

artículo

SUELO ESTRUCTURAL

Albert Bestard.
AB Paisatgistes
www.abpaisatgistes.cat



Aproximación al problema.

Los suelos urbanos tal como son

Los suelos urbanos son el resultado de las modificaciones a lo largo de su historia. No son fértiles, profundos, esponjosos ni bien drenados. En la mayoría de situaciones, habrán sido compactados para alojar construcciones, instalaciones o pavimentos.

Las ciudades son lugares dinámicos: Un lugar puede acumular excavaciones, terraplenados, compactaciones, nuevas excavaciones, aperturas de zanjas, etc. A menudo estas actuaciones son parciales, con lo que las propiedades del subsuelo son variables dentro de una misma parcela. Lo más probable al actuar sobre suelos urbanos consolidados es que ofrezcan un mosaico de materiales, tanto en planta como en sección.

Las cualidades agronómicas más afectadas son la aireación y la circulación de agua. Desaparece por completo el horizonte orgánico y la fertilidad como tal cae en picado, por lo que en realidad no cabe hablar de suelos en el sentido agronómico del término.

Las necesidades de las raíces de los árboles

Cualquier observador sensible habrá detectado los síntomas del problema. Es una batalla entre las infraestructuras

urbanas y los árboles: o bien gana el árbol (levantamiento de pavimentos, obturación de redes de saneamiento...) o bien gana la infraestructura (falta de vigor del árbol, que puede manifestarse mediante múltiples síntomas bióticos).

Es común que los técnicos implicados en un proyecto de urbanización intenten proporcionar buenas condiciones a los árboles. Suelen dedicar recursos a redes de riego, anclaje y buena tierra vegetal en el hoyo de plantación, lo que redundará en mejores resultados para los primeros años de vida de los árboles.

A largo plazo, en cambio, cualquier técnico que haya observado excavaciones en suelos urbanos podrá constatar que los árboles urbanos maduros concentran las raíces en zonas intersticiales de la ciudad: juntas entre el pavimento y su base, capas superficiales de terreno, pozos y arquetas de la red de saneamiento, relleno de zanjas alrededor de instalaciones o detrás de un muro de contención... Porque es en los encuentros entre materiales donde se combina la presencia de aire con condensaciones puntuales de humedad y una cierta debilidad estructural que permite la entrada física de las raíces. Esos espacios intersticiales son el hábitat preferido de las raíces.

Es un mito decir que las raíces de los árboles "huelan el agua". Las raíces, como los propios árboles, son aventureras oportunistas: lanzan pequeñas raíces exploradoras, muy finas, que si por azar encuentran condiciones favorables de aireación y humedad en algún resquicio o fractura de la trama urbana, se consolidan. Si las condiciones que encuentran no son favorables, mueren en pocas horas. Cuando una raíz fina persiste, crece en grosor y a su vez lanza nuevas exploradoras, algunas de las cuales posiblemente tengan éxito. Y así sucesivamente. Al cabo del tiempo, el árbol habrá desarrollado un sistema radicular allá donde el equilibrio entre humedad y aireación sea favorable.

De ahí que la clásica pregunta "¿Qué especie de árbol puedo escoger, cuyas raíces no levanten pavimentos?" es un planteamiento erróneo, defensivo, porque sitúa la solución del síntoma como prioridad ante la solución del problema de fondo. Efectivamente, hay árboles suficientemente "mansos" como para morir lentamente en condiciones anaeróbicas. ¿Es esa lenta agonía arborícola nuestra aspiración como proyectistas del paisaje urbano?

Nos parece mucho más estimulante la pregunta "¿Qué base puedo colocar bajo



article

STRUCTURAL SOIL

An approach to the problem. Urban soils just as they are

Urban soils are the result of transformations that have taken place throughout history. They are not fertile, deep, spongy nor well-drained. In most situations, they will have been compacted to make way for constructions, installations or paving.

Cities are dynamic places which can accumulate excavations, fillings, compacting, more excavations, the digging of ditches, etc. Often these actions are only partial, so a subsoil can have varying properties across the same plot of land. When we work with consolidated urban soils, they usually contain a mosaic of different materials, from top to bottom and side to side.

The most seriously affected agricultural qualities are aeration and water circulation. The organic layer comple-

tely disappears and fertility plummets, so in fact we should not even refer to them as soils at all, at least in the agricultural sense of the word.

The needs of tree roots

Any observer with some degree of sensitivity will have noticed the symptoms of the problem. It is a battle between urban infrastructure and trees: either the tree wins (paving is broken up, sanitation systems blocked, etc) or infrastructure wins (the tree loses vitality, which can be seen in many basic symptoms).

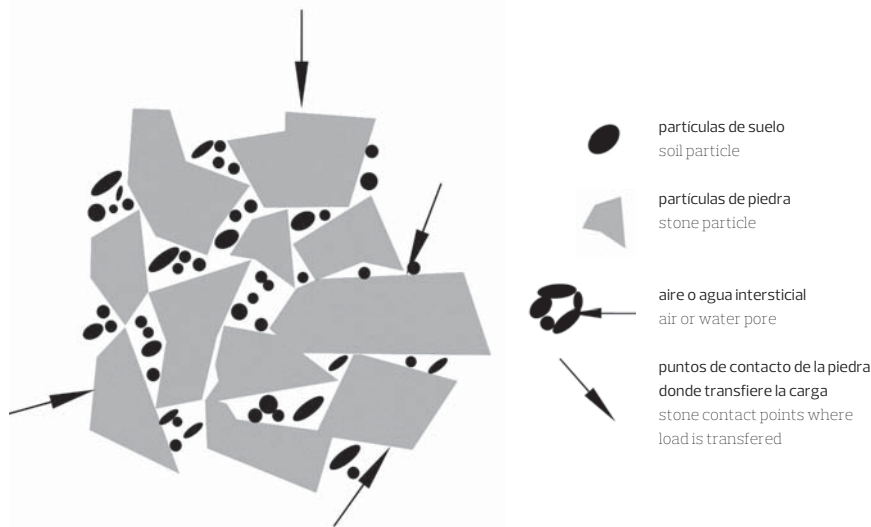
It is common for those involved in an urban development project to aim to provide good conditions for trees to live in. They provide the resources for irrigation systems, anchoring and the use of good vegetal soil in the planting hole, which leads to better results in the first few years of a tree's life.

In the longer term, though, any professional who has witnessed excavations in urban soils will know that older urban trees concentrate their roots in the city's gaps: in the joints between the paving and their base, in surface layers of earth, in wells and tanks in the sanitation system, in the ditches around installations

or behind retaining walls... Because where materials meet, the presence of air combines with spots of humidity and condensation, and a certain degree of structural weakness will allow the physical entrance of roots. Gaps like these are their preferred habitat.

It is wrong to say that the roots of trees "smell the water". Roots, like trees themselves, are opportunistic adventurers: they send forth small, very thin exploratory roots, which become established if they happen to find the right conditions of aeration and humidity in some hidden corner or fracture in the urban structure. If the conditions are not right, they die in a few hours. When a thin root does survive, though, it becomes thicker and sends out little exploratory roots of its own, some of which may also succeed. And so it continues. With time, and with the right balance between humidity and aeration, the tree will have developed a root system.

So the age-old question "What species of tree can I choose whose roots won't break up the paving?" is erroneous, defensive: it prioritises the solution of the symptom over the solution of the underlying problem. It is true that there are trees which are "gentle" enough and



El entramado de piedra soporta carga mientras la partícula de suelo rellena parcialmente los huecos del entramado. The stone lattice bears loading while the soil particle partially fills the lattice voids. Fuente Source: Cornell University

el pavimento, que estimule el crecimiento en profundidad de las raíces de los árboles, sin interferir además en las instalaciones?" Como la mayoría de preguntas interesantes, tiene diversas respuestas. Este artículo trata sobre una de ellas.

El suelo estructural de gravas. La composición y la puesta en obra

El suelo estructural es una mezcla de grava y tierra arcillosa. Se suelen añadir también polímeros retenedores de agua para facilitar el proceso de mezcla y obtener un producto más homogéneo.

La proporción de la mezcla debe cumplir que los espacios libres entre las piezas de grava no lleguen a llenarse completamente con la tierra y queden suficientemente vacíos. Eso garantiza que la grava mantenga sus propiedades estructurales así como su capacidad de aireación y drenaje.

Es muy importante medir bien la porosidad de la grava para definir la composición de la mezcla específicamente para esa grava en concreto. No valen fórmulas preconcebidas: demasiada tierra y la base se hunde al compactar. Poca tierra y los árboles se secan.

Como todas las bases, su extendido se realiza por capas compactadas una a una,

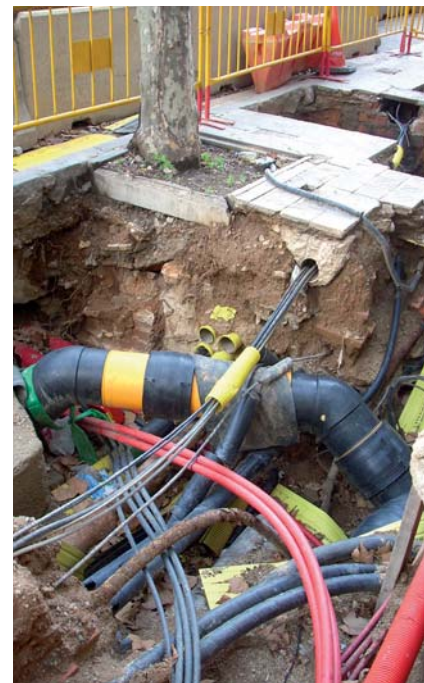
mojándolas a medida que se extienden y compactan para evitar que se formen bolsas de tierra que podrían provocar plasticidad. Es importante que al compactar la mezcla e ir regando, la tierra ocupe los intersticios de la grava. Los polímeros hidrorretenedores, por sus propiedades cohesivas, ayudan a que la mezcla se mantenga estable.

Se suele usar grava gruesa, tipo balasto de vías de tren, excepto en la capa superior de remate donde el uso de una grava más fina y sin mezcla de tierras, permite perfilar de una forma más precisa y sirve como sub-base de cualquier base o pavimento. El control de calidad de la compactación sigue el método de las placas de carga.

“Eppur si muove” (o porqué funciona)

Acostumbrados como estamos a especificar tierras vegetales de alto contenido en materia orgánica y fertilidad, la idea de plantar árboles en un pozo de gravas puede provocar una cierta inquietud. Veamos las dos funciones que debe cumplir una mezcla de este tipo:

Función estructural: necesitamos una base estable que resulte indeformable e inalterable a la acción de la humedad ambiental y las circulaciones de agua. Es



evidente que una base de gravas gruesa, si está bien contenida por los laterales y ha sido correctamente instalada en obra cumple estas características con creces.

Función biótica: Hemos visto que las raíces buscan un ambiente equilibrado entre la presencia de oxígeno y de agua en los intersticios constructivos de la ciudad. De hecho, el ambiente ideal es aquel donde haya aire totalmente saturado de vapor de agua. El suelo estructural replica esas condiciones.

Particularidades agronómicas

La técnica del suelo estructural ha sido desarrollada en países de pluviometría más uniforme que la nuestra y su adaptación a climas mediterráneos exige atención. Algunos autores proponen compensar este hecho sobredimensionando el volumen de suelo dedicado a cada árbol.

El suelo estructural es un medio con una tasa de infiltración altísima: visualicémoslo imaginando qué ocurre si intentamos inundar una vía de tren echando agua sobre las gravas. La capacidad de almacenamiento de agua es baja y por lo tanto, las dosis y el tiempo discurrido entre riegos, también. El stress hídrico inicial se acentúa, pero se compensa con la mayor tasa de crecimiento radicular.



Fuente Source: Orjan Stol

which will die slowly in anaerobic conditions. But is this slow death of trees really what we are aspiring to as urban landscape project designers?

We think a much more stimulating question would be “What base can I place beneath the paving which will stimulate the deep growth of tree roots, without also interfering with the city’s installations?” Like most interesting questions, it has many different answers. This article is about one of them.

Structural soil with gravel. Composition and application to construction

Structural soil is a mixture of gravel and clay soil, to which water-retaining polymers are usually added to facilitate the mixing process and create a more homogenous product.

The proportions for the mixture must be such that the free spaces between the pieces of gravel are not completely filled with the earth and remain sufficiently empty. This will guarantee that the gravel retains its structural properties as well as its capacity for aeration and drainage.

It is very important to measure the porosity of the gravel well in order to

define the composition of the mixture for each specific type of gravel. Pre-established formulas will not work: too much earth and the base will settle when compacted. Too little earth and the trees will dry out.

Like all bases, it is applied in compacted layers, one by one, wetting them as they are applied and compacted to prevent the formation of pockets of earth which might cause plasticity. It is important to ensure that, when the mixture is compacted and then watered, the earth should occupy the gaps in the gravel. The hydro-retentive polymers, with their cohesive properties, help to stabilise the mixture.

The type of gravel used is normally large, of the ballast type used for railway tracks, except for the upper, finishing layer, for which finer gravel (not mixed with earth) is used as it can be shaped more precisely and also serves as an under-base for any base or paving. Quality control in compacting follows the load plate method.

“Eppur si muove” (or why it works)

As we are so accustomed to specifying topsoils with a high level of organic matter and fertility, the idea of planting

trees in holes in gravel might seem a little disconcerting. These are the two functions that a mixture of this type must fulfil:

Structural function: we need a stable base which will not be deformed or altered by atmospheric humidity and the circulation of water. It is obvious that a base of large gravel, as long as it is well retained at the sides and has been correctly applied, far exceeds requirements in this regard.

Biotic function: we have seen that roots look for a balanced environment with the right combination of oxygen and water in the gaps between the city’s constructions. In fact, the ideal environment is one in which there is air that is totally saturated with water vapour. Structural soil provides these conditions.

Agricultural particularities

The structural soil technique has been developed in countries with more regular rainfall patterns than ours, so its adaptation to Mediterranean climates requires some attention. Some have suggested that this problem could be solved by increasing the volume of soil used for each tree.



En una experiencia comparativa con *Celtis australis* en Sabadell (Barcelona) el año 2009, se obtuvieron mayores crecimientos en el primer año en los ejemplares plantados sobre suelo estructural que los ejemplares vecinos plantados sobre el subsuelo arcilloso "autóctono", a igualdad de otros factores y en unas evidentes condiciones compartidas de stress hídrico.

La plantación se realiza excavando el hoyo con medios mecánicos, por la dureza del material, y rellenando el hoyo con tierra mejorada, sin grava.

Posibilidades constructivas

Desde un punto de vista constructivo, sobre una mezcla de suelo estructural se pueden instalar bases de hormigón, de zahorras, de gravilla (para piezas prefabricadas), o directamente un asfalto.

El hecho de tratarse de una base tan porosa le da grandes posibilidades de combinación con pavimentos permeables (que a menudo dejan de serlo cuando la base que los soporta no lo es). Hay experiencias contrastadas de uso de asfaltos porosos en aparcamientos sobre suelo estructural, donde ha llegado a obviarse la instalación de imbornales, dadas las altas tasas de infiltración conseguidas. En estas condiciones, el agua

de lluvia pasa a través del pavimento y se aloja en la base, que lo almacena. Llegado un determinado nivel de saturación, lo desagua a la red de pluviales.

La integración con la red de pluviales — más allá del proyecto

En este punto los beneficios de esta técnica trascienden el ámbito del proyecto. Es de sobra conocido el problema de la concentración de los flujos de pluviales, debida a la impermeabilización de espacios urbanos. Los caudales muestran unas puntas difíciles de acomodar en unas infraestructuras limitadas.

Dirigir las aguas pluviales al suelo estructural bajo pavimentos urbanos permite regular los flujos de aguas pluviales a escala local: Si consideramos que un árbol mediano dispondrá de promedio de unos 40 m³ de volumen explorable de suelo y diseñamos la circulación de aguas de forma que puedan ocupar hasta un 25% de ese volumen, obtendremos un volumen disponible de 10 m³ de agua de lluvia por árbol, que el sistema puede alojar antes de evacuarlos hacia los colectores. Estamos hablando, por ejemplo, de dirigir al subsuelo los primeros 25 mm de lluvia para una cuenca de 400 m². El ahorro potencial en dimensionado de colectores es evidente.

Balance y conclusiones.

Grandes números para grandes árboles

Los bebés no vienen de París y las raíces de un árbol no viven dentro de los límites del alcorque. Distintos autores sitúan la necesidad de espacio radical alrededor de los 80-100 m³ para grandes ejemplares y de 40-60 m³ para especies medianas. ¡Eso es mucho volumen!

Si además la técnica del suelo estructural ofrece un espacio útil para las raíces de tan solo el 40%, veremos que los volúmenes teóricos constructivos se disparan hasta los 250 m³ y 125 m³ respectivamente. ¿Es eso realista?

En la vida real se suele alcanzar un compromiso en el dimensionado, de forma que el espacio finalmente construido es menor al teóricamente necesario. ¿Cómo reaccionarán estos árboles cuando -en pleno crecimiento juvenil o adulto- agoten la zona disponible de suelo estructural? Posiblemente igual como lo hacen en la actualidad los árboles que andan escasos de suelo urbano "clásico": frenando el crecimiento y adaptando el vigor a las condiciones de fertilidad existentes.

Alternativas: Tierra Amsterdam y celdas estructurales

El suelo estructural de gravas no es la



Structural soil is a method with an extremely high level of infiltration: to get an idea of how much, just imagine trying to flood a railway line by pouring water over the gravel. Its water storage capacity is low, so the doses and time between watering should also be. The initial hydric stress will be greater, but this is compensated for by better root growth.

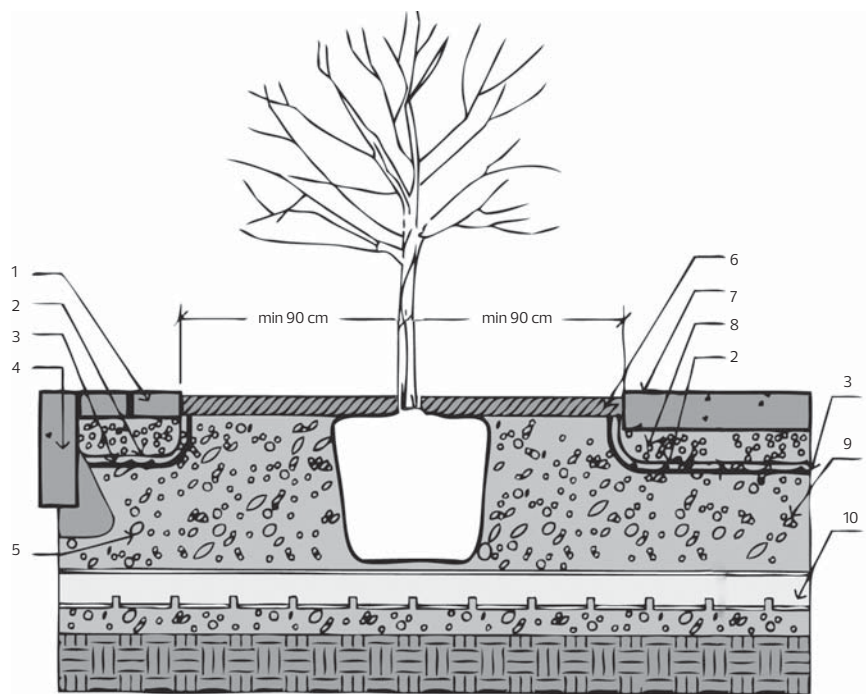
In a comparative experiment with *Celtis australis* in Sabadell (Barcelona) in 2009, there was better growth in the first year of trees planted in structural soil than in neighbouring trees that were planted in the "native" clay soil, with all other factors being equal and clearly in shared conditions of hydric stress.

Planting is carried out by digging a hole using mechanical equipment, due to the hardness of the material, and filling the hole with topsoil, without gravel.

Constructive possibilities

From a constructive point of view, a structural soil mixture can accommodate bases of concrete, graded aggregate, gravel (for precast slabs), or simply asphalt.

The fact that it is such a porous base



- 1 adoquines opcionales
optional pavers
- 2 geotextil
geotextile
- 3 geomalla opcional
optional geogrid
- 4 bordillo
curb

- 5 suelo estructural
structural soil
- 6 mantillo
mulched surface
- 7 10-15 cm pavimento hormigón
10-15 cm concrete pavement
- 8 10-15 cm capa de base
10-15 cm base course

- 9 profundidad variable alcorque min. 60 cm
tree pit depth varies min. 60 cm
- 10 tubo perforado de drenaje
tree pit drainage to storm sewer via
perforated pipe

Fuente Source: Cornell University

gives it great possibilities for combination with permeable paving (which often isn't when the base supporting them isn't). There are proven examples of the use of porous asphalts in car parks on structural soil, where there has been no need to include gullies, so high are the levels of infiltration.

In these conditions, rainwater passes through the paving and remains in the base, which stores it. Once a certain level of saturation has been reached, it drains off into the rainwater collection system.



única solución. En Holanda se desarrolló el material denominado tierra Amsterdam, parecido al suelo estructural pero con arena lavada, que permite alojar encima los clásicos pavimentos de losas de piedra. Es fácil de reparar y coherente con la tradición constructiva en las ciudades de centroeuropa. Esta técnica está limitada al tráfico ligero.

Otra de las soluciones existentes es el de las celdas estructurales, unas "cajas" de plástico modulares que se acoplan entre sí formando una estructura subterránea. Los espacios interiores de estas cajas, comunicados entre sí mediante numerosas aberturas, se rellenan de tierra vegetal. Puesto que la carga la soportan las cajas, la tierra no se compacta y mantiene sus condiciones de fertilidad. Su rendimiento en volumen supera el 95% por lo que es muy adecuada para zonas de escasa disponibilidad de espacio, pero de momento el sobrecoste que representa no suele compensar el menor volumen de ocupación.

¿Dónde tiene sentido aplicar estas técnicas?

En principio, cabe pensar en el suelo estructural en las situaciones donde sea necesario compatibilizar el crecimiento de raíces de árboles con pavimentos aptos para el tráfico medio. Por cuestiones logis-

ticas, la técnica resulta cara en espacios reducidos como aceras de calles consolidadas, ya que para su correcta ejecución hace falta maquinaria, personal a pie y espacio para mezclar y manejar el material.

Resultados, rendimiento y futuro

Las experiencias disponibles hasta la época demuestran que el uso de esta técnica elimina por completo el levantamiento de pavimentos, ya que fuerza a las raíces a profundizar. Por otro lado, el suelo estructural es un medio altamente atractivo para las raíces de los árboles, lo que permite definir la geometría de su crecimiento futuro según las necesidades de proyecto, para generar verdaderas "galerías de raíces" y evitando conflictos con las infraestructuras urbanas. Permite, pues, controlar el crecimiento de las raíces mediante más zanahoria (oxígeno) y menos palo (barreiras, bases impermeables, etc.).

Todas las instalaciones de suelo estructural de las que tiene conocimiento o ha construido el autor se han nutrido por ahora de gravas procedentes de cantera, con el consecuente impacto ambiental. No parecería difícil adaptar el proceso constructivo al reciclaje de residuos de demolición, si se pudiera controlar adecuadamente la granulometría del árido. Ésta es una línea de avance prometedora para esta técnica.

Integration into the rainwater collection system – beyond the project

In this respect the benefits of this technique go beyond the limits of the project itself. The problem of rainwater collection is a familiar one, due to the impermeable nature of urban areas. Water flows have peaks that are very difficult to accommodate in such limited infrastructure.

Directing rainwater towards the structural soil beneath urban paving helps us to regulate flows of rainwater on a local scale: if we consider that a typical tree will have, on average, around 40 m³ of explorable soil volume and we design water circulation so that it will occupy up to 25% of it, that gives us an available volume of 10 m³ of rainwater per tree, which the system can store before it runs off towards the sewers. So we would, for example, direct the first 25 mm of rainwater to the subsoil in a basin of 400 m². The potential savings in the required dimensions of sewers is obvious.

Summary and conclusions.

Big numbers for big trees

Babies aren't carried by storks and the roots of a tree do not live inside a tree pit. Different authors estimate that the space needed for roots is around



80–100 m³ for big trees and 40–60 m³ for medium-sized species. And that's a lot of volume!

So if the structural soil technique provides a useful space for roots of just 40%, the theoretical constructive volumes then reach 250 m³ and 125 m³ respectively. Is this realistic?

In real life a compromise is usually reached with regard to dimensions, so the space that is finally constructed is smaller than what is theoretically necessary. How will these trees react when – in the full growth of their youth or adulthood – they reach the limits of the available area of structural soil? Probably in the same way that the trees in the limited conditions of "classical" urban soil do: by slowing down their growth and reducing their vitality to fit in with the levels of fertility.

Alternatives: Amsterdam soil and structural cells

Structural soil with gravel is not the only solution. In Holland a material was developed under the name of Amsterdam soil, similar to structural soil but with washed sand, which can be covered with classical paving in the form of flagstones. It is easy to repair and fits in with the

constructive traditions of the cities of Central Europe. This technique is, however, limited to light traffic.

Another existing solution is that of structural cells, "boxes" of modular plastic which fit into each other forming an underground structure. The spaces inside these boxes, connected to each other through numerous openings, are filled with topsoil. As the weight is supported by the boxes, the soil is not compacted and retains its fertility.

Its performance in volume is over 95% so it is very appropriate for areas with limited space, but, for now at least, this is not usually enough to justify its excessive cost.

Where would it make sense to apply these techniques?

Essentially, we need to consider structural soil in situations in which it is necessary to combine the growth of tree roots with paving that can be used by a medium level of traffic. For logistical reasons, the technique is rather expensive for small spaces such as the pavements alongside established streets, as its application requires the presence of machinery, workers on the ground and enough space to mix and

work with the material.

Results, performance and future

Results have so far shown that the use of this technique completely eradicates the breaking up of paving, as it forces tree roots to go deeper.

Also, structural soil is a highly attractive method for the roots themselves, allowing us to define the geometry of their future growth depending on the requirements of each project, creating "galleries of roots" and avoiding conflict with the urban infrastructure. It allows us to control the growth of roots with more carrot (oxygen) and less stick (barriers, impermeable bases, etc).

Every application of structural soil which this author has constructed or has knowledge of has been supplied with gravel from quarries, with the impact on the environment that this entails. It would not appear to be difficult, though, to adapt the constructive process and to incorporate the recycling of rubble from demolition sites, if the granulometry of the material could be effectively managed. This is a promising new area in which the technique could be developed.