



Fundering på blød bund
Let tilfyldning

Leca® letfyld

Denne brochure omhandler Leca® letklinker som letfyld i geotekniske anvendelser. Den er udarbejdet i samarbejde med GEO. I brochuren er der relevant information om Leca® letklinkers

egenskaber i forbindelse med geotekniske anvendelser. Informationerne gør det muligt at lave jordtryksberegninger, sætningsberegninger, beregning af opdrift i forbindelse med indbygning under vand samt

kompensationsberegninger. Der er desuden beregnings-eksempler med jordtryk på en tunnelvæg, sætnings- og kompensationsberegninger for en vejdæmning og tilsvarende for et énfamiliehus.



Leca® letklinker

Produktionen af Leca® letklinker i Danmark sker på Lecas fabrik syd for Randers. Grundmaterialet i Leca® letklinker er fed plastisk ler. Produktionen er placeret direkte ved råmaterialet, så der er kun kort, intern transport fra lergrav til fabrik.

Ved en temperatur på ca. 1100 °C brændes leret, og herunder ekspanderer det til små »korn«, kaldet Leca® letklinker. Ved brændingen forsvinder alt overskydende organisk materiale. De små Leca® »korn« består derefter af tusindvis af små luftceller med en hård skal af brændt ler.

Leca® letklinker er et miljørigtigt dansk naturprodukt med mange fordele.

- Uorganisk
- Uforgængeligt
- Genanvendeligt
- Frostbestandigt
- Ubrændbart
- Angribes ikke af råd, svamp eller insekter

Leca® 10-20 CE-mærkes i henhold til DS/EN 13055-2.

Forudsætningen for at anvende de anbefalede værdier i denne brochure er, at der anvendes Leca® letklinker produceret af Leca Danmark A/S, og at indbygning og komprimering er udført i henhold til anvisningerne i denne brochure.

Letfyld

Letfyld er et gammelt begreb. De første vejbyggere brugte sammenbundne grene ved passager over moser og andre blødbundsområder.

Andre velkendte metoder er nedrammede pæle og udskiftning af blød jord for at sikre stabiliteten og forebygge sætninger.

I dag er det en nem, billig og gennemprøvet løsning at udskifte noget af den bløde, sætninggivende jord med Leca® letfyld.

De første store letfyldopgaver med Leca® letklinker blev udført i Sverige i 1968 i forbindelse med ombygningen af Europavej E6 til motorvej.

Siden har Leca® letfyld indgået i løsninger af adskillige projekter med vanskelige funderingsforhold over det meste af Europa. Anvendelserne har omfattet anlæg af motorveje, jernbaner, havne, lufthavne, boliger m.v.

Leca® letklinker har en lav densitet sammenlignet med traditionelle fyldmaterialer. Det giver mindre jordtryk og dermed mulighed for slankere eller mere stabile konstruktioner og anlæg.

Leca® letklinker anvendes også som let tilfyldningsmateriale mellem konstruktioner samt i forbindelse med kloak- og naturgas-installationer

Geotekniske løsninger

Lastreduktion med Leca® letfyld er en velkendt teknik med et gennemprøvet materiale. Beregningerne udføres i henhold til Eurocode 7: Geoteknik og forudsætter, at Leca® letfyld er komprimeret i henhold til indbygningsvejledningen i denne brochure.

Da der ofte er tale om meget vanskelige jordbundsforhold, når der anvendes Leca® letfyld, kræver konstruktionerne at der udføres jordbundsundersøgelser, der i omfang svarer til minimum Geoteknisk Kategori 2.

Trykfordelingen gennem Leca® letklinkerne regnes svarende til trykspredning 2:1 ved undersøgelse af brudgrænsetilstanden.

Det tilladelige tryk på jordbunden bestemmes ud fra de geotekniske forundersøgelser.

Materialeværdier

For at kunne imødeese bestemmelserne i CEN-standard, prEN 15732 »Lightweight thermal insulation products for civil engineering applications (CEA) – Expanded clay lightweight aggregate products (LWA)«, er en række materialegenskaber for Leca® letklinker bestemt.

Undersøgelserne er udført i 2008 af SINTEF, Building and Infrastructure, Rock and Soil Mechanics i Norge og SP Sveriges Provnings- og Forskningsinstitut med support fra Weber Competence Center i Norge.

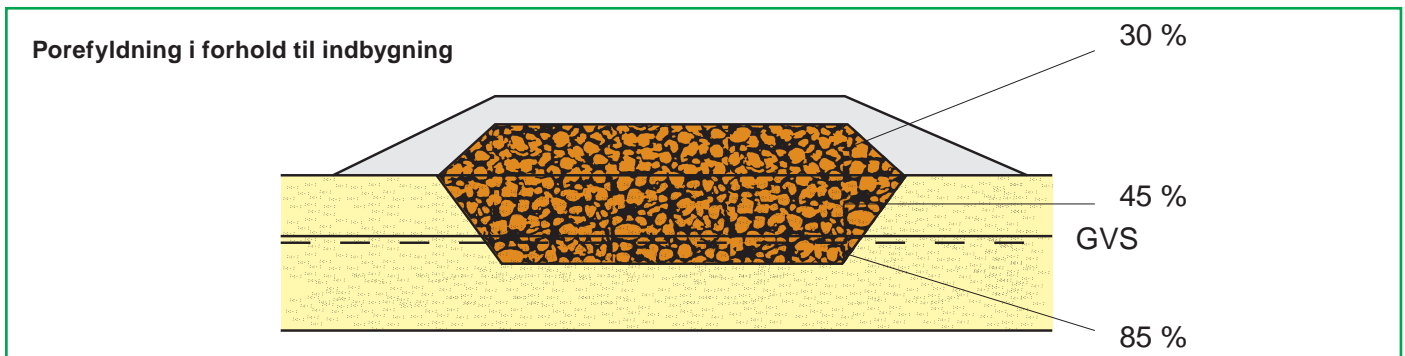
Resultaterne bekræfter tidligere undersøgelser udført af GEO og Teknologisk Institut og danner baggrund for de i nedenstående tabel anbefalede værdier. Anbefalingerne gælder for Leca® letklinker 10 % komprimeret i henhold til indbygningsanvisningen i denne brochure.

Anbefalede materialeværdier

Maksimalt spændingsniveau	200 kN/m ²
Kohæsion c	0
Friktionsvinkel ϕ'_{tr}	$\geq 40^\circ$
E-modul ved spændingsniveau på 20 kN/m ²	20 MPa



Materialeegenskaber



Densitet

Leca® letfyld leveres i flere sorteringer. Den regningsmæssige densitet afhænger af sortering, komprimeringsgrad og vandindhold. Ud over det naturlige vandindhold skal der tages hensyn til, om Leca® letklinker indbygges over eller under grundvandspejlet.

Når Leca® letklinker indbygges over det omliggende terræn, viser erfaringen, at der maksimalt kan optages 30 % vand i de interne porer.

Når Leca® letklinker indbygges under det omliggende terræn, men over grundvandspejlet, vil der kunne optages 45 % vand i de interne porer.

Under grundvandspejlet vil Leca® letklinker maksimalt kunne optage 85 % vand i de interne porer. Dette tager dog flere år.

Porøsitet

Den interne porøsitet er et udtryk for, hvor meget hulrum der er i de enkelte Leca® korn. Dette beregnes som et forhold mellem korndensiteten og faststoffdensiteten.

Faststoffdensiteten for Leca® letklinker er den samme som for brændt ler, ca. 2610 kg/m³.

Intern porøsitet =

$$\frac{\text{faststoffdensitet} - \text{korndensitet}}{\text{faststoffdensitet}} \times 100 \%$$

Den eksterne porøsitet er et udtryk for, hvor meget hulrum der er mellem de enkelte Leca® korn.

Dette kan beregnes som et forhold mellem korndensiteten og Leca® sorterings rumdensitet.

Ekstern porøsitet =

$$\frac{\text{korndensitet} - \text{rumdensitet}}{\text{korndensitet}} \times 100 \%$$

Styrke og stivhed

En Leca® letfyldkonstruktion bæreevne er en kombination af faktorer som underlagets bundmodul, Leca® letklinker lagets E-modul, E-modulet for selve vejopbygningen samt trykfordeling gennem hele konstruktionen.

Utilstrækkelig bæreevne giver sætninger. Disse kan opstå i underlaget eller i de efterfølgende indbyggede lag. Differenssætninger opstår for eksempel, når der er spring i underlaget eller de indbyggede lag. Differenssætninger kan også opstå, hvis der er forskel i belastningerne af de forskellige dele af konstruktionen.

Knusningsmodstanden er et udtryk for det tryk, der skal til for at sammentrykke en vibreret 100 mm prøve 20 %. Denne værdi er en materialeværdi, der ikke bruges i forbindelse med geotekniske forhold, men udelukkende som en kontrol af den løbende produktion af Leca® letklinker.

Kohæsion

Kohæsionen i Leca® letklinker er så lille, at den i praksis sættes til 0.

Friktionsvinkel

Friktionsvinklen for Leca® letklinker 10 % komprimeret er fastlagt ud fra triaksiale trykforsøg.

Ved et spændingsniveau op til 20 kN/m² er friktionsvinklen $\phi'_{tr} \geq 40^\circ$.

Dette svarer til en karakteristisk værdi

$$\phi'_{k,tr} = 40^\circ$$

Den karakteristiske plane friktionsvinkel ϕ'_k for Leca® letklinker kan i henhold til Eurocode 7: Geoteknik bestemmes ved at øge den karakteristiske triaksiale friktionsvinkel $\phi'_{k,tr}$ med 10 %.

Den regningsmæssige friktionsvinkel i konsekvensklasse CC2 kan herefter bestemmes til $\phi'_d = 39^\circ$.

Ud fra den regningsmæssige friktionsvinkel ϕ'_d kan jordtrykskonstanterne K_γ^{ar} og K_p^{ar} for ubehandlet væg i kontakt med jord (ru væg) nu aflæses i blandt andet Teknisk Ståbi.

Leca® letklinker $K_\gamma^{ar} \sim K_p^{ar} = 0,18$
Sandfyld $K_\gamma^{ar} \sim K_p^{ar} = 0,24$

Hviletrykkoeficienten K_o bestemmes, som ved andre friktionsmaterialer, ved at anvende friktionsvinklen i udtrykket:

$$K_o = 1 - \sin \phi'_{tr}$$

$$K_o = 0,36$$

Densitet			
Densiteter i kg/m ³	Leca® 10-20	Leca® 10-20 rund	Leca® 4-10
Korndensitet	440	500	560
Rumdensitet, løst lejret, tør	245	265	290
Rumdensitet, tør	270	295	320
Over GVS, 30 % porefyldt	425	435	455
Over GVS, 45 % porefyldt	500	505	520
Over GVS, 85 % porefyldt	705	695	700
	10 % komprimeret		

Porøsitet			
Porøsitet i %	Leca® 10-20	Leca® 10-20 rund	Leca® 4-10
Ekstern porøsitet	44	47	48
Ekstern porøsitet 10 % komprimeret	39	42	43
Intern porøsitet	83	81	79

Generelt



Levering af Leca® letklinker

Leca® letklinker som letfyld leveres normalt løst på vogne med op til 103 m³. Når tilkørselsforholdene er vanskelige, leveres letfyld med blæservogn, der normalt medbringer 30 meter slange. Blæserens kapacitet er ca. 1 m³ i minutet. Blæsning over større afstande kan aftales nærmere.

Fordeling og indbygning

Leca® letklinkerne fordeles let takket være deres lave densitet. Det er en god ide at udlægge geotekstil for at undgå opblanding af Leca® letklinker med den underliggende jord. På blød bund udlægges geotekstil med et overlæg på 50-60 cm.

Indbygningen af Leca® letklinker bør ikke udføres i større lagtykkelse end 1 meter ad gangen.

Større opgaver løses bedst med dozer eller andre larvebåndsmaskiner. For at undgå knusning af Leca® letklinker-overfladen bør maskinernes kontaktryk højst være 50 kN/m².

Ved små opgaver kan fordelingen foregå med håndkraft. Lagtykkelsen bør her ikke overstige 40 cm.

Komprimering

Leca® letklinker skal komprimeres 10 % og udlægges derfor med en overhøjde svarende til 10 % af lagtykkelsen.

Kontakttrykket er meget lavt i Leca® letfyld takket være den runde kornform og lave densitet.

Derfor kræver komprimering af Leca® letklinker mindre kraft end andre fyldmaterialer.

Normalt vil 3 overkørsler med det bæltekræfter, der anvendes til indbygning, være tilstrækkeligt til at komprimere Leca® letklinker laget.


Små lagtykkelser kan komprimeres med pladevibrator.

2 overkørsler pr. udlagt lag giver som regel tilstrækkelig komprimering.

Oven på Leca® letklinkerlaget udlægges geotekstil for at hindre opblanding med den overliggende grusopbygning. Geotekstilen udlægges med et overlæg på ca. 20 cm. Vejopbygningen derover bør være mindst 50 cm inklusive grus og færdig asfaltbelægning.

Den egentlige vejopbygning kan komprimeres med det sædvanlige komprimeringsudstyr.

Kontrol af indbygning af Leca® letklinker kan for eksempel gøres ved at opstille en kontrolplan som det viste eksempel.

 KONTROLPLAN		✓
Modtagekontrol Udføres som kontrol af følgeseddel før aflæsning	Er det den rigtige type Leca® letklinker, der leveres?	
	Er det den rigtige mængde, der leveres?	
	Er de leverede Leca® letklinker CE-mærket?	
Indbygningskontrol Udføres under indbygningen	Udlægges Leca® letklinker i den projekterede lagtykkelse?	
	Indbygges Leca® letklinkerlaget med 10 % overhøjde?	
Udførelseskontrol Udføres under indbygningen	Overkøres/komprimeres Leca® letklinkerlaget det antal gange der er forudsat i projektet?	
	Er hele Leca® letklinkerlaget komprimeret?	
Komprimeringskontrol Udføres inden næste lag udlægges	Er Leca® letklinkerlaget komprimeret 10 %, (kotemetoden)*? Kopi af målebog vedlægges	
	Er Leca® letklinkerlaget komprimeret 10 %, (densitetmetoden)**? Kopi af laboratorierapport vedlægges	

* Kotemetoden

Det kontrolleres, at lagtykkelsen bliver 10 % mindre.

**Densitetmetoden

Det kontrolleres, at densiteten bliver 10 % større i forhold til løs lejring.

Lastkompensation, sætningsberegning

Lastkompensation

Lastkompensation med løse Leca® letklinker er en ligevægtsbetragtning.

Grundlæggende betyder det, at konstruktionen der opføres, ikke bidrager med yderligere belastning af undergrunden. Spændingerne i jordlagene under konstruktionen er altså de samme før og efter, at konstruktionen er opført.

Konstruktioner på undergrund med ringe bæreevne kan således aflastes, så sætninger reduceres eller helt forhindres ved at indbygge materiale med lav densitet. Leca® letfyld vejer 75-80 % mindre end normalt friktionsmateriale som sand. Konstruktioner med kompensationsfyld forudsætter detaljeret kendskab til de underliggende jordlag og til variationer i grundvandsspejlet.

Følgende eksempler viser tre forskellige opbygninger af en vejdæmning og de tilhørende beregnede sætninger.

1. Uden lastkompensation, hvor vejdæmningen udføres med en kerne af sand.
2. Med lastkompensation, hvor vejdæmningen udføres med en kerne af Leca® letklinker.
3. Fuldstændig lastkompensation, hvor vejdæmningen udføres med en kerne af Leca® letklinker og hvor udskiftning af jorden under dæmningen også udføres med Leca® letklinker.

Eksisterende forhold

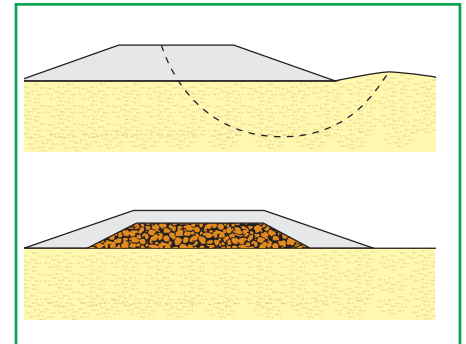
	Rumvægt γ kN/m ³	Konsolideringsmodul E_{cs} kN/m ²	Dekadehældning Q
0 m			
Fyld GVS	18	2000	-
- 2 m			
Fyld	20	4000	-
- 5 m			
Gytje	14	-	0,30
- 11 m			
Moræneler	(sætninger ubetydelige)		

Beregning af eksisterende spændinger er angivet i følgende tabel, hvor

γ' er den effektive rumvægt:
Over GVS er $\gamma' = \gamma$
Under GVS er $\gamma' = \gamma - 10$ kN/m³
d angiver tykkelsen af jordlaget
 σ'_{om} angiver den effektive spænding i midten af jordlagene, før dæmningen udføres.

	γ' kN/m ³	d m	σ'_{om} kN/m ²
Fyld over GVS	18	2,0	18
Fyld under GVS	10	3,0	51
Gytje under GVS	4	6,0	78

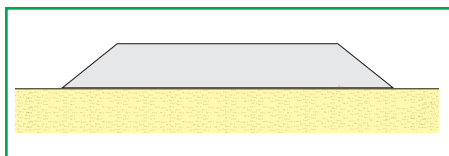
Bundbrud ved siden af dæmninger



Dæmninger på blød bund kan ofte give problemer med sætninger samt opskydning af jorden ved siden af dæmningen. Med Leca® letfyld som lastkompensation kan dæmningens vægt projekteres, så tillægsspændinger (vandret og lodret) samt forskydningspændinger reduceres. Dette vil øge stabiliteten og øge sikkerheden mod opskydning ved siden af dæmningen.



1. Sætningsberegning uden lastkompensation



Den nye dæmning er 2 meter høj og 15 meter bred foroven. Med en skrænthældning 1:2 bliver dæmningsens bredde i bunden 23 meter. Der regnes med en gennemsnitlig dæmningsbredde b på 19 meter. Rumvægt af sand $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
Vægt af ny vejdamning $G = 684 \text{ kN/m}$.

Sætningsberegning uden lastkompensation

	$\Delta\sigma'_m$ kN/m ²	f	s m
Fyld over GVS	34		0,03
Fyld under GVS	30		0,02
Gytje under GVS	25	1,32	0,22
I alt			0,27

$\Delta\sigma'_m$ er den effektive tilvækst i spændingen i midten af jordlagene på grund af dæmningsvægten, hvor b = dæmningsens middelbredde
 z = dybden under dæmningsundersiden

$$\Delta\sigma'_m = \frac{G}{b + z}$$

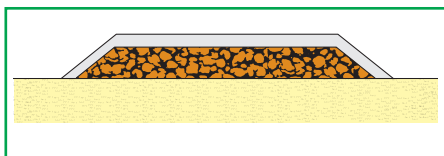
f er den relative forøgelse af spændingsniveauet (efter/før)
 s er konsolideringssætning af de enkelte lag under centerlinjen af dæmningen:

- Baseret på konsolideringsmodul

$$\frac{\Delta\sigma'_m \cdot d}{E_{0ed}}$$

- Baseret på dekadehældning
 $d \cdot Q \cdot \log f$.

2. Sætningsberegning med lastkompensation



Vejdamning med kerne af Leca® letklinker. Rumvægt af sand $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$. Som Leca® kerne anvendes Leca® 10-20. Densiteten er over GVS og 30 % porefyldt 425 kg/m^3 (se side 4). Rumvægten for Leca® letklinker beregnes til:
 $\gamma = 4,2 \text{ kN/m}^3$ ($380 \cdot 9,81/1000$). Sanddækningen er 70 cm. Vægt af vejdamning $G = 368 \text{ kN/m}$. Dæmningsens bredde og højde er som i eksempel 1.

Sætningsberegning med lastkompensation

	$\Delta\sigma'_m$ kN/m ²	f	s m
Fyld over GVS	18		0,02
Fyld under GVS	16		0,01
Gytje under GVS	13	1,17	0,12
I alt			0,15

Hvis kernen af dæmningen udskiftes med Leca® 10-20 mm, bliver konsolideringssætningen 15 cm svarende til en reduktion af sætningen med **ca. 44 %** under de angivne forhold.

3. Fuldstændig lastkompensation



Fuldstændig lastkompensation kan dimensioneres, så sætningerne fra konsolideringen er lig med 0. Udskiftning af jord under dæmningen med Leca® 10-20 mm kan dimensioneres, så tillægsspændingerne $\Delta\sigma'_m = 0$. Den nødvendige udskiftningsdybde h findes ved at sætte vægten af vejdamningen lig med vægten af den udskiftede jord fratrukket vægten af den indbyggede Leca® 10-20.

$$G_{\text{jord}} - G_{\text{Leca}^\circledast} = G$$

Den nødvendige udskiftningsbredde under dæmningen sættes til 24 meter (middelværdi). Dæmningsvægten sættes lig eksempel 2, hvor kernen er udskiftet med Leca® 10-20.

Densiteten af Leca® 10-20, 45 % porefyldt er 500 kg/m^3 (se side 4). Rumvægten for Leca® 10-20, 45 % porefyldt beregnes til:

$$\gamma = 500 \cdot 9,81/1000 = 4,9 \text{ kN/m}.$$

$$G_{\text{jord}} - G_{\text{Leca}^\circledast} = 368 \text{ kN/m}$$

($18 \text{ kN/m}^3 \cdot 24 \text{ m} \cdot h$) – ($4,9 \text{ kN/m}^3 \cdot 24 \text{ m} \cdot h$) = 368 kN/m.
Den nødvendige udskiftningsdybde er **$h = 1,2$ meter.**



Boliger på blød bund

Lastkompensation ved fundering af boliger på blød bund er kendt af de fleste byggerådgivere.

Løsningen vælges på grund af følgende fordele:

- Økonomisk attraktiv løsning som alternativ til pælefundering, borede fundamenter eller jordudskiftning
- Er under udførelse skånsom mod nabobebyggelser
- Teknisk nem løsning, der er enkel at udføre for entreprenøren
- Den lastfordelende betonplade virker også som tætning mod radon, og der kan udføres effektiv trykkudligning i laget af Leca® letklinker
- Leca® letklinkerlaget giver et væsentligt bidrag til varmeisolering af terrændækket

Fuldstændig lastkompensation dimensioneres, så sætningerne er lig med nul. Det gøres ved at udskifte mængden af jord under huset med Leca® 10-20, så tillægsspændingerne $\Delta\sigma'_m = 0$.

Eksempel:

Et hus på 8 x 12 meter er placeret på en fordelingsplade af beton, der måler 9 x 13 meter.

Den regningsmæssige last G_{hus} fra huset skal regnes inklusive nyttelast og betonfordelingsplade.

Den nødvendige udskiftningsdybde findes ved at sætte vægten af huset lig med vægten af den udskiftede jord fratrukket vægten af det indbyggede Leca® letklinkerlag.

Rumvægten for jord sættes til 18 kN/m^3 og for Leca® 10-20, 45 % porefyldt, til $4,9 \text{ kN/m}^3$.

$$G_{\text{hus}} = G_{\text{jord}} - G_{\text{Leca}^{\circledast}}$$

$$G_{\text{hus}} = 1100 \text{ kN.}$$

$$G_{\text{jord}} = 18 \text{ kN/m}^3 \cdot 9,0 \text{ m} \cdot 13,0 \text{ m} \cdot h$$

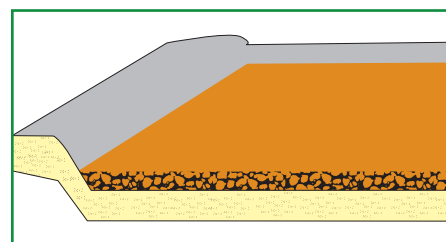
$$G_{\text{Leca}^{\circledast}} = 4,9 \text{ kN/m}^3 \cdot 9,0 \text{ m} \cdot 13,0 \text{ m} \cdot h$$

$$h = \frac{1100}{(18 \cdot 9 \cdot 13) - (4,9 \cdot 9 \cdot 13)}$$

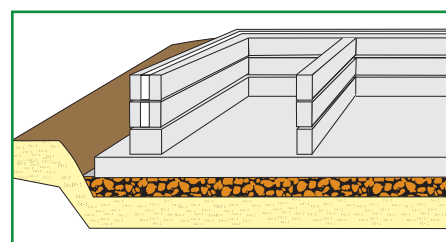
$$h = 0,72 \text{ m}$$

Nødvendig udskiftningsdybde er 72 cm.

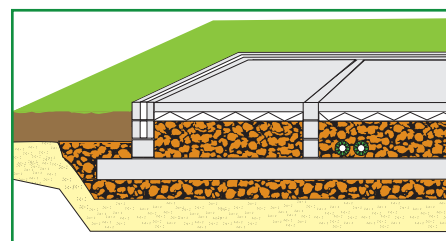
Udførelse, så nemt kan det gøres:



- I bunden af byggegruben udlægges geotekstil
- Oven på geotekstilen udlægges Leca® letfyld



- Geotekstilen foldes ind over de opfyldte og komprimerede Leca® letklinker
- Herpå udstøbes en lastfordelende betonplade
- Så opmures husets fundamenter på betonpladen på sædvanlig vis



- Løs Leca® 10-20 indbygges mellem fundamenterne som varmeisolerende lag og underlag for gulvbetonen. Gulvbetonen udstøbes
- Løse Leca® letklinker indbygges omkring den lastfordelende betonplade som varmeisolering



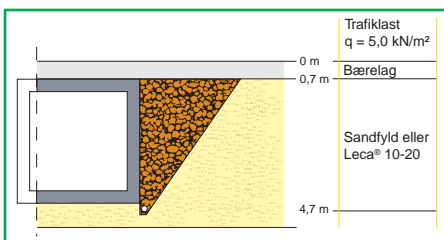
Jordtryk

Jordtryk

Leca® letfyld kan anvendes til at aflaste konstruktioner med jordtryk. Anvendelse af Leca® letfyld kan reducere det vandrette jordtryk sammenlignet med traditionelt tilfyldningsmateriale.

Dette betyder færre afstivninger i fx kældervægge, eller at dimensionerne for støttemure, spunsvægge eller tunneller kan reduceres.

Eksemplerne i denne brochure forudsætter, at hældning af jorden bag ved konstruktionen er stabil.



Stive vægge, som den viste tunnelvæg, skal dimensioneres for brudgrænsetilstanden i den omgivende fyld, hvor der forudsættes aktivt jordtryk.

Væggen skal desuden dimensioneres for anvendelsesgrænsetilstanden, hvor jordtrykket beregnes som hviletryk.

Forudsætninger

	Rumvægt kN/m³	Friktionsvinkel		Jordtrykskoefficient	Hviletrykskoefficient
		φ'_k	φ'_d		
	γ			$K\gamma^{ar}$	K_0
Bærelag	21,0	–	–	–	–
Sandfyld	18,0	38	33	0,24	0,43
Leca® 10-20	4,9	44	39	0,18	0,36

Rumvægt af Leca® 10-20, 45 % porefyldt er:
 $\gamma = 500 \cdot 9,81/1000 = 4,9 \text{ kN/m}^3$

Aktivt jordtryk

Nyttelaster skal være regningsmæssige ved beregning af aktivt jordtryk.

Partialkoefficienten er $\gamma_f = 1,5$.

Den samlede regningsmæssige lodrette last ved toppen af tunnelen beregnes som:

$$p_d = d \cdot \gamma_{bærelag} + 1,5 \cdot q$$

d angiver tykkelse af bærelag/jordlag.
 $p_d = 0,7 \cdot 21,0 + 1,5 \cdot 5,0 = 22,2 \text{ kN/m}^2$

Det aktive jordtryk i toppen af tunnelvæggen beregnes som:

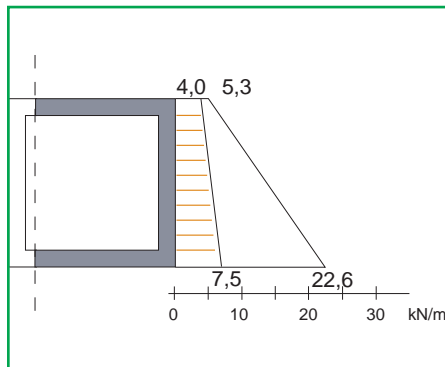
$$e_{ta} = K_p^{ar} \cdot p_d$$

Det aktive jordtryk i bunden af tunnelvæggen beregnes som:

$$e_{ba} = K_p^{ar} \cdot p_d + \gamma \cdot d \cdot K_\gamma^{ar}$$

Vedrørende jordtrykskonstanterne K se side 4.

Aktivt jordtryk		
Aktivt jordtryk kN/m²	Sand	Leca® 10-20
Top e_{ta}	5,3	4,0
Bund e_{ba}	22,6	7,5



Hviletryk

Deformationsforhold, revnevidder m.v. beregnes i anvendelsestilstanden ud fra hviletrykket.

Ved beregning af hviletrykket anvendes partialkoefficienten $\gamma_f = 1,0$ for alle laster som for eksempel egenvægt og nyttelast. For jordparametre anvendes $\gamma_m = 1,0$. Den samlede regningsmæssige last ved toppen af tunnelen beregnes som:

$$p_d = d \cdot \gamma_{bærelag} \cdot \gamma_m + q \cdot \gamma_f$$

$$p_d = 0,7 \cdot 21,0 \cdot 1,0 + 5,0 \cdot 1,0 = 19,7 \text{ kN/m}^2$$

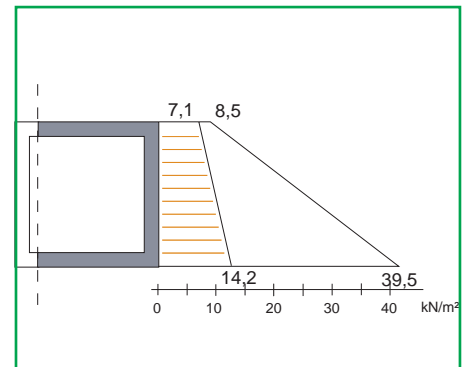
Hviletrykket i toppen af tunnelvæggen beregnes som:

$$e_{to} = K_o \cdot p_d$$

Hviletrykket i bunden af tunnelvæggen beregnes som:

$$e_{bo} = K_o \cdot p_d + \gamma \cdot d \cdot K_o$$

Hviletryk		
Hviletryk kN/m²	Sand	Leca® 10-20
Top e_{to}	8,5	7,1
Bund e_{bo}	39,5	14,2



Ved anvendelse af Leca® 10-20 reduceres det aktive jordtryk i bunden med 67 %.

I eksemplet er der ikke taget hensyn til forøgelse af jordtrykket som følge af for eksempel komprimering ved indbygningen af tilfyldningsmaterialer.

Ved anvendelse af Leca® 10-20 reduceres hviletrykket i bunden med 64 %.

Indbygning i vand

Leca® letklinkers densitet er ved indbygning mindre end vands, og de vil derfor flyde ovenpå. Ved indbygning skal opdriften på Leca® letklinker derfor tages i betragtning.

Når Leca® letfyld indbygges i vand, vil det eksterne porevolumen vandfyldes næsten øjeblikkelig. Inden for de første 5 minutter vil de interne porer opnå et vandindhold på ca. 20 %. Herefter vil de interne, åbne porer langsomt blive vandfyldte. Inden for det første døgn vil vandindholdet stige til ca. 30 %.

De interne, åbne porer vil i løbet af 5 til 10 år blive vandfyldte, mens de interne lukkede porer ikke vil optage vand. Dette svarer til 85 % porefyldning af de interne porer.

Inden Leca® letfyld indbygges, fores byggegruben med geotekstil. Letfyld læsses direkte i vandet, og vægten af de overliggende Leca® letklinker vil efterhånden trykke det nederste letfyld til bunds, indtil hele gruben er fyldt.

Komprimering udføres, når Leca® letfyld ikke længere flyder.

Derefter lægges igen geotekstil inden den videre opbygning. Det er vigtigt at afslutte med en tilstrækkelig stor overfladebelastning, der kan modvirke opdriften på Leca® letklinker, også når arbejdet forlades midlertidigt, fx ved fyraften eller op til weekenden.

Eventuelt højvande skal tages i betragtning.



Opdrift

Når Leca® letklinker indbygges under vand anbefales det at anvende rumvægten 85 % porefyldt som dimensionerende rumvægt. Den effektive rumvægt beregnes ud fra materialeparametrene for Leca® letklinker (se side 4).

Eksempel:

Leca® 10-20, 10 % komprimeret og 85 % vandfyldt, har en densitet på 705 kg/m³. Rumvægten kan herefter beregnes til 6,9 kN/m³.

Hulrumsprocenten for Leca® 10-20, 10 % komprimeret, er beregnet til 39 % (se side 4). Der er altså 61 % Leca® korn, svarende til 0,61 m³ pr. m³ løs Leca®. Rumvægten (opdriften) af de 0,61 m³ fortrængt vand beregnes til 6,0 kN/m³.

Den effektive rumvægt er rumvægten af den valgte Leca® sortering fratrukket opdriften på samme Leca® sortering.

Effektiv rumvægt: 6,9 - 6,0 = 0,9 kN/m³.

Rumvægt		Leca® 10-20	Leca® 10-20 rund	Leca® 4-10
Densitet 85 % porefyldt	kg/m ³	705	695	700
Rumvægt 85 % porefyldt	kN/m ³	6,9	6,8	6,9
Rumvægt fortrængt vandmængde		6,0	5,7	5,6
Effektiv rumvægt under GVS 85 % porefyldt		0,9	1,1	1,3

Ved anvendelse af Leca® letfyld beregnes rumvægten ved at gange densiteten med tyngdeaccelerationen 9,81 m/s² og dividere med 1000 for at omsætte fra kg/m³ til kN/m³.

Leca® letklinker, der flyder på vand, ser stabilt ud, men personer eller maskiner, der prøver at bevæge sig ind på det, vil synke gennem og ned i vandet.

FLYDENDE LECA® LAG MÅ DERFOR ALDRIG EFTERLADES UDEN OPSYN ELLER AFSPÆRRING!

Vandlagring

Den eksterne porøsitet for Leca® 10-20 indbygget i en vejkonstruktion er 39 %. Det betyder, at der pr. m³ Leca® letklinker kan opbevares 390 liter vand. Denne lagringsresurse kan anvendes i forbindelse med kraftige regnskyl. Vandet kan opbevares, indtil regnen er ophørt, og derefter bortledes gennem de normale dræn og afløbsinstallationer.

Det er vigtigt at tage opdriften i regning, når denne type konstruktion skal projekteres.

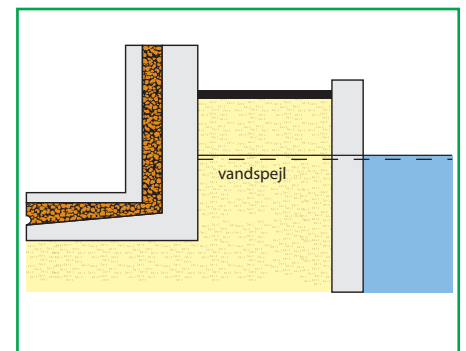
Dræn

Permeabiliteten i Leca® 10-20 er meget stor, og store mængder vand kan derfor transporteres i den indbyggede letfyld. Lodrette vægdræn ved kældervægge, støttemure m.v. vil sammen med et effektivt bortledningselement i bunden bevirke, at der ikke kommer vandtryk på konstruktionen. Det betyder samtidig, at risikoen for frostbevægelser bag konstruktionen er minimeret.



Ved tilfyldning med Leca® letklinker bag havnekajer betyder den store vandledningsevne, at der ikke opstår tryk fra vand fanget på indersiden af kajen, når vandstanden i havnen falder hurtigt.

Leca® dræn i dobbelte konstruktioner anvendes ofte i forbindelse med byggeri i nærheden af vand.



Stabilitet

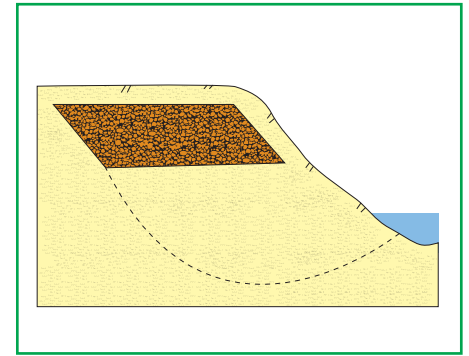
Skråninger i ler er normalt stabile i korttidstilstanden.

Vandfyldte revner, tidligere skredflader, øget vandtryk og tillægsbelastninger er afgørende for ændring af skråningens stabilitet. Sikring af stabiliteten ved konstruktive tiltag som effektiv dræning eller aflastning med Leca® letfyld har ofte

større betydning end nøjagtig bestemmelse af jordens styrkeparametre. Hvis skråningen påføres tillægsbelastning, kan dennes effekt på skråningens stabilitet reduceres eller helt fjernes ved kompensationsfyldning med løse Leca®

letklinker.

Eksisterende skråninger kan stabiliseres ved at udskifte en del af skråningsmaterialet med løse Leca® letklinker. Hermed øges sikkerheden mod skred.



Andre anvendelser

Kloakledninger i blødbundsområder kan ved hjælp af lastkompensationsprincippet udføres, så tillægsspændingerne i den underliggende jord ikke forøges. Vægten af den bortgravede jord sættes lig vægten af kloakken samt tilfyldning med Leca® 10-20. Sætninger og eventuelle deraf kommende skader kan derved forhindres.

I veje, hvor trafikbelastningen er blevet større, kan en del af den eksisterende tunge tilfyldning udskiftes med Leca® 10-20. Trykket på kloakken kan derved mindskes, og eventuelt brud undgås.

Øget trafiklast på havnearealer medfører ofte behov for at reparere kørearealer og kajlanlæg.

Indbygning af Leca® letklinker som letfyld reducerer lasten på havnebunden og

Ved brovederlag kan det vandrette jordtryk på vederlaget og de pæle, vederlaget er funderet på, reduceres væsentligt, når sandtilfyldning erstattes med tilfyldning med Leca® letklinker.



kajkonstruktionen. Resultatet er, at den eksisterende kajkonstruktion ofte kan anvendes, selvom trafiklasten er øget.

Se andre letfyldanvendelser under "Referencer" på www.leca.dk.



Cementstabiliserede Leca® letklinker



Hensigten med brochuren er at videregive nyttige erfaringer om Leca® produkternes egenskaber og anvendelse. Informationerne er udarbejdet som forslag til brug for de ansvarlige ved den enkelte opgaves projektering og udførelse. Leca Danmark A/S påtager sig ikke ansvar for dimensionering, projektering eller noget juridisk ansvar for de vejledende informationer indeholdt i denne brochure.

Cementstabiliserede Leca® letklinker kan anvendes, hvor der ønskes en formstabil afslutning, fx ved afslutning af et stykke vejarbejde, der senere skal fortsættes.

Fremstillingen foregår på blandedanlæg, hvor Leca® letklinker, cement og vand blandes til en jordfugtig konsistens. Til 1 m³ cementstabiliserede Leca® letklinker 10 % komprimeret medgår ca.

- 1100 liter Leca® letklinker
- 135 liter cement
- 100 liter vand

Cementstabiliserede Leca® letklinker kan fremstilles af alle tre sorteringer. Den forventede densitet, 10 % komprimeret, er 410-450 kg/m³. Udlægningen udføres ofte bedst med grab fra almindelig lastvogn. Cementstabiliserede Leca® letklinker udlægges i op til 40 cm lagtykkelse. Efter udstøbningen komprimeres laget ca. 10 % med en let pladevibrator.

Den forventede betontrykstyrke er ca. 1 MPa.

www.leca.dk

Klik ind på www.leca.dk og bliv opdateret om den nyeste tilgængelige viden om Leca® produkterne, anvendelsesmuligheder og løsninger.



www.leca.dk

Leca Danmark A/S
Randersvej 75, Hinge
DK-8940 Randers SV
Tel.: +45 87 61 02 01

Leca® letklinker produceres i Danmark af Leca Danmark A/S, som er en miljøbevidst virksomhed, der er underlagt både intern og ekstern kvalitetskontrol. Leca® værket, har kvalitetsstyringssystem efter DS/EN ISO 9001 og miljøstyringssystem efter DS/EN ISO 14001.