Uusiomateriaalien laatuvaatimukset

Pirjo Kuula, TTY

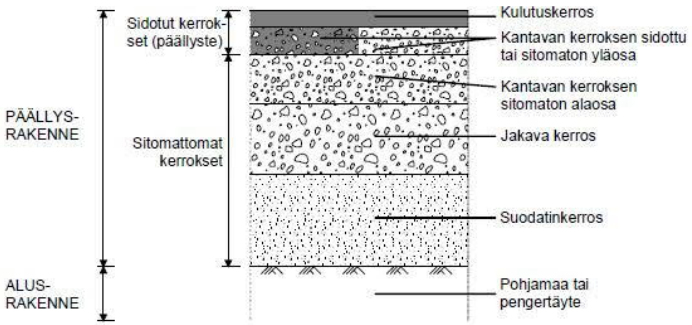
30.10.2018

Sisältö

- Lähtökohdat laatuvaatimuksille
- Nykyiset uusiomateriaalien vaatimukset tierakenteissa
- Lyhyesti uusiomateriaalien CE-merkinnästä
- Joitakin uusiomateriaalien käyttöön tierakenteissa liittyviä näkökohtia
- Yhteenveto

Lähtökohdat laatuvaatimuksille

- Materiaalien laatuvaatimukset lähtevät liikkeelle aina rakenteen tekniselle toiminnalle asetetuista vaatimuksista
- Perinteisistä materiaaleista valmistetut rakenteet ja uusiomateriaalirakenteet ovat periaatteessa samanarvoisia eli toimivat vähintään samalla tavalla
- Rakenneratkaisut voivat olla erilaisia, mutta esim. kantavuudesta tai routimattomuudesta ei voi tinkiä
- Ympäristökelpoisuusasiat sekä tarvittavat luvat ja ilmoitukset ovat aina kunnossa



Luonnonkiviaines jakavassa ja kantavassa kerroksessa, InfraRYL

Liite:T17. Sitomattoman kantavan kerroksen ja jakavan kerroksen luonnonkiviaineksen vaatimukset sekä suositukset testaustiheydeksi

OMINAISUUS	SITOMATON KANTAVA KERROS		JAKAVA KERROS, KUN D≤ 90 mm		JAKAVA KERROS, KUN D > 90 mm	
	Vaatimus	Testaustiheys	Vaatimus	Testaustiheys	Vaatimus	Testaustiheys
Raekokojakautuma	Luokka G_O tai G_A *) (SFS-EN 13285)	Kerran päivässä tai 1/5000 t	Luonnonsora Kuva 21210:K3 Murske luokka G_P tai G_C (SFS-EN 13285)	Vähintään kerran viikossa tai 1/5000 t	Taulukko 21210:T5	Vähintään kerran viikossa
Hienoainespitoisuus	f_7 (KaM) tai f_9(SrM)	Kerran päivässä tai 1/5000 t	f_9 (sora ja SrM) tai f_7 (KaM)	Vähintään kerran viikossa tai 1/5000 t	f_7 (KaM)	Vähintään kerran viikossa
0,02 mm läpäisy (luonnonsora)	–	–	≤ 3 %, jos 0,063 mm läpäisy on 5...9 %	Vähintään kerran kuukaudessa vaatimusehdon täyttyessä	–	–
Iskunkestävyys	LA_{30}	1/15 000 t	Ilmoitettu arvo	Kaksi kertaa vuodessa	Ilmoitettu arvo	Kaksi kertaa vuodessa
Murtopintaiset rakeet (SrM)	$C_{50/30}$	Kerran kuukaudessa	–	–	–	–
Litteysluku	FI_{50}	Kerran kuukaudessa	–	–	–	–
Kiintotiheys	Ilmoitettu arvo	Kerran vuodessa	Ilmoitettu arvo	Kerran vuodessa	Ilmoitettu arvo	Kerran vuodessa
Vedenimeytyminen	$WA_{24}1$	Kerran vuodessa	$WA_{24}1$	Kerran vuodessa	$WA_{24}1$	Kerran vuodessa
Petrografinen koostumus	Ilmoitettu arvo	Kerran kolmessa vuodessa	Ilmoitettu arvo	Kerran kolmessa vuodessa	Ilmoitettu arvo	Kerran kolmessa vuodessa
Jäädytys-sulatuskestävyys	Jos WA_{24} > 1%, ≤ 4% (SFS-EN 1367-6)	Tarvittaessa	Jos WA_{24} > 1%, ≤ 4% (SFS-EN 1367-6)	Tarvittaessa	Jos WA_{24} > 1%, ≤ 4% (SFS-EN 1367-6)	Tarvittaessa
Rikkipitoisuus **)	S_1	Tarvittaessa kerran kolmessa vuodessa	S_1	Tarvittaessa kerran kolmessa vuodessa	S_1	Tarvittaessa kerran kolmessa vuodessa

*) CE-merkinnässä luokat ilmoitetaan standardin *SFS-EN 13242* mukaisesti, rakeisuusluokat G_A80 (jakava) ja G_A85 (kantava).

**) Määritystarve petrografisen tutkimuksen perusteella

Kuonatuotteet eri rakennekerroksissa, InfraRYL

Liite T1. Vaatimukset masuunikuonille, BOS-teräskuonaseoksille ja ferrokromikuonalle sekä suositukset testaustiheydeksi.

Ominaisuus	Suodatinkerros		Jakava		Kantava	
	Vaatimus	Testaustiheys	Vaatimus	Testaustiheys	Vaatimus	Testaustiheys
Raekokojakautuma	G_F 80 (SFS-EN 13242)	Kerran viikossa	G_A 80 tai G_F 80[1)] (SFS-EN 13242)	Kerran viikossa	G_A 85 (SFS-EN 13242)	Kerran viikossa tai 1/5000 t
Hienoainespitoisuus	f_7	Kerran viikossa	f_7	Kerran viikossa	f_7	Kerran viikossa tai 1/5000 t
Iskunkestävyys	—	—	Ilmoitettu arvo	Kahdesti vuodessa	Ilmoitettu arvo	Kahdesti vuodessa
Litteysluku	—	—	—	—	FI_{50}	Kerran kuukaudessa
Kiintotiheys	Ilmoitettu arvo	Kerran vuodessa	Ilmoitettu arvo	Kerran vuodessa	Ilmoitettu arvo	Kerran vuodessa
Vedenimeytyminen[(2]	—	—	—	—	—	—
Jäädytys-sulatuskestä-vyys	F_{NR}	—	F_{NR}	—	F_{NR}	—
Happoliukoiset sulfaatit	AS_{NR}	—	AS_{NR}	—	AS_{NR}	—
Kokonaisrikki	S_1 tai S_2[(3] tai $S_{ilmoitettu}$[(4]	Kerran vuodessa	S_1 tai S_2[(3] tai $S_{ilmoitettu}$[(4]	Kerran vuodessa	S_1 tai S_2[(3] tai $S_{ilmoitettu}$[(4]	Kerran vuodessa

Huomioitavaa

[1)] Granuloidulle masuunihiekalle käytettävä luokka

[(2] Vedenimeytymistesti ei sovellu masuunikuonatuotteiden jäädytys-sulatuskestävyyden esivalintatestiksi

[(3] Ilmajäähdytetty masuunikuona

[(4] Granuloitu masuunikuona

Ilmajäähdytetty ja granuloitu masuunikuona sekä BOS-teräskuonaseokset ovat sitoutuvia materiaaleja. Rakennusvaiheessa (ennen materiaalin lujittumista) materiaalikerroksen päällä on käytettävä murskekerrosta. Materiaalin ominaisuuksista johtuen luonnonkiviaineksia vastaavan tiiveyssuhteen saavuttaminen voi olla hankalaa. Tämän ei ole havaittu heikentävän rakenteen ominaisuuksia. Kantavuusmittausten tekemistä suositellaan vasta 2...3 kk:n kuluttua rakentamisesta. Vaatimukset esitetään kuten luonnonkiviaineksilla. Lujittuminen on otettava huomioon valmiiseen rakenteeseen jäävien putkistojen osalta. Materiaalit eristävät lämpöä luonnon kiviaineksia paremmin. Materiaalit ovat myös kevyempiä kuin vastaavat luonnonkiviainekset. Tarkemmat ohjeet on esitetty materiaalivalmistajien suunnitteluohjeissa.

Betonimurske kantavassa ja jakavassa kerroksessa, InfraRYL

Liite:T18. Sitomattoman kantavan kerroksen ja jakavan kerroksen vaatimukset betonimurskeelle sekä suositukset testaustiheydeksi

OMINAISUUS	SITOMATON KANTAVA KERROS		JAKAVA KERROS, KUN D≤ 90 mm		JAKAVA KERROS, KUN D > 90 mm	
	Vaatimus	Testaustiheys	Vaatimus	Testaustiheys	Vaatimus	Testaustiheys
Betonimurskeen luokka [1]	BeM I tai BeM II		BeM I – BeM III		BeM I – BeM III	
Raekokojakautuma	Luokka G_O tai G_A (SFS-EN 13285)	Kerran viikossa tai 1/5000	Murske luokka G_P tai G_C (SFS-EN 13285)	Vähintään kerran viikossa tai 1/5000 t	Taulukko 21210:T3	kerran viikossa
Hienoainespitoisuus	f_7	Kerran viikossa tai 1/5000	f_7	Kerran viikossa tai 1/5000	f_7	Kerran viikossa
Iskunkestävyys	Ilmoitettu arvo	Kaksi kertaa vuodessa	-	-	-	-
Litteysluku	FI_{50}	Kerran kuukaudessa	-	-	-	-
Kiintotiheys	Ilmoitettu arvo	Kerran kuukaudessa	Ilmoitettu arvo	Kerran kuukaudessa	Ilmoitettu arvo	Kerran kuukaudessa
Vedenimeytyminen[2]	WA_{NR}	-	WA_{NR}	-	WA_{NR}	-
Uusiokiviaineksen luokittelu [3]	Rc_{90} Rb_{10-} X_{1-} FL_{5-}	Kerran kuukaudessa	$Rcug_{90}$ Rb_{10-} X_{1-} FL_{10-}	Kerran kuukaudessa	$Rcug_{90}$ Rb_{10-} X_{1-} FL_{10-}	Kerran kuukaudessa
Jäädytys-sulatuskestävyys [4]	-	-	-	-	-	-
Puristuslujuus 28d	BeM I 1,2 MPa BeM II 0,8 MPa	1/10000 tn tai 1/murskauserä[5]	BeM I 1,2 MPa BeM II 0,8 MPa BeM III -	Kerran murskauserästä	BeM I 1,2 MPa BeM II 0,8 MPa BeM III -	Kerran murskauserästä
Huomioitavaa	Betonimurske on osittain sitoutuva materiaali. Rakenteeseen tiivistetty ja sitoutunut betonimurske on kuitenkin aukikaivettavissa ja materiaali voidaan myös tiivistää uudelleen takaisin kaivantoihin. Betonimurske ei sovellu käytettäväksi vedenpinnan alaisissa täytöissä tai rakenteissa, koska hienoaines saattaa liettyä ja kulkeutua veden mukana. Betonimurskeen pH on luonnonkiviainesta korkeampi. Pinnoittamattomien alumiinisten vesihuollon laitteiden suoraa kontaktia betonimurskeen kanssa on vältettävä. Tarkemmat ohjeet on esitetty materiaalivalmistajien suunnitteluohjeissa.					

[1] *BeM I = raaka-aine peräisin betoniteollisuudesta*
BeM II-BeM IV = raaka-aine peräisin betoniteollisuudesta ja/tai purkutyömailta
[2] *Vedenimeytymistesti ei sovellu betonimurskeiden laadunarviointiin*
[3] *Standardin prEN 933-11 mukaiset osa-aineluokat*
Rc = betoni, betonituotteet, laasti, betoniharkot
Rb = poltetut tiilet, kalkkihiekkatiilet ja –harkot, kellumaton vaahtobetoni
Rcug = yhteismäärä Rc + Ru + Rg (Ru = sitomaton kiviaines, luonnonkivi, hydraulisesti sidottu kiviaines, Rg = lasi)
X_1 = epäpuhtauksien määrä (savi, maa-aines, metallit, puu, muovi, kumi, kipsilaasti)
FL = kelluvat ainekset, kuten solumuovi, mineraalivilla yms
[4] *Jäädytys-sulatustesti ei sovellu betonimurskeen laadunarviointiin. Betonimurskeen pakkasenkestävyys perustuu routimattomuuteen ja puristuslujuuden kehitykseen (valmistajan osoitettava vaatimusten täyttyminen).*
[5] *Testaustiheys 1/murskauserä on riittävä tiheys betonimurskeiden ammattimaisessa valmistamisessa (käsittelykeskukset, joilla on lupa ammattimaiseen jätteen käsittelyyn), muutoin noudatetaan sitä, kumpi ensimmäiseksi täyttyy. Mikäli jätteen laadussa tapahtuu muutoksia, tehdään aina uusi koesarja. Murskauserällä tarkoitetaan betonimurskeerää, joka on tuotettu samalla kertaa olosuhteissa, joita voidaan pitää yhdenmukaisina.*

Luonnonmateriaalien luokittelusta poikkeavia testausmenetelmiä

- Kansallinen menetelmä
  - PANK 9003 Betonimurskeen puristuslujuuden määrittäminen
- SFS-EN 933-11 Karkean uusiokiviaineksen osa-aineiden luokittelutesti (luokat ilmoitetaan suoritustasoilmoituksessa ja CE-merkissä)

Taulukko 2 Karkeiden uusiokiviainesten kellumattomat osa-aineet

Osa-aine	Kuvaus
Rc	Betoni, betonituotteet, laasti betoniharkot
Ru	Sitomaton kiviaines, luonnonkivi hydraulisesti sidottu kiviaines
Rb	poltetut tiilet (esim. tiilet ja tiililaatat) kalkkihiekkatiilet ja -harkot kellumaton vaahtobetoni
Ra	Bitumiset materiaalit
Rg	Lasi
X	Muut: koheesiomaa (esim. savi ja maa-aines) sekalaiset metallit (rautametallit ja rautayhdisteitä sisältämättömät metallit) kellumaton puu, muovi ja kumi kipsilaasti

Lisäksi määritetään
Kelluvat materiaalit: FL

Asfalttirouhe – asfalttimassan raaka-aine

Asfalttirouheeksi nimitetään murskattua tai jyrsittyä asfalttia, jota voidaan käyttää asfalttimassan raaka-aineena. Asfalttirouheen tulee olla standardin SFS-EN 13108-8 mukaista. Asfalttirouheen epäpuhtausluokan (SFS-EN 12697-42) on oltava F1. Asfalttirouheesta ilmoitettavat tiedot ja testattavat ominaisuudet on esitetty taulukossa 51.

Asfalttirouheen kiviaineksen ylempi seulakoko D_{RA} ei saa ylittää valmistettavan massan ylempää seulakokoa (D). Jos kohteen kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydelle on asetettu luokkavaatimus A_N7 tai A_N10, kiviaineksen lujuus on tutkittava asfalttirouheen rakeisuuden laadunvalvontanäytteistä kootusta edustavasta näytteestä. Tulosten keskiarvon (vähintään kaksi tulosta) on täytettävä valitun kuulamyllyluokan vaatimus.

Asfalttirouheen sideaineen ominaisuudet tulee ottaa huomioon valmistettavan massan lisäsideainetta valittaessa. Valmistettavan massan sideaineseoksen on oltava tilaajan vaatiman bitumiluokan mukaista. Asfalttirouheen sideainetta voidaan pehmentää erilaisilla elvyttimillä, jotka yleensä ovat pehmeitä bitumeja. Valmistettavan massan sideaineen tunkeuma, pehmenemispiste ja viskositeetti lasketaan kaavojen 3-5 mukaisesti (laskentaesimerkkejä on esitetty myös standardin SFS-EN 13108-1 liitteessä A).

Kuva: Lämsä (2005)

Uusiomateriaalit asfaltissa

12 Uusiomateriaalit

Asfalttimassassa käytettäviä uusiomateriaaleja voivat olla erilaiset kuonatuotteet (teräskuona, ferrokromikuona, masuunikuona), bitumia sisältävät uusiomateriaalit kuten bitumikaterouhe tai filler-rikiviainesta korvaavat hienorakeiset uusiotuotteet.

Käytettävien uusiomateriaalien on teknisiltä ominaisuuksiltaan ja kelpoisuudeltaan sovelluttava käyttökohteeseen ja oltava riittävän tasalaatuisia. Uusiomateriaalien pitkäaikaiskestävyys ja teknin-nen kelpoisuus osoitetaan käyttöhistorialla (esim. toteutetut kohteet) tai pitkäaikaiskestävyyteen liittyviä riskejä pienennetään ennakolta tehtävillä laboratorio- ja kenttäkokeilla sekä hankkimalla kokemusta käytöstä aluksi pienemmillä kokeilukohteilla. Uusiomateriaalien, joiden käyttöhistorialla ei ole osoitettu riittävää teknistä kelpoisuutta, käyttö edellyttää aina materiaali- tai rakennekohtai-sia ennakkokokeita.

Uusiomateriaalien käytössä on edellisen lisäksi vielä erityisesti otettava huomioon asfalttimassan korkeasta lämpötilasta johtuvat työturvallisuuteen vaikuttavat seikat sekä asfalttipäällysteen tuleva uudelleenkäyttö. Uusiomateriaalien tulee täyttää lisäksi lainsäädännössä tai ympäristöluvassa ase-tetut ympäristökelpoisuusehdot sekä käyttökohteen vaatimat tekniset kelpoisuusehdot.

Uusiomateriaalien CE-merkintä

- CE-merkintä määräytyy käyttökohteen ja ko. harmonisoidun standardin soveltamisalan mukaan
  - Esimerkiksi tien kantavassa tai jakavassa kerroksessa käytettävä betonimurske, jonka D≤ 90 mm on CE-merkittävä standardin SFS-EN 13242 mukaan
- Asfalttirouhetta (käyttö asfalttimassassa) ei voi CE-merkitä, koska sen standardi SFS-EN 13108-8 ei ole harmonisoitu
- Asfaltin fillerikiviaineksena käytettävä uusiomateriaali esim. lentotuhka CE-merkitään standardin SFS-EN 13403 mukaan
- Mahdollinen sideainekäyttö vastaavan tuotestandardin mukaan

Uusiomateriaalirakenteet

Väylien rakenteellinen mitoitus - osatekijät

- Rakenteelle soveltuvan perustamistavan valinta
  - Pohjamaan kestävyys on stabiliteetin kannalta riittävä
  - Painumat/painumaerot pysyvät hyväksyttävissä olevissa rajoissa
- Routakestävyyden mitoittaminen
- Kuormituskestävyyden mitoittaminen
  - Odemarkin menetelmään perustuva nk. kantavuusmitoitus
  - Analyyttiset/mekanistiset mitoitusmenettelyt
- Rakenteellinen yhteensopivuus – erityisesti epätavanomaisia materiaaleja ja rakenneratkaisuja käytettäessä

Vaihtoehtoiset materiaalit väylärakenteiden perustamisen näkökulmasta

- Monet vaihtoehtoisista maarakennusmateriaaleista ovat tavanomaisiin kiviaineksiin verrattuna:
  - tiheydeltään/tilavuuspainoltaan kevyempiä
  - lämmöneristyskyvyltään parempia

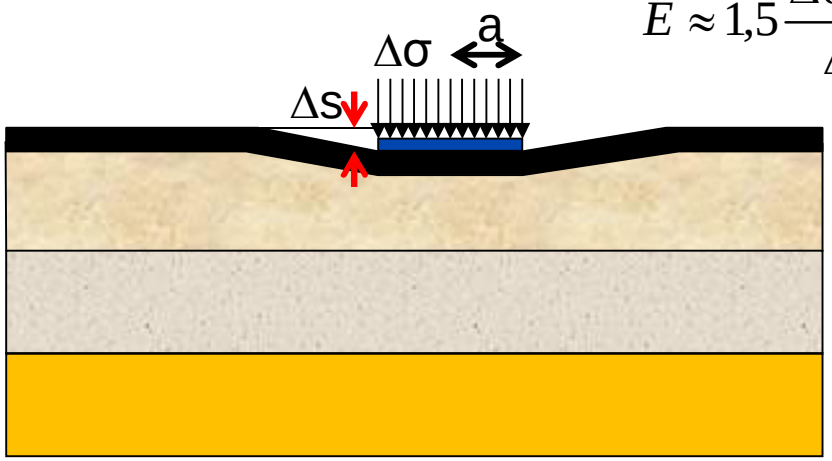
- Tämä voi usein mahdollistaa väylärakenteiden toteuttamisen tavanomaista ohuempina ja kevyempinä

- → pienempi hienorakeisen pohjamaan pitkän aikavälin tiivistymisestä aiheutuva konsolidaatiopainuma

- → parempi kestävyys pohjamaan murtumista vastaan

Tie- ja katurakenteiden kuormituskestävyys-mitoitus - nk. kantavuusmitoituksen periaate

$$E \approx 1{,}5 \frac{\Delta\sigma \cdot a}{\Delta s}$$



Kantavuusmitoituksessa tavoitteena on tietty rakenteen pinnalta mitattavissa oleva **rakenteen kokonaisjäykkyys E** (tavoitekantavuus); tavoitearvo riippuu tien mitoitusliikennemäärästä / katuluokasta

Tyypillisiä E-moduulin arvoja Odemarkin kantavuusmitoituksessa

Rakennekerros	E-moduuli (MPa)
Asfalttipäällyste	2500
Sitomaton kantava kerros	200 ... 280
Jakava kerros	100 ... 280
Suodatinkerros	35 ... 100
Alusrakenne/pohjamaa	10 ... 280

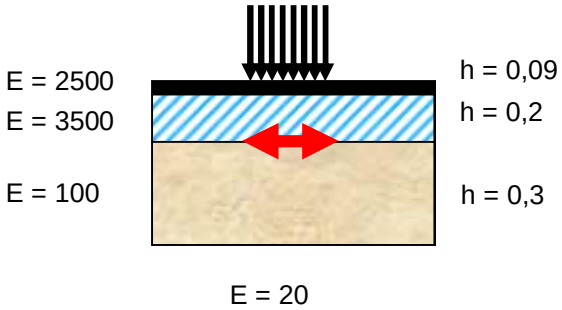
Yllä mainituissa vaihtelurajoissa sitomattomien materiaalien **E-moduuli (jäykkyys) arvioidaan lähinnä sen rakeisuusjakautuman perusteella**.

Todellisuudessa materiaalin jäykkyys ei ole vakio eikä riipu vain sen rakeisuudesta, vaan siihen vaikuttavat oleellisesti muun muassa tarkasteltava jännitys- ja muodonmuutostaso, tiiviys, kosteus-olosuhteet sekä alla olevan rakenteen jäykkyys (kantavuus).

Kantavuusmitoitukseen sisäänrakennettu ongelma: rakenteen jäykkyys ~ sen kestävyys

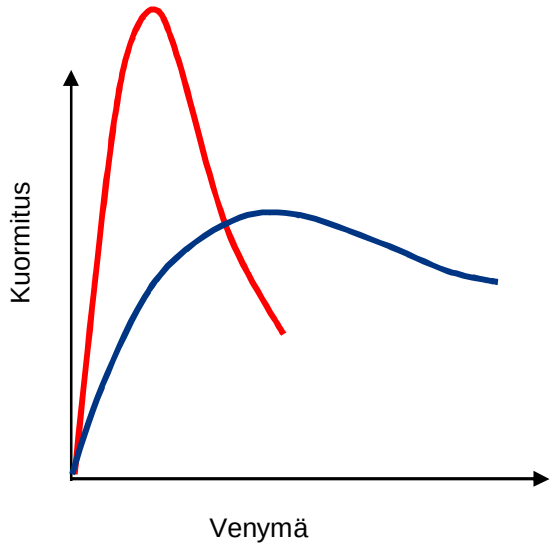
- Kantavuusmitoituksen perusteella oheisen kuvan mukaisen rakenne ylittää mitoituksen tavoitearvon huomattavasti.
- Kantavan kerroksen alapinnan tasolla rakenteessa on tässä tapauksessa kuitenkin suuri paikallinen jäykkyysero.
- Kerrosrakennemallilla arvioituna vetojännityksen suuruus kantavan kerroksen alapinnassa on > 800 kPa

Pyöräkuorma 50 kN
Pintapaine 800 kPa
Kuormitusalan säde 0,141 m



Optimaalinen sidottu/sitoutuva materiaali

- Odemarkin kaavaan perustuvan kantavuusmitoituksen vahva asema on johtanut siihen, että huomio on jossain määrin liikaa kohdistunut materiaalien suureen jäykkyyteen/puristuslujuuteen (punainen käyrä)
- Rakenteiden toimivuuden kannalta edullisempi yhdistelmä olisi kuitenkin sitkeä materiaali, jonka jäykkyys (samalla käytännössä myös lujuus) olisi alempi (sininen käyrä)



Tavanomaisten ja uusiomateriaalien erot väylärakenteiden kuormituskestävyyden mitoituksessa

- Monet uusiomateriaalien käyttökohteet liittyvät rakenteisiin, joiden toteuttamisesta tavanomaisilla/perinteisillä maarakennusmateriaaleilla on pitkäaikainen kokemus

- Perinteiset tavat rakenteiden tekemiseen ja mitoittamiseen ovat ’kalibroituneet’ rakenteiden toiminnasta vuosikymmenten aikana tehtyihin empiirisiin havaintoihin tukeutuen

- Korvattaessa joku tai jotkut perinteisen rakenneratkaisun osista uusiomateriaalilla on tärkeä muistaa, että:
  - **Koko rakenteen mekaaninen toimintatapa voi tällöin muuttua**
  - **Koko rakenteen käyttäytyminen ei ole sen osissa käytettyjen materiaalien ominaisuuksien summa tai keskiarvo**

Uusiomateriaalien rakenteelliseen yhteensopivuuteen liittyviä näkökohtia

- **Rakennekerrosten väliset huomattavat jäykkyyserot** raskaitten liikkuvien kuormien (liikenne) rasittamissa rakenteissa

- **Jäykkien/hauraitten materiaalien muodonmuutoskestävyys** erityisesti painuvalla tai routivalla pohjamaalla

- Vesipitoisissa massoissa **mahdollisesti pitkän ajan kuluessa tapahtuva kokoonpuristuma** ja sen vaikutukset

Yhteenveto

- Nykyiset InfraRYL- laatuvaatimukset sellaisille materiaaleille, jotka kuitenkin melko lähellä perinteisiä kiviaineksia
- Uusiomateriaaleja enemmän tarjolla - käyttö ei kuitenkaan vielä kovinkaan yleistä
- Osattava vaatia oikeat ominaisuudet ja määritykset
- Mitä vaatimuksia tulisi asettaa uusille materiaaleille?
- CE-merkintä käyttökohteen mukaan
- Vaihtoehtoisilla maarakennusmateriaaleilla on monia hyviä teknisiä ominaisuuksia (mm. keveys ja lämmöneristävyys) ja siksi lukuisia soveltuvia käyttökohteita infrarakenteissa
- On kuitenkin syytä tiedostaa, että tietyissä tilanteissa vaihtoehtoisia materiaaleja hyödyntävät maarakenteet käyttäytyvät mekaanisesti eri tavoin kuin tavanomaisista materiaaleista tehdyt rakenteet
- Tie- ja kenttärakenteissa erot liittyvät ennen muuta sidottujen/sitoutuvien materiaalien suurempaan jäykkyyteen ja mahdollisesti heikompaan kestävyyteen pakkosiirtymien alaisena