

Movium Fakta # 2 2019



Foton: Kurt Johansson.

ÖVERBYGGNAD

– UTFORMNING VID BELÄGGNING AV NATURSTEN OCH MARKBETONG

Förstå! Gör rätt! Spara hundratals miljoner kronor för ägare av urbana ytor! Så lyder vårt huvudbudskap i detta Movium Fakta, som på ett kortfattat och elementärt sätt behandlar överbyggnad med beläggning av natursten och markbetong i stadsliknande miljöer.

Kurt Johansson, Erik Simonsen och Jan Lang

Varje aktör måste förstå den tekniska grunden för sin insats

Innehållet i detta faktablad refererar till en nyligen publicerad rapport från SLU: "Överbyggnad med beläggning av natursten och markbetong, för trafikklass ≤ 2 . Förenklad dimensionering i stadsliknande miljöer". Det ämne som behandlas ligger inom AMA Anläggnings koder DCG.1 och DCG.2.

För att förstå och respektera de konstruktionsanvisningar som krävs för markbeläggning är det viktigt att känna till vad som händer i överbyggnadens olika delar när den utsätts för trafikbelastning och vilka krafter som denna skapar. Även de påkänningar som uppstår "under ytan", och som man inte ser, måste förstås och beaktas.

Förståelse måste finnas hos aktörer på alla nivåer i anläggningsprocessen:

- Beställare och beställarens ombud (arkitekt, konstruktör och inköpare) så att viktiga materialegenskaper eller utförandeprinciper inte prutas bort i inköpsprocessen som sedan drabbar drift och underhåll.
- Entreprenörer på alla nivåer.
- Besiktningsmän som har kompetens att bedöma om beställaren har fått det som har beställts.

Under de senaste åren har det gjorts en stor forskningsinsats och erfarenhetsdokumentation med avseende på överbyggnad med beläggning

av natursten och markbetong. Normalt tycks annars fokus ligga på asfalt och högtrafikerade vägar vilket uttrycks i Trafikverkets råd och anvisningar. Dessa är sällan anpassade till naturstens- och markbetonganläggningar och de speciella påkänningar som uppstår i stadsliknande miljöer.

För att täcka behovet av information som skapar förståelse och för att ge råd har vi skrivit den rubricerade SLU-rapporten. I följande text sammanfattar, förklarar och kompletterar vi nu rapportens innehåll.

Grunder för halvelastisk beläggning

Viktigast är att förstå grunden för en halvelastisk beläggning med natursten och markbetong samt hur denna beläggningstyp skiljer sig från till exempel asfalt- och grusbeläggning, se bild 1.

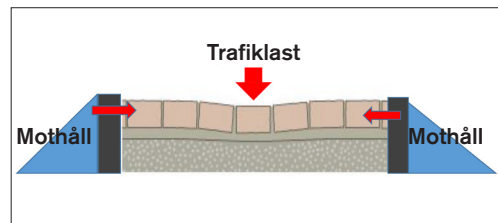


Bild 1. Grundprincipen för halvelastisk beläggning med natursten eller markbetong. Mothåll är en mycket viktig komponent.

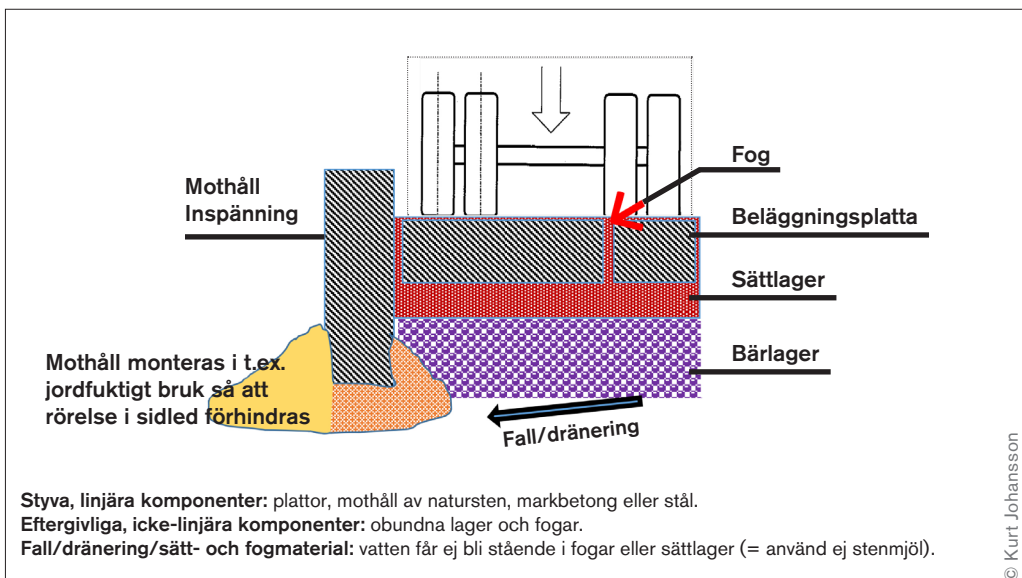


Bild 2. Komponenter som ingår i ett halvelastiskt markbeläggningssystem för trafikklass ≤ 2 .

I texten framöver kommer ordet platta att användas, som då avser naturstenshäll, gatsten, betongmarksten, betongplatta och marktegel.

En halvelastisk beläggning består av systemet platta–fog–sättlager–mothåll (bild 2). Var och en av dessa fyra komponenter, samt dränering, är en del av en kedja som i sin helhet måste fungera tillfredsställande. En kedja är inte starkare än sin svagaste länk. Det är sällsynt att plattan är den svagaste länken, men om det i någon av de övriga komponenterna uppstår brister kan också plattan skadas. Då framstår denna felaktigt som svagast eftersom det är den som syns.

En utebliven fog (nollfog) syns ju inte, ej heller avsaknaden av mothåll. Ett för tjockt sättlager syns inte vid okulär besiktning men kan medföra att sten- eller betongplattan får ett instabilt underlag och skadas.

Varje lagers uppgift medför konstruktionskrav

Varje del, eller lager, i överbyggnaden har sina givna funktioner och krav på rätt projektering och utförande. Avgörande för överbyggnadens funktion, hållbarhet och driftskostnad är att dessa utförandekrav respekteras och efterföljs, vilket kan under-

lättas av att man förstår de olika delarnas funktion och enkelt kan beräkna deras utformning.

Detaljbeskrivningar för de olika delarna återfinns i den tidigare nämnda rapporten. Här presenteras bara en sammanfattning i form av bild 3.

Trafikbelastningens påverkan på överbyggnaden

Nästa steg i kunskapen om överbyggnadskonstruktionen är att förstå de krafter den utsätts för och vilken påverkan dessa har på överbyggnaden. Här följer en förenklad förklaring/beskrivning.

Vertikala krafter – indelning i trafikklasser

De vertikala krafter som trafiken förorsakar överförs efter omlagring ända ner till terrassen. Bland annat följande krafter förekommer:

- Vertikal tryckkraft på grund av passerande fordons vikt (bild 4).
- Vertikal kraft från vibrationer och rörelser i underlaget.

Dessa vertikalkrafter påverkar överbyggnadens olika delar på följande sätt:

Eftergivliga, icke-linjära material, det vill säga obundna lager, fogar, asfalt och terrass: konstruktionen komprimeras och omlagras. Denna föränd-

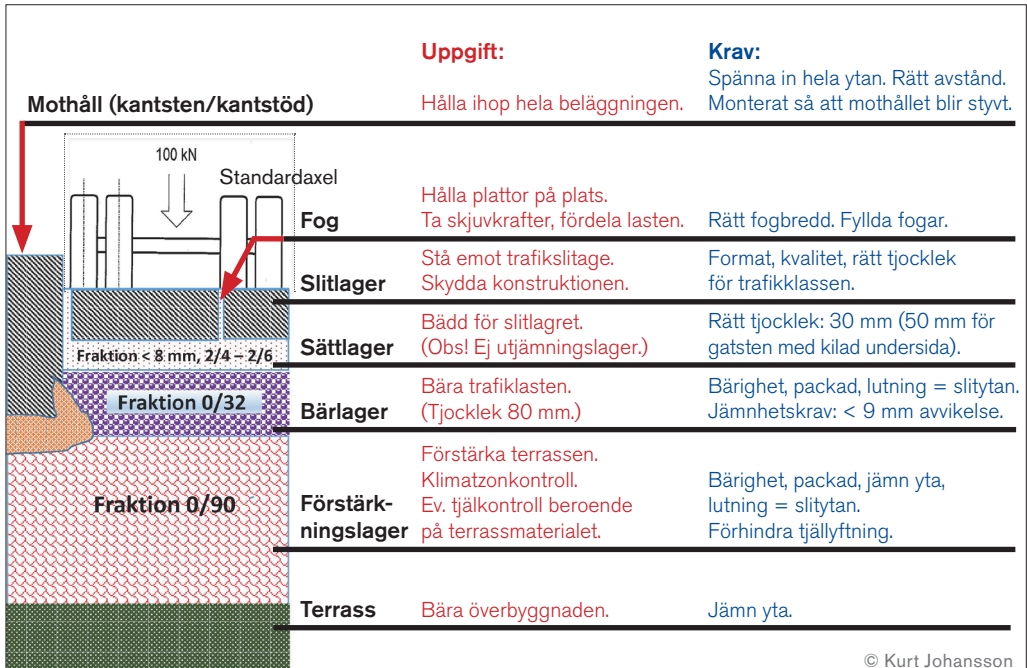


Bild 3. Uppgift för och krav på de olika lagren i överbyggnaden (gäller alla trafikklasser G/GC–2).

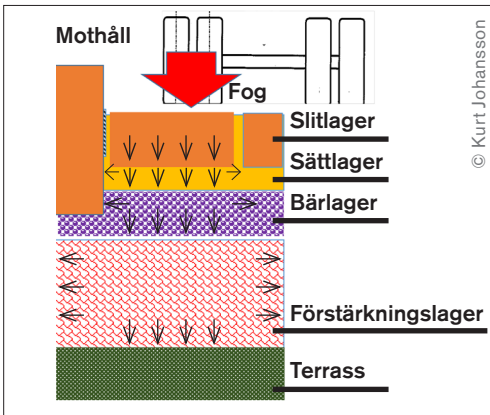


Bild 4. Vertikalkraften går, efter viss omlagring, genom hela överbyggnaden ner till terrassen. Under omlagringsdeformationen uppstår vissa horisontella krafter.

ring ökar med antalet fordonsöverfarter, men är inte linjär utan är störst i början av konstruktionens ibruktagande, för att sedan plana ut (bild 5).

Direkt påverkan på styva, linjära material, av typen natursten och markbetong: plattan brister om vertikalkraften överstiger plattans brottlast, vilket sällan sker. Klarar den en överfart så klarar den teoretiskt sett alla överfarter med samma last. Vid ett fullskalförsök som utfördes på VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut) kördes 18 000 överfarter med 16 tons axelvikt utan att vare sig naturstenschällan eller markbetongplattan påverkades.

Indirekt påverkan på styva, linjära material: genom att de omgivande/samverkande eftergivliga materialen komprimeras och förlorar sina fasthåll-

lande egenskaper, eller helt enkelt bara försvinner (till exempel fogar), ändrar plattorna sin position, både vertikalt och horisontellt. Plattorna slår ihop och kanten mot överytan fläks upp. Om underlaget och omgivande/samverkande material är tillräckligt stabilt klarar sig plattan. Om plattan brister beror det nästan alltid på att omgivande/samverkande material är undermåligt eller på eftersatt drift och underhåll.

För att beskriva den vertikala kraften har Trafikverket tagit fram ett system för att kvantitativt, dvs. i siffror, uttrycka trafikbelastningen. Det uttrycks som ”antalet överfarter med en fiktiv standardaxel under konstruktionens livslängd”. Systemet benämns *trafikklasser*. Se tabell 1 och bild 6.

Eftersom det gäller krafter ska dessa anges i kN. I praktiken kan dock kraften 100 kN översättas med vikten 10 ton.

Inom det område vi diskuterar här, stadslänkande miljöer, håller vi oss till trafikklass ≤ 2 . Ordet trafikklass ersätts ibland med ”ekvivalent antal överfarter av standardaxel”.

I vår SLU-rapport förklarar vi hur fordonens belastning räknas om till ett ”standardaxelvärde” genom en omräkningsfaktor (B-faktor). Trafikverket har tagit fram B-faktorer för ett antal fordonstyper, men faktorn kan också räknas fram när man känner fordonets totala axellast. Ett exempel: en personbil har B-faktorn $\approx 0,0002$ och en buss B-faktorn $\approx 0,68$. Alltså ger en buss samma trafikbelastning som 3 500 personbilar! Indelning i trafikklasser används inte längre av Trafikverket men är mycket vanligt förekommande i bland annat landets kommuner.

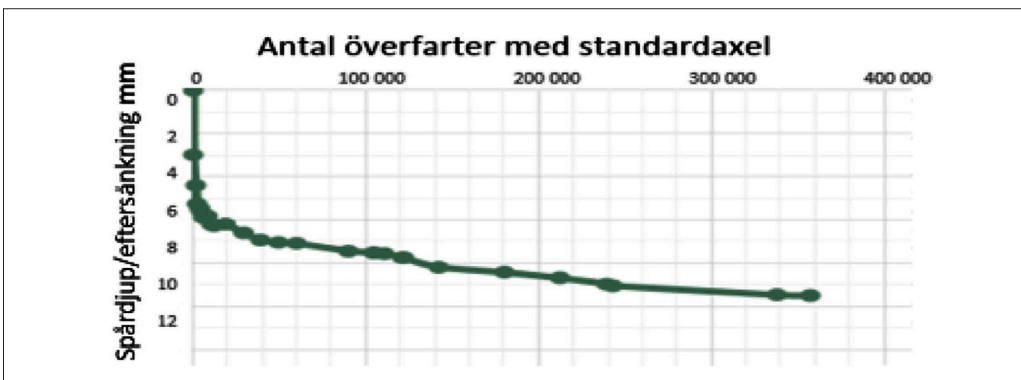


Bild 5. Generaliserad bild av spår djupet/eftersänkningen, på grund av vertikala krafter som ger komprimering och omlagring, efter ett antal överfarter med standardaxel. Kurvan är baserad på försök med HVS (Heavy Vehicle Simulator) på VTI.

Tabell 1. Indelning i trafikklasser (* = delvis modifierat av Svensk Markbetong)

Trafikklass	Antal standardaxelöverfarter under konstruktionens livslängd
G och GC	0
0*	<50 000
1a*	50 000-250 000
1b*	250 000-500 000
2	500 000-1 000 000

Den styva plattan påverkas inte direkt av antalet överfarter, men de andra, eftergivliga komponenterna i konstruktionen gör det. Därför dimensioneras överbyggnaden av antalet överfarter av ekvivalenta standardaxlar, dvs. trafikklasser, på det sätt som anges i rapporten.

Förenklad trafikklassindelning

För att förenkla dimensionering av överbyggnaden, eller omvänt beräkna antalet fordon när överbyggnaden är trafikklassad, finns under avsnitt 2.3 i SLU-rapporten en *förenklad trafikklassindelning* för stadslänkande ytor för ett antal fordonstyper. Vi belyser inte detta avsnitt närmare här, utan hänvisar till rapporten.



Bild 7. Horisontell kraft (broms och acceleration).
Foto: Harald Boehnke, Vikingrock.

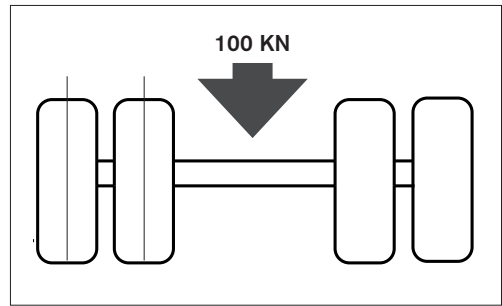


Bild 6. Standardaxelns last 100 kN (10 ton).

Horisontella krafter

Trafikklassningssystemet enligt ovan tar endast hänsyn till vertikal belastning. Det finns för närvarande ingen mätbar metod att ange de dynamiska, horisontella belastningarna från broms- och accelerationskrafter eller svängande och vridande hjul (bild 7 och 8).

Horisontella krafter är normalt mycket påtagliga i urban miljö och förorsakar ofta skador på alla typer av beläggning. För plattbeläggningar kan effekter av horisontal belastning förhindras genom väl monterade mothåll (kantstöd), fylla fogar, lämpligt val av läggningens mönster samt plattans form och friktion mot underlaget och sidorna.



Bild 8. Vridkraft i horisontalled (vridande fordonshjul).
Foto: Harald Boehnke, Vikingrock.

Avgörande för att stå emot de horisontella krafterna är mothåll (kantstöd), fog, läggningsmönster, plattans form och plattans friktion mot underlaget och sidorna. Dessa faktorer måste därför ägnas stor uppmärksamhet både vid projektering och utförande. Varje komponents funktion måste förstås och beskrivas noggrant.

De horisontella krafterna påverkar överbyggnadens olika delar på följande sätt:

Eftergivliga, icke-linjära material: lagren omlagras och eventuellt utmattas.

Direkt påverkan på styva, linjära material: plattan brister inte av den horisontella kraften i sig, däremot ställs stora krav på att omgivande/samverkande material håller stenen/plattan på plats.

Indirekt påverkan på styva, linjära material: om de omgivande/samverkande eftergivliga lagren/materialen är otillräckligt komprimerade, kan de ändra sin position och sina egenskaper eller helt enkelt bara försvinna (till exempel fogar).

Mothållande krafter

För att motverka de horisontella krafterna är mothållet av avgörande betydelse. Mothåll i form av kantsten, betongstöd eller metallstöd måste vara styvt och monteras på ett sätt så att det

behåller sin styva funktion. Mothållet kan också bestå av spärrstenar, exempelvis kantsten med översidan i nivå med körytan, eller av stålankare.

Mothållskraften överförs via fogar, vilka måste ha angiven bredd, vara omsorgsfullt utförda och kontinuerligt underhållna. På vissa markbetongprodukter finns ”rillor” som säkrar minimifogbredden. På granithällar med sågade sidor ska distanser, till exempel av plast, användas och dessa ska lämnas kvar i fogen.

Vid belastning av biltrafik kan mothållet förstärkas via utformning av plattor och plattmönster:

- Betongmarksten kan utformas som låsstenar.
- Beläggningen läggs med bombering/valvverkan.
- Klippt/kilad gatsten får en grov yta som har hög friktion mot underlaget och åt sidorna.
- Plattorna monteras i förband, exempelvis fiskbensmönster. (Där det förekommer biltrafik bör inte genomgående fogar användas i trafikens riktning.)
- Plattorna måste ha en viss tjocklek för att en tillräcklig fogyta ska säkras.

Annan påverkan

Det finns även andra påverkansfaktorer avseende halvelastisk beläggning men för beskrivning av detta finns inte utrymme i denna text, utan vi hänvisar till SLU-rapporten.



Bild 9. Fog- och sättmaterial har haft för stor finandel (stenmjöl) som pumpats bort och fogen och delar av sättlagret har försvunnit. Distanser saknas. Foto: Kurt Johansson.



Bild 10. Innerstadsgata där håll efter håll ersätts med asfalt som provisoriska symtomlösningar. Foto: Kurt Johansson.

Sätt- och fogmaterial, dränering, lutning, fall

Sättagrets tjocklek ska vara 30 ± 10 mm, utom för gatsten med kilad/klippt undersida. Bärlagrets ovanyta ska anpassas så att sättagret kan hållas inom denna toleransnivå.

Ett mycket vanligt problem är att ett olämpligt sätt- eller fogmaterial använts. Om detta har för stor finandel, vilket nästan alla fraktioner av stenhjul har, riskerar det att bli för tätt och därmed finns det risk för att vatten blir stående i fogen vid regn eller snösmältning. Om det då är en yta med biltrafik uppstår en rörelse i beläggningen, som gör att finpartiklarna dispergeras och ”pumpas” bort.

Eftersom stenhjulet har stor finandel pumpas större delen av fogen bort, plattorna vrider sig och slås ihop. Så småningom har även delar av sättmaterialet pumpats bort och plattan börjar vicka i vertikalled (bild 9).

Använd makadam 2–4 i sättagret för både natursten och markbetong. För natursten används detta även som fogmaterial, medan man som fogmaterial för markbetong kan använda naturgrus 0–8 enligt den kornstorlekstabell som anges i AMA Anläggning.

Den tvärgående lutningen på en gata ska vara $\geq 2,5$ %. Den längsgående vattenavrinningen ska ske mot dagvattenbrunnar (brunnar/rännor i

lägpunkter). OBS! Dessa måste projekteras så att de *förblir lägpunkter under hela konstruktionens livslängd även med den avsedda trafikbelastningen*, varför en yta för trafikclass ≥ 0 måste sättas med viss överhöjning i anslutning till brunnar, betäckning, kantsten eller annan fast kant. Samtliga lager ska ha samma lutning/fall som beläggningsytan.

Förhållningsregler som sparar miljoner!

Innehållet i detta faktablad och i SLU-rapporten kan sammanfattas i tio förhållningsregler, som kan spara hundratals miljoner kronor för kommuner och fastighetsägare:

1. Skaffa kunskap som ger förståelse för hur den aktuella typen av beläggning och överbyggnad fungerar. Studera den refererade SLU-rapporten (LTV 2017:15) i sin helhet. Se till att alla berörda parter har samma kunskap och förståelse.
2. Anlita kompetenta besiktningsmän, använd de kontrollmallar som finns i SLU-rapporten.
3. Skriv in i anbudshandlingarna krav på förbesiktning av färdigt bärlager med avseende på packning, nivå/höjd, lutning/fall och buktighet, innan sättagret läggs ut (AB04 kapitel 3 § 5).
4. Sättagret ska vara makadam 2–4 eller 2–6 eller naturgrus, ej stenhjul.

5. Egenskaper hos fog:
 - a. För natursten: material samma som för sättlagret. Bredd enligt anvisning, använd plastdistanser för hållar. Underhåll: alltid fyllda fogar.
 - b. För markbetong: naturgrus 0–2.
6. Mothåll måste finnas inom rimligt avstånd för att ytan ska hållas samman.
7. När det gäller vattenavrinning: konstruera anläggningen så att dränering och ytvattenavrinning fungerar. Se till att brunnarna ligger i lägsta punkterna under konstruktionens hela livslängd.
8. Packa bär- och sättlager enligt anvisning. Kontrollera packningsgraden.
9. Var uppmärksam på begynnande skador. Analysera den verkliga orsaken till eventuell skada i stället för att dölja symtomen.
10. Se till att det finns pengar och resurser över för faktiska underhållsinsatser i stället för att lägga pengar på ett utförande som inte lever upp till den nivå som anbudshandlingarna kräver.



Bild 11. En beläggning med bortpumpad fog som gör att plattan vickar när man går på den. Foto: Kurt Johansson.

Foton på omslaget – förklaring och åtgärdsförslag

Den vänstra bilden visar en väl fungerande beläggning med naturstensälar på en central stadsgata. Den högra bilden visar en annan del av samma gata, med trafikklass 1, där beläggningen har kollapsat. Det beror inte på stenen, som har rätt kvalitet och dimension, utan på bristande förståelse för hur beläggningstypen ska monteras. Med rätt förståelse hade den högra bilden sett ut som den vänstra.

Informationen i detta faktablad och i den refererade SLU-rapporten bör ge underlag till följande förslag till lösning på det problem som framgår av den högra bilden:

- Steg 1. Ta upp alla hållarna. Nästan alla kan återanvändas.
- Steg 2. Ta bort allt sätt- och fogmaterial.
- Steg 3. Kontrollera bärlagrets ovanyta med avseende på nivå, planhet och lutning.
- Steg 4. Korrigera höjd (korrigera för framtida eftersänkningar med hänsyn till dagvattenavrinning) och planhet på bärlagrets ovanyta samt packa detta lager.
- Steg 5. Sätt tillbaka hållarna med lämpliga distanser. Använd makadam 2–4 mm som sätt- och fogmaterial.

Lästips:

Den refererade rapporten har rubriken *Överbyggnad med beläggning av natursten och markbetong, för trafikklass ≤ 2 . Förenklad dimensionering i stadsliknande miljöer*. SLU-rapport LTV 2017:15. (ISBN-978-91-576-8946-7).

Rapporten kan hämtas som pdf-fil:

https://pub.epsilon.slu.se/15543/1/johansson_et_al_180619.pdf

Detta Movium Fakta är skrivet av:

- Kurt Johansson*, adjungerad professor vid Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning, SLU Alnarp.
- Erik Simonsen*, senior utvecklingsledare vid Cementa AB.
- Jan Lang*, projektledare vid Starke Betongindustrier.

