenoveerimine>

MATERJALIPANGAD (BELGIA JA EESTI)



DIGITAALSED VS FÜÜSILISED MATERJALIPANGAD (EESTI)



Materjalipank
SRIK



Ehitusplatside savi väärindamine
KUIDAS.WORKS



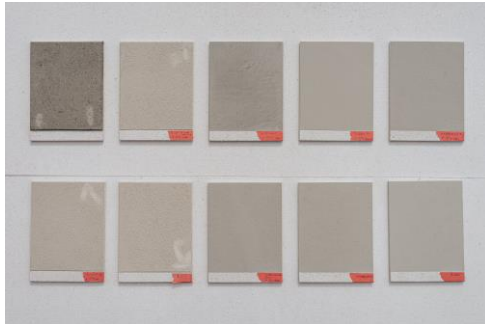
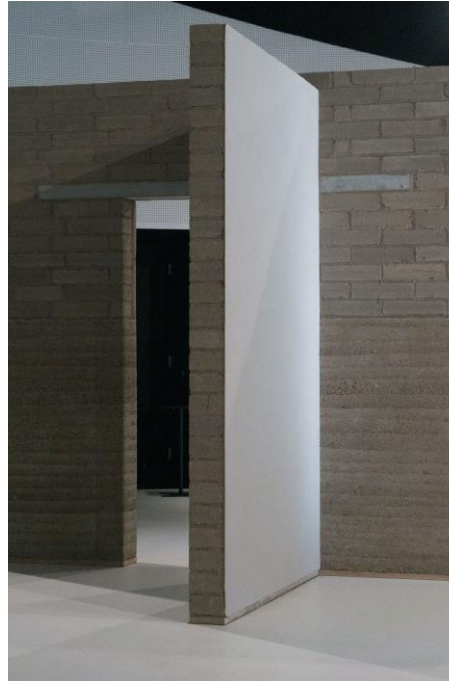
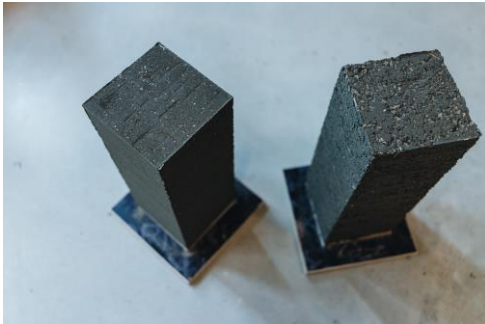
enfield.excessmaterialsexchange.com

**TAL
TECH**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

E-ehitus, BIM, materjalide andmed, CCI, digikaksik ehitamisel,
kasutamisel, renoveerimisel, demonteerimisel

SAVIPÕHISED PINNASE VÄLJAKAEVED TEISESE TOORMENA



kuidas.works tootearendus 2023 (Hannes Praks) / Oxara stabiliseeritud valusavi (CH)

Põletamata savitellistest ja tampsavist
testsein näitusel „Maast linnaks“ Viimsi
Artiumis (kuidas.works 2022), H. Praks

LAMMUTATAVAD HOONED JA RAJATISED KUI TEISENE TOORE



SILIKAATKIVID JA KILLUSTIK MATERJALINA

- Silikaatkivide indikatiivne (mittepurustav katse Schmidt`i vasara abil) keskmine survetugevus 32,1 MPa
- Purustav survetugevus (samad kivid laboris) 42,4 MPa
- Välisvoodri kive survetugevus langes ca 9% pärast 50 külmumis-sulatus tsüklit – visuaalseid kahjustusi ei tuvastatud vaatamata suurele veeimavusele
- Kõik kivid tugevamad kui tänapäeva silikaatkivid (25 MPa)
- Silikaatkivist tehtud killustik ei vasta jämetäitematerjalidele esitatavate nõuete osas (erinevalt paekivi killustikust) – veeimavus, tugevus/kuluvus, külmakindlus. Ringlussevõtu kasutuskohad piiratud aga võimalikud, vajalik optimeerimine



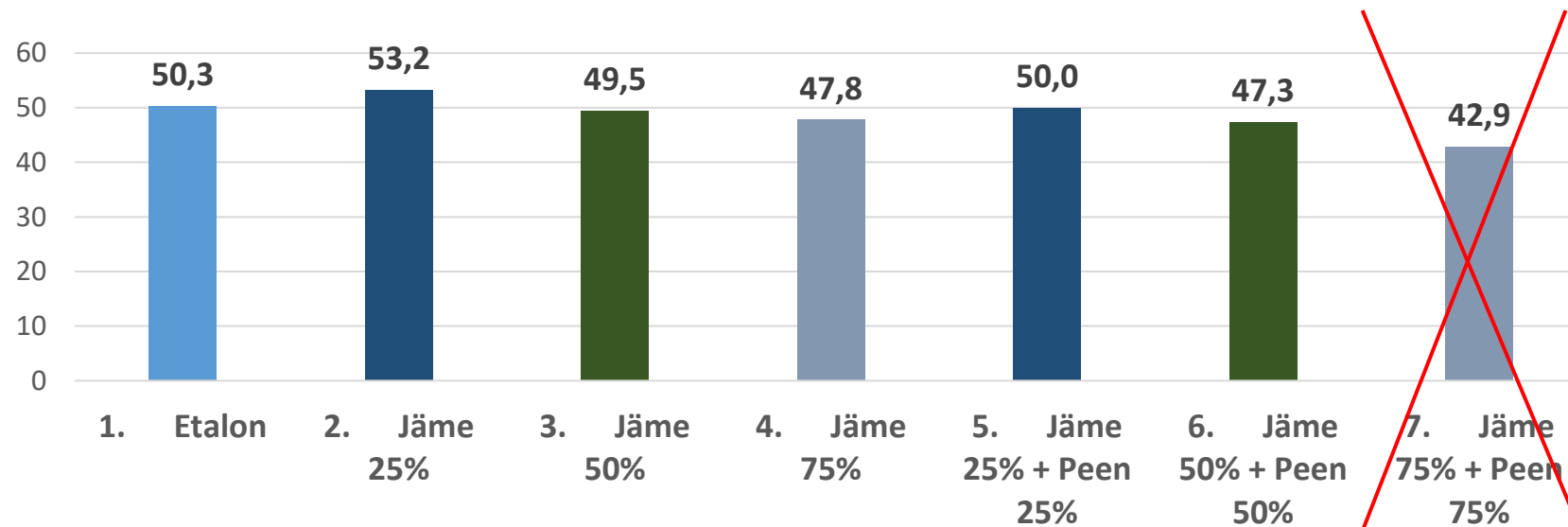
UUS BETOON (SILIKAATKIVIKILLUSTIKUST TÄITEMATERJALIGA)

Betooni tähis	Vesi/tsement tegur	Värske betoonisegu		
		Tihedus kg/m ³	Koonuse vajumine, cm	Õhusisaldus, %
1. Etalon (nr 986)	0,61	2440	4,0	2,0
2. Jäme 25% (nr 987)	0,63	2420	3,5	2,5
3. Jäme 50% (nr 988)	0,65	2360	3,5	2,8
4. Jäme 75% (nr 989)	0,66	2290	1,0*	3,3
5. Jäme 25% + peen 25% (nr 990)	0,65	2390	1,5*	2,4
6. Jäme 50% + peen 50% (nr 991)	0,69	2330	1,0*	2,7
7. Jäme 75% + peen 75% (nr 992)	0,81	2240	1,5*	3,3



UUS BETOON

- **Keskmine survetugevus 48,7 MPa**
(vastab betoonile C35/45)
- **Sobilik täitematerjali asendamise**
määr kuni 50%



UUS BETOON

- **Väga** (üllatavalt) **hea betooni külmakindlus vaatamata jämetäitematerjali kehvale külmakindlusele** (suur veeimavus) ja tugevusele/kulumisele
- Betooni külmakindluse toimivuse kriteeriumiks on massikadu $0,2 \leq S \leq 1,0 \text{ kg/m}^2$ sõltuvalt külmakindluse klassist

Betooni tähis	Katsekeha massikadu S, pärast			
	7	14	28	56
	külmutustsükli, kg/m ²			
1. Etalon (nr 986)	0,01	0,04	0,10	0,29
2. Jäme 25% (nr 987)	0,01	0,01	0,01	0,04
3. Jäme 50% (nr 988)	0,01	0,01	0,02	0,04
4. Jäme 75% (nr 989)	0,01	0,01	0,02	0,04
5. Jäme 25% + peen 25% (nr 990)	0,01	0,01	0,03	0,05
6. Jäme 50% + peen 50% (nr 991)	0,01	0,01	0,03	0,07
7. Jäme 75% + peen 75% (nr 992)	0,01	0,02	0,05	0,10



- **Väga suur ringlussevõtu potentsiaal**, siiski vajalikud jätku-uuringud, s.h. töödeldavuse võimalik langus
 - <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/57498c18-fa28-44fd-9898-0672a879ef49>

KLIIMA-
NEUTRAALNE
AASTAKS
2035

**TAL
TECH**

AITÄH kuulamast ja muutmaks mõttemalli ringsema ressursikasutuse suunas!

simo.ilomets@taltech.ee

+372 620 2453

**TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOO**