

# Diskussion

Sten som beläggningsmaterial för gator har tusenåriga anor. Ett exempel på detta är Via Appia i Italien som belades med sten 312 f Kr. I Sverige har vi haft stenbeläggningar några hundratals år, med det är först under de senaste 150 åren vi börjat använda bearbetad sten. Men en ur ett stenhistoriskt perspektiv ny företeelse, på ytor med biltrafik, är beläggning av naturstenplattor med sågad undersida och sågade kantsidor, som om plattorna är 0,1 m<sup>2</sup> eller större benämns hållar.

Detta projekt har som syfte att fördjupa kunskapen om fogens roll vid beläggningar av hållar lagda i sättsand med sandfogar. Med sand menar vi här löst material av såväl natursand som krossat material. Vi kan konstatera att det cirkulerar många olika åsikter om fogkonstruktion, fogmaterial, fogningsmetod, fogens roll i beläggningen etc. Här diskuteras kring faktorer som kan påverka och eventuellt samverka i beläggningskonstruktionen. Detta kan förhoppningsvis ligga till grund för laboratorieförsök eller teoretiska beräkningar som ännu inte utförts. Då det gäller hårda beläggningar lagda i sand kan konstateras att det finns fyra huvudtyper.

- **Råkilad gatsten**, där varje sten individuellt knackas fast i sättsanden och stenen kan ha individuell avvikelser i höjd på 20 mm vilket ger en hög friktion mot underlaget. De råhuggna kantsidorna ger en god friktion i sidled, ger samverkan i fogarna och låser tämligen bra.
- **Granithållar**, alltså plattor > 0,1 m<sup>2</sup> med sågad undersida och sågade kantsidor, lagda med c:a 6 mm breda fogar.
- **Sågade "gatstenar"**, med sågad undersida och klippta kantsidor är den senaste i utvecklingen. Egentligen är benämningen gatsten i detta sammanhang tveksam eftersom endast mönstret påminner om gatsten, inte konstruktionen.
- **Markbetongsten**, i beläggning med låsningsmönster ("interlocking") med smala fogar (3mm), där konstruktionen hålls ihop av mothåll.

**Det som i huvudsak skiljer dessa konstruktioner åt är:**

- friktionen mot underlaget
- låsning och samverkan mellan plattorna och eventuell valvbildning

Gemensamt för dessa beläggningstyper är att fogen, i förhållande till totala beläggningsytan, utgör en mycket liten del, bara ca 2%. Det betyder i sin tur att det åtgår en ringa mängd fogmaterial, och följaktligen är fogmaterialet billigt relativt den totala ytan. Här borde finnas ett ekonomiskt utrymme att satsa på en bättre och uthålligare fogkonstruktion/fogmaterial utan att det påverkar totalpriset särskilt mycket. Däremot kan fogen ha stor inverkan på hela konstruktionens livslängdskostnad.

### Beläggningar med hällar i sand

Det vi på SLU i Alnarp har studerat är hällar lagda i sand med sandfog och denna rapport handlar i huvudsak om detta. Vi har studerat ett antal fall och resultatet kan förenklat uppdelas i tre huvudområden.

#### **Tre huvudgrupper av observationsresultat för beläggning av hällar i sand**

**A.** *Hällarna ligger stabilt på plats på lämpligt avstånd från varandra.*

Detta är den vanligaste situationen. Fogen och övriga förutsättningarna fungerar bra. Fogen har spelat den roll den ska och fyllt sin funktion. Det är viktigt att analysera orsaken till detta.



*Smörtorget i Eskilstuna. (Foto: Sabina Jallow).*

**B. Hällar slår ihop på grund av otillräcklig fogbredd.**

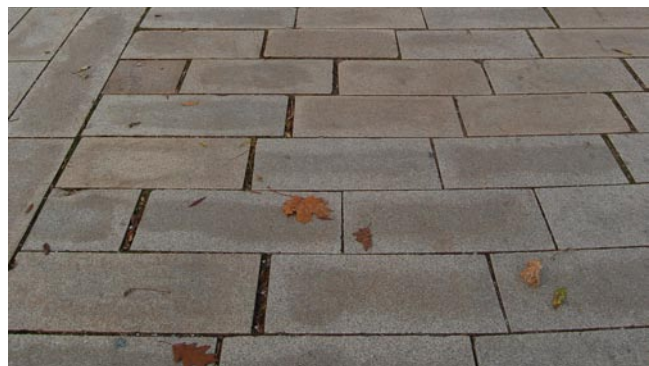
I vissa fall har hällarna tryckts mot varandra och stenflisor i hällens ovansida har spjälkats ut. Här har fogens roll varit given, men av olika skäl inte fyllt sin funktion. Orsaken är till detta är tämligen säkert relaterat till att fogarna är för smala eller saknas helt. Antingen har hällarna monterats fel, underlaget har utförts felaktigt eller så har den ursprungliga fogsanden avlägsnats.



*Stora torget i Uppsala. (Foto: Sabina Jallow).*

**C. Hällar glider isär.**

I några fall konstateras att hela hällpaketet glider och hällar glider isär. Ibland glider de inte bara isär utan de kan också förskjutas så att de slår ihop på andra håll. Beläggningsmönstret hålls inte ihop. Kan detta relateras till fogen? Vilken roll har fogen när det gäller glidning? Om situationen inte kan relateras till fogen, måste det finnas andra påverkande faktorer.



*Dunkers Kulturhus i Helsingborg. (Foto: Sabina Jallow).*

## Olika faktorerers inverkan då hållar glider

För att förstå fogens viktiga roll eller dess underordnade roll så måste vi först diskutera de situationer där fogen knappast kan påverka det som har skett. Att två stenar glider ifrån varandra kan man knappast klandra fogen för eftersom fogmaterialet har som en viktig uppgift att hålla isär hållarna. Fogen kan inte stå emot dragkrafter.

### Friktion mot underlaget med sågade hållar

För sågade hållar är toleranskravet avseende tjocklek enligt Sveriges Stenindustriförbunds rekommendationer  $\pm 4$  mm (baserat på SS-EN 1341, klass 2). Om man skall relatera till någon slags "medelavvikelse" avseende plattjocklek skulle den då vara 4 mm. Detta gäller om toleransvidderna utnyttjas. I många fall hålls snävare toleranser. Om hållarna är individuellt nedknackade så att det inte föreligger något språng mellan plattornas översida, bildas en "hyvelkant" om 4 mm på plattans undersida (se *Figur 8*). För att plattan skall komma i glidning måste materialet framför denna "hyvelkant" skjivas framåt. Vi har inte försökt att beräkna eller genom prov fastställa den "friktionskraft" som skapas av denna "hyvelkant", utan konstaterar bara rent förnuftsmässigt att viss friktion borde föreligga.

Själva sågningen ger ojämnheter i stenytan på cirka 0,5 mm vilket inte torde ge särskilt stort friktionsmotstånd i jämförelse med den friktion som uppkommer på grund av höjdskillnad mellan plattorna. Entreprenörerna kräver allt snävare tjocklekstoleranser för att läggningen ska kunna förbilligas och krav på  $\pm 2$  mm är inte ovanligt. Då blir medelvärdet på "hyvelkanten" endast 2 mm.

Produktionsapparaten hos leverantörerna förbättras och merkostnaden för denna "kalibrering" blir allt billigare. Med viss sortering vid läggning kan man få en mycket liten tjockleksskillnad (*Figur 4*). Går tjockleksskillnaden mot noll blir beläggningens undersida i stort sett slät. När sådana hållar läggs på ett kompakterat sättsandskikt, där möjligheterna till individuell nedtötning för varje platta inte föreligger, borde vi kunna dra slutsatsen att friktionen blir liten. Vi får en "flytande" beläggning på sandskiktet, där den horisontella kraften för att starta en glidning av hela beläggningen inte behöver vara stor.



*Figur 4. Trenden för sågade plattor är att tjockleksskillnaden blir allt mindre för att läggningen skall underlättas. (Foto: Sabina Jallow).*

Situationen för markbeläggning med jämntjocka plattor med sågad undersida kan liknas vid den för flytande golv inomhus som används för att medge rörelse mellan golvbeläggningen och den bärande konstruktionen. Som glidskikt användes förr ett sandskikt. Det finns dock en viss skillnad med fallet inomhusgolv, dels hålls plattorna i låst läge av läggningsbruket, dels är den oberoende glidningen önskvärd. Vill man dramatisera kan man tala om stadens markbeläggningar som stadens flytande golv.

Det är alltså ett rimligt antagande att vid jämntjocka plattor kan de dynamiska krafterna från exempelvis biltrafik förorsaka glidning av hela eller delar av beläggningsskiktet. Plattorna förskjuts också i förhållande till varandra (*Figur 5*). Fogarna dras isär och kanske töms de på fogsand och tappar då även sin funktion att hålla hållarna åtskilda. I bästa fall finns fogmaterialet kvar och fogarna kan upprätthålla sin särskiljande funktion. Hur stor förskjutningen blir torde då påverkas av belastningssituationen, d.v.s. trafikklassen (fordons-tyngd, acceleration, inbromsning, vridande hjul, etc.), beläggningsmönster, plattstorlek och beläggningens storlek.

Ett sätt att skapa "total" friktion är att montera motstöd eller "spärrstenar", till exempel i form av kantsten som är så väl förankrad i underlaget att de inte går att förflytta. Mellan två parallella motstöd erhålls inspänning. Genom placering, avstånd och utformning av dessa motstöd kan utvecklingen av eventuell glidning absolut påverkas. Finns det linjärt motstöd i någon riktning förhindras rörelsen i denna riktning, men i de övriga riktningarna glider sannolikt beläggningen i väg. Det vanligaste motstödet är en kantsten förankrad genom bärlagret. Finns linjärt motstöd från alla sidor låses beläggningssytan, den blir stabil och ligger på plats.

Om beläggningen glider jämt i en riktning kan beläggningssmönstret förbli relativt oförändrat men förskjutet och man lägger knappt märke till glidningen. Så sker om det finns motstöd längs gatans kanter, men inte i gatans längdriktning. Ibland finns punktformade motstöd exempelvis i form av en brunn (*Figur 6*). Då stoppas glidningen upp och mönstret viker sig runt punkten och mönstret i beläggningen bryts. Hur mycket som syns av förskjutningen beror på mönstret. Vid förskjutning tvärs en genomgående fog syns det direkt, medan om den sker tvärs ett för-band av fallande längder är det svårare att upptäcka.

I *Figur 6* syns glidningen tydligt eftersom mönstret bygger på genomgående fogar. Glidningen påverkas av avståndet till eventuellt motstöd och ytans storlek.





*Figur 5. Plattor, med sågad undersida lagda i sand, som glidit på underlaget i trafikriktningen. Fogarna är fortfarande intakta och håller avståndet mellan plattorna. Mönstret har brutits. Plattorna är inspända från sidorna med kantsten, men är fria i körytans längdriktning. OBS! plattorna på detta foto har ett mycket speciellt format, är små  $<0,05m^2$  och kan närmast liknas vid på alla sidor sågad storgatsten och faller därför inte inom projektet för hällar som ju ska vara  $<0,1 m^2$ . Bilden visar dock på ett bra sätt principen för glidning. Om den genomgående fogen gått i körriktningen skulle glidningen inte ha märkts, eftersom plattorna i den riktningen är i fallande format och fogarna då inte skulle vara genomgående utan förskjutna och på slumpmässiga avstånd. Nu finns det dock tunga, konstruktionsmässiga skäl att inte lägga genomgående fogar längs körriktningen. (Foto: Kurt Johansson).*

Råkilad yta/klovyta på undersida av hällar förekommande endast på skiffer, kvartsit och kalksten och numera ytterst sällan på granit. Glidbenägenheten hos dessa plattor beror troligen i första hand på tjockleksvariationen mellan plattorna och denna kan styras i beställningen. Så kan till exempel Offerdalsskiffer beställas med tjocklekstoleransen  $\pm 2$  mm. Den kan också levereras inom intervallet 40-80 mm, alltså en tämligen stor tjockleksspridning på 40 mm.

Det skall än en gång påpekas att vi inte utfört några beräkningar eller kontrollerade försök, utan endast studerat verkligheten och intervjuat branschfolk. Av detta har här dragits vissa slutsatser och gjorts vissa antaganden. Dessa bör följas upp av laboratorieförsök, kontrollerade fältförsök och, där det är meningsfullt, teoretiska beräkningar.



Figur 6. Glidningen har stoppats vid brunnar. Mönstret har brutits. OBS! att plattorna på detta foto är små  $<0,05m^2$  och ligger inte inom projektet hällar. Bilden visar hur glidningen stoppas upp av punktformat "mothåll". (Foto: Kurt Johansson).

### Vid vilken belastning börjar glidningen?

Genom att fastställa sidokrafterna och övriga krafter, det vill säga krafter förorsakade av trafikbelastningen i förhållande till friktionskraften, går det säkert att teoretiskt beräkna när glidningen börjar. Man kan också göra laboratorie- eller fältförsök för att fastställa detta. Sådana beräkningar eller försök har inte gjorts, men erfarenhetsmässigt kan vi hävda att om beläggningen är rätt utförd och rätt underhållen sker det ytterst få glidningar i trafikklasserna G, GC och 0. I trafikklass 1 kan det möjligen förekomma. Däremot har vi noterat att glidningar är vanliga i trafikklass 2 och 3, där motstånd saknas. Beskrivning av olika trafikklasser framgår av Tabell 2.

Tabell 2. Indelning i trafikklasser

Trafikklass	Beskrivning (exempel)
G	Entrégång, uteplats, lektyor, innergård utan trafik
GC	Gång- och cykelväg, enstaka lätta fordon, garageinfart
0	Lågtrafik, parkeringsplatser, lättare varutransporter, enstaka tyngre varutransporter
1	Brandväg, torgtyor, tyngre varutransporter, 50 000 - 500 000 standardaxlar
2	Gator, vägar, 500 000 - 1 000 000 standardaxlar, tunga fordon, vridande hjul
3	Gator, vägar, 1 000 000 - 2 500 000 standardaxlar, tunga fordon, vridande hjul

En annan viktig fråga man bör ställa sig är: Hur påverkas sättsanden av vibrationerna från trafiken? Sker någon slags fragmentering eller skiktbildning som befrämjar glidning?

### **Inverkan av friktion mellan plattor**

Att fogen inte kan ta upp dragkrafter torde vara tämligen självklart. Kan man då genom ett genomtänkt mönster och väl placerat och utformat mothåll få fogen att ta upp skjuvkrafter? Här torde kantsidans bearbetning spela in. Sågade kantsidorna (ojämnheter 0,5 mm) med 6 mm fogsand som "glidlager" borde rimligen ge mycket låg friktionen mellan plattorna. Inspänning från sidan av motstöd torde aldrig bli så stor att det kan hålla emot glidning i längdriktningen på en gata belagd med hållar med sågade kanter och undersida. Råkilade/klippta kantsidor torde ha större förutsättningar än sågade. Idag förekommer sällan klippta/huggna kanter på hållar som monteras bredvid varandra, däremot när hållar monteras i kombination med traditionell gatsten. Möjligen skulle hållar med klippta/råkilade kanter bättre samverka och därmed motverka glidning?

Vi lämnar formatet hållar (och kliver delvis utanför projektets ramar) och går ner på ett mindre format, sågad "storgatsten" (sågad undersida) med klippta/huggna kantsidor (fogsidor), format cirka 210 x 140 mm, och jämför dessa med en tänkt platta med storgatstenformat där också kantsidorna är sågade (vilket i och för sig är ett ovanligt format). Situationen är en gata med motstöd från sidorna i form av kantsten längs hela trottoaren.

Friktionen mot underlaget borde rimligtvis vara densamma i de båda fallen, men i sidled borde det uppstå en viss friktion när stenar med klippta/huggna kanterna går mot varandra till skillnad från om dessa är sågade. För att friktion ska uppstå måste det dock finnas en normalkraft, ett motstöd. Om detta inte finns så glider plattorna isär. Med motstöd och tillräckligt smala fogar borde i fallet sågad storgatsten med klippta kanter en viss sammanhållande effekt kunna uppnås. Men för plattor med sågade kantsidor torde knappast motstöd hjälpa. Jämför vi nu dessa två i sin tur med en traditionell storgatstensbeläggning med klippt/huggen undersida så är det något helt annat (*Figur 7*).

### **Om vi sammanfattar och jämför dessa tre utföranden med formatet 210 x 140 mm med varandra:**

- traditionell storgatsten (I)
- sågad "storgatsten" med klippta/huggna kanter (fogsidor) (II)
- plattor med sågad undersida och sågade kantsidor (III)

Vi kan rent utseendemässigt, estetiskt, tycka de tre fallen verkar lika. Vi ser en yta med stenplattor 210 x 140 mm. Det är den yta som beställaren/arkitekten rent estetiskt vill ha. Men när



denna yta sedan ska effektueras genom konstruktionsunderlag finns alltså tre olika konstruktionsmöjligheter där förutsättningarna för ett lyckat resultat är helt olika!

**Utifrån en praktiskt och erfarenhetsmässig bedömning:**

- (I) kommer att ligga fast även i trafikklass 3
- (II) risk för glidning i trafikklass 2
- (III) sannolik glidning i trafikklass 2

Detta är i nuläget bara funderingar, och det skulle vara intressant att göra kontrollerade praktiska prov vars resultat kunde utgöra grunden för framtida konstruktionsrekommendationer. Detta ligger dock utanför det projekt med sågade hållar som pågår hos SLU, Alnarp, men har ändå stora likheter som ur principiell och pedagogisk synpunkt kan vara värdefulla.



Figur 7. Undersidan på stenytan satt med råkildad storgatsten. Denna beläggning där varje sten kan ha 20 mm avvikelse i höjd och individuellt stötts fast i sättsanden ger hög friktion mot underlager och skapar ett mycket strävt "glidskiikt". Det krävs stora krafter för att få denna "harv" att övervinna friktionskraften och få den att röra sig. Skalan framgår av mått-bandet graderat i cm. (Foto: Kurt Johansson).

**Betydelsen av beläggningsmönster och plattstorlek**

Markbetongindustrin betonar vikten av att beläggningen låses genom läggningmönster och plattans form. Det är också vår erfarenhet att mönstret har betydelse för rörelser i beläggningen. Så bör exempelvis fogar i trafikens längriktning vara förskjutna och icke genomgående. Man skulle också kunna tänka sig att ett fiskbensformat plattmönster skulle kunna bidra till lastfördelning på ett positivt sätt. Här finns det utrymme för såväl konstruktionsmässiga som estetiska innovationer.

Erfarenhetsmässigt ser vi också att plattans storlek har betydelse och det kan noteras en ökad glidning för plattor mindre än hållstorlek,  $< 0,1 \text{ m}^2$ , med sågad undersida och sågade kanter. Ska man spekulera i tjocklekens betydelse så borde tjockare hållar ge en större fogyta vilket i

sin tur torde skapa en bättre förutsättning för eventuell belastningsöverföring mellan hållarna och bättre kunna ta upp de rotationskrafter som trafiken skapar. Djupare fogar kan också ge en viss marginal för att fogen inte fylls helt upp.

### **Fogens roll vid glidande beläggning**

Vilka roller kan fogen spela för att förhindra glidningar? Finns det några förnuftsmässiga eller teoretiska skäl till att fogen skulle hindra beläggning med sågade undersida och sågade kantsidor från att glida? Knappast! Tills vidare kan vi konstatera att fogens roll i en glidande beläggning är att hindra sammanstötning och att ta upp tillverkningstoleranser. Men detta förutsätter att fogen är helt fylld och underhålls så att den fortsätter att vara fylld. Kanske fogen även förlorar denna roll, om den till följd av glidningen "töms" på fogsand.

Om det skulle finnas någon form av motstöd som bromsar upp glidningen så skulle fogens/ fogmaterialets komprimeringsegenskaper och förmåga att ta upp laster ha betydelse, men eftersom hela beläggningen glider finns inget motstöd. Det är först när det finns motstöd som komprimering och lastupptagning blir aktuellt.

Det är inte meningsfullt att närmare studera fogkonstruktion i glidande beläggning annat än med avseende på fogens förmåga att hålla isär plattor. Förutsättningarna för fogens verkan i övrigt är alltför osäkra.

Vi har alltså konstaterat att hållar glider när de utsätts för så hög trafikbelastning att friktionskraften överskrider och vi antar med relativt stor säkerhet att fogen har en mycket underordnad roll för att kunna stoppa denna glidning.

Nedan delges några sammanfattande funderingar på hur vi skulle kunna stoppa den oönskade glidningen, det vill säga öka friktionskraften så att den överstiger belastningens horisontalkraft.

### **Hållar med individuell tjockleksskillnad**

Om tjockleksvariationen hos plattorna har toleransintervallet  $\pm 4$  mm. (baserat på SS-EN 1341, klass 2) kan vi få en "medelavvikelse" på 4 mm vilket ger en "hyvelkant" om 4 mm på plattans undersida (*Figur 8*), vilket borde ge en god friktionseffekt för hela beläggningspaketet. Detta förutsätter att hållarna är individuellt nedknackade så att överytan är jämn utan fogsprång mellan plattorna. Om två hållar med maximal tillåten tjockleksavvikelse skulle hamna bredvid varandra skulle vi en kraftfull hyvelkant på 8 mm.

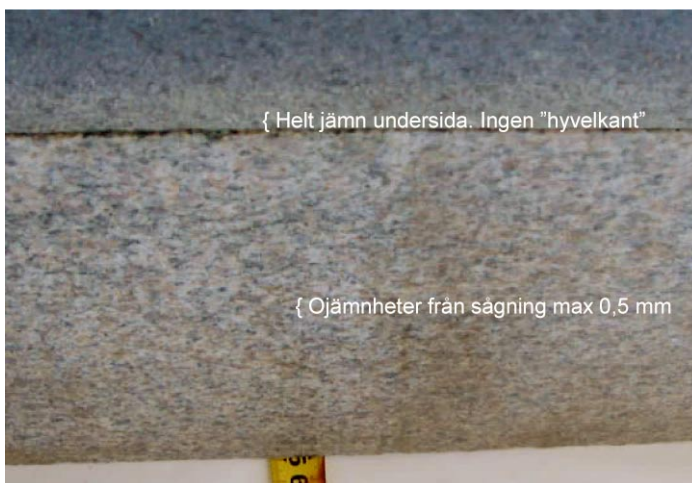
Hållar med en ojämn tjocklek  $\pm 4$  mm slumpmässigt monterade borde kunna ge visst friktionsmotstånd för att motverka glidning. Tidigare har konstateras att själva sågytans ojämnheter inte bidrar till att öka friktionen nämnvärt.



Figur 8. Undersidan på bällarna med individuell tjockleksskillnad på 4 mm vilket ger en "hyvelkant" om 4 mm vilket borde ge en god friktionseffekt för hela beläggningspaketet. Ska-lan framgår av måttbandet som är graderat i centimeter. (Foto: Kurt Jobansson).

### Jämntjocka hällar

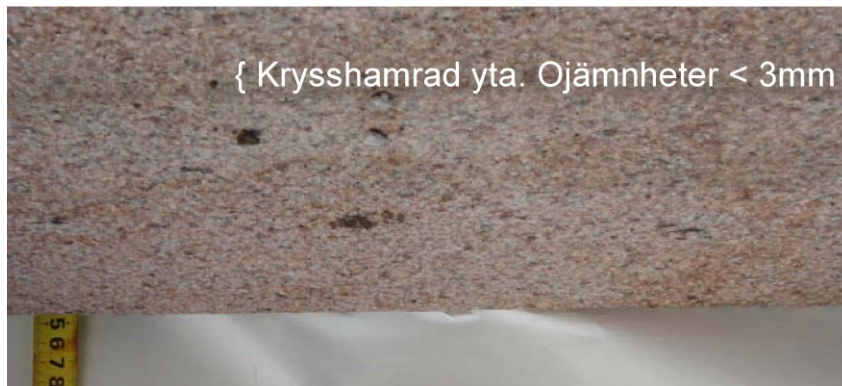
Har vi helt jämntjocka plattor finns teoretiskt ingen "hyvelkant" (Figur 9), och det är bara ojämnheter i sågytan på 0,5 mm som kan ge ett eventuellt friktionsmotstånd.



Figur 9. Undersidan av beläggningen blir givetvis helt slät om hällarna är jämntjocka. Ojämnheter från sågningen är max 0,5 mm. Skalan framgår av måttbandet som är graderat i centimeter. (Foto: Kurt Jobansson).

### Krysshamrad undersida

Kan man öka friktionen genom att krysshamra undersidan? Krysshamring ger ojämnheter på 3 mm (Figur 10). Gör vibrationerna från trafiken att ojämnheterna i krysshamringen fylls upp av sandkorn från sättsanden och beläggningsglider vidare?



Figur 10. Undersidan av beläggningsglid med krysshamrad yta. Ojämnheter från krysshamringen är max 3 mm. Fylls dessa ojämnheter av sättsandsmaterial och skapar en glidyta med mycket liten friktionsmotstånd? Skalan framgår av måttbandet som är graderat i centimeter. (Foto: Kurt Johansson).

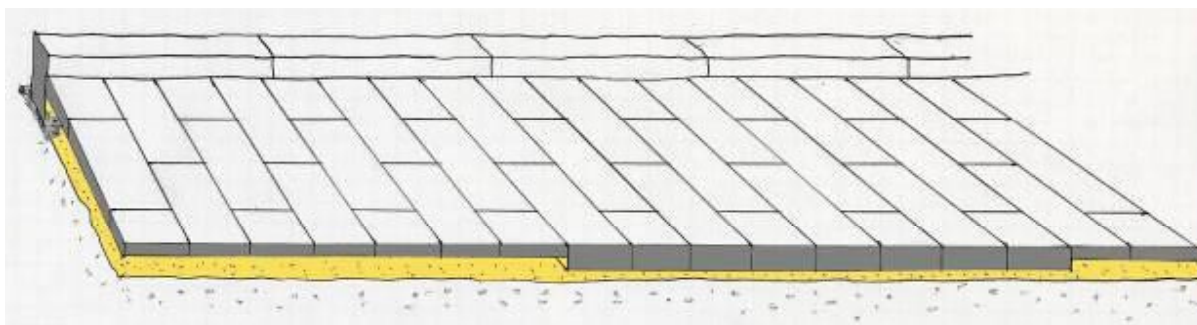
Erfarenhetsmässigt kommer sättsanden att fylla hålrummen från krysshamringen, men om detta helt eliminerar friktionen bör studeras. Det blir dels en friktion mellan stenytan och partiklarna och en annan mellan partiklarna i sättsanden. Vilken grad av krysshamring är då den optimala? Möjligen skulle grov krysshamring, ned under grad 2 ge tillräckligt stora ojämnheter. En fråga som inställer sig då är vilket ger störst friktion, plattor som varierar 4 mm i tjocklek eller en krysshamrad yta som har ojämnheter på 3 mm? (Situationen är annan vid läggning i bruk, då krysshamringen ger grepp i bruket). Flammad yta ger mindre ojämnheter.

### Ökad individuell tjockleksskillnad hos plattorna

Ett sätt att öka friktionen är naturligtvis att öka tjockleksvariation mellan hållarna till t.ex.  $\pm 6$  mm. Vi skulle då få en ganska hög ”hyvelkant” på 6 mm och därmed en ganska god friktion. Men denna variation i tjocklek skulle fördyra läggningen och säkert inte vara populärt hos entreprenörens montörer. Det är förmodligen otänkbart att återgå till så ojämna plattor. Hållar med råkilad undersida skulle ge både större tjockleksskillnad och också ökad friktionsyta. En produkt som både ur tillverknings- och läggningssynpunkt blir i det närmaste omöjlig att använda.

### Hällar med systematisk tjockleksskillnad

En erfaren och innovativ stensättarentreprenör har kommit med förslaget "systematisk tjockleksskillnad". Förslaget går ut på att man använder jämntjocka hällar uppdelade i två tjockleksgrupper, t.ex. 80 mm och 120 mm. Sedan lägger man fält med de olika tjocklekarna, enligt Figur 11. Fälts bredd anpassas till läggningsmetodiken. En lämplig fältbredd kan vara en rätskivelängd det vill säga cirka 5 meter. Alltså lägg ett fält på 5 m med 80 mm tjocka hällar och nästa fält med 120 mm tjocka hällar. Då får man en "hyvelkant" på 40 mm utan att detta fördyrar arbetet särskilt mycket. Risken för ojämnheter i körytan till följd av ojämn komprimering av sättsanden finns men är liten (jämfört med metoden nedan). Avståndet mellan de båda tjockleksgrupperna anpassas till läggningsprocessen och tjockleksskillnad kan anpassas till trafikbelastning.

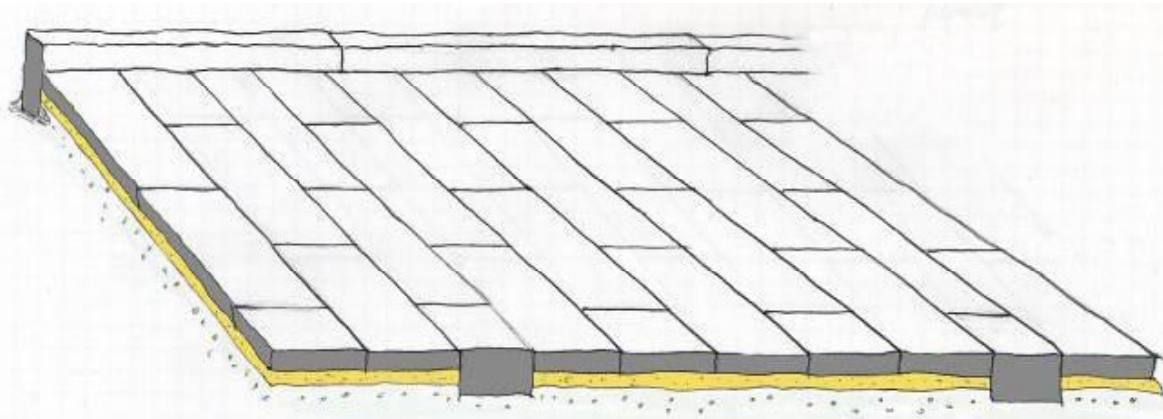


Figur 11. Systematisk skillnad i tjocklek för hällar. Hällar med 40mm tjockleksskillnad lagda med ett "rätskiveavstånd" Hällarna inom varje tjockleksgrupp är i stort sett jämntjocka. (Teckning, Christer Kjellén).

### Motstöd

En praktisk, kontrollerbar och förmodligen billigare lösningen är att på lämpliga avstånd montera in motstöd (typ kantstenar) som förhindrar att beläggningen glider (Figur 12). Friktionen blir nästan oändlig med motstöd. Dessa monteras i bärlagret. För att inse att denna princip fungerar behövs inga teoretiska beräkningar. Den fungerar! Hur tätt dessa motstöd ska placeras beror bland annat på belastningssituationen, plattornas storlek och mönster, vilket däremot kan behöva beräknas och även hur motstödet ska se ut. Metoden kan dock ge ojämnheter i körytan eftersom hög trafikbelastning gör att sättsanden komprimeras under hällarna men inte motstödet. Teoretiskt skulle man kunna kompensera denna komprimering med en överhöjning av sättsanden, men det är svårt att få detta att fungera i praktiken.





Figur 12. Motstöd med jämna mellanrum genom bärlagret för att hindra konstruktionen från att glida. (Teckning, Christer Kjellén).

Motstödet kan utformas så att det passar in i beläggningsmönstret. Om man utgår från en kantsten så är djupet 300 mm.

#### **Uppföljning med praktiska prov och teoretiska beräkningar**

Detta är resonemang kring friktionsmotståndet som ännu inte är teoretiskt eller experimentellt prövade och borde följas upp med beräkningar och försök. Då bör även den eventuella "dynamiska" fraktioneringen av sättsanden till följd av trafikvibrationer undersökas.

Först när konstruktionen säkrats från att glida finns det anledning att utveckla idéer om fogkonstruktionen.

#### **Fogens roll vid en kontrollerad beläggning som inte glider**

Först när glidsituationen är under kontroll är det meningsfullt att studera fogkonstruktion och fogfyllningsmaterial. Det vill säga trafikklass 0, GC och G samt trafikklass 1, 2 och 3 med regelbundna motstöd. Då bör bl a följande områden studeras.

#### **Fogens uppgift**

Generellt sett är sandfogens tänkbara uppgift att:

- hindra individuella plattor från att stöta ihop
- hålla individuella plattor på plats
- ta upp och överföra krafter mellan plattorna
- ta upp storleksavvikelse mellan plattorna
- kunna packas så att den håller avståndet mellan plattorna vid avsedd trafikbelastning

Fogematerialet kan aldrig ta upp dragkrafter. Möjligen kan ett anpassat läggmönster överföra vissa skjuvkrafter till tryckspänning, en slags valvprincip.

### **Fogbredd**

För att kunna ta upp toleransavvikelser avseende längd och bredd för hållarna (enligt EN standard  $\pm 2\text{mm}$ ) och för att en viss minsta fogbredd ska garanteras har 6 mm nominell fogbredd visat sig vara lämplig. På den punkten råder stor enighet bland samtliga inblandade i projektet. En så bred fog torde rimligen inte kunna överföra lika stora laster som den smalare fog som används för betongplattor.

En fogbredd på mellan 5 och 8 mm är det som personer intervjuade i detta projekt föreskriver och har som utgångspunkt. Att sedan fogarna i verkligheten varierar från 0 till 12 mm är en annan sak. En beställare har tillsammans med entreprenören använt sig av distanser (Figur 13) som läggs mellan stenarna. Detta har gett ett gott resultat!



Figur 13. En distans av plast används för att skapa det rätta avståndet mellan hållarna. (Foto: Sabina Jallow).

### **Krav på fogsand**

Som tidigare påpekats avses med fogsand här löst material av såväl natursand som krossat material.

#### ***Fogsandens egenskaper ska karakteriseras av:***

- Låsningsförmåga, kilningsförmåga
- Ta upp laster (bärighet)
- Komprimerbarhet
- Förmåga att "rinna ner" och fylla fogen
- Dränerings- respektive tättningsförmåga
- Stå emot sönderkrossning vid belastning
- Stå emot uppsopning av sopmaskin
- Motverka luftfickor

- Arbetsbarhet vid regn.
- Inte tränga ner i sättsanden
- Kornstorleksfördelning (siktkurvor)

I de undersökta fallen används både material som ansluter till AMA's krav och egna lösningar, antingen de är projektörens eller entreprenörens. Det kan vara allt från natursand till 2-4 mm makadam eller 0-8 mm kross, det vill säga stenmjöl. Det verkar inte som det material som används är särskilt utvalt till att passa det aktuella objektet, utom i vissa fall. Det blir lite att man tager vad man haver. Detta kan komma från det man alltid använt, till finmakadam som top-pas med stenmjöl. Om detta är en tradition från stensättning med gatsten där AMA föreskriver att ytan skall tätas eller någon annan anledning är svårt att säga. En anledning sades vara att materialet ligger kvar bättre i fogen vid renhållningsarbeten. Helt klart behöver nya arbetssätt och material prövas till den nya produkt som dagens hållar utgör.

Vilket fogmaterial bör användas och i vilken kornstorleksfördelning: natursand, granitkross, betongkross eller kalkstenskross? Av naturresursskäl används allt mindre mängd natursand och den ersätts av krossat material. På senare tid har också återvinning av betongmaterial gett upphov till tester av detta material som fogmaterial. Krossad betong är ju mycket att man åter-använder ballasten, som i mycket är samma sak som ovan nämnda granitkross, kanske med den fördelen att cementen i blandningen gör att det efterbränner lite.

Har natursandkornen bättre egenskaper som fogsand genom att kornen är rundade och har sådan sand bättre hållfasthet än flisigt krossmaterial? Natursand har till viss del bearbetas genom ett antal naturliga processer. Dessa har gjort att sandkornet är mer avrundat än en nykrossat partikel. Rent packningsmässigt är det lättare att packa ett krossat material eftersom partiklarna hugger fast bättre i varandra, men detta är naturligtvis också beroende av kornets krossytegrad. Detta gäller för en yta som packas mekaniskt. Nu går det inte att packa fogmaterialet på samma sätt som man packar ett bärlager och därför är det utan tester svårt att säga hur materialet beter sig.

### **Fogsandens komprimering och tryckupptagande förmåga**

Sand (i utvidgad betydelse) har olika egenskaper i löst och i komprimerat tillstånd.

Frågor att utreda:

- Hur komprimerad kan fogen bli?
- Efter hur lång tid?
- Komprimeras fogen genom trafikens vibrationer?
- Hur fungerar fogen innan den hunnit komprimeras?
- Hur mycket hjälper vattning till för komprimeringen?
- Finns det andra metoder att komprimera fogen?

Är det lämpligt att använda samma sättsand som fogsand? Vid beläggning av hållar är fogbredden cirka 6 mm, vilket gör att samma sand för sättning och fogning kan användas. För lös fogsand gäller beträffande kornstorlek andra regler och förutsättning än för ballast i bruk. Sand för sättning och fogning, oavsett om det är krossmaterial eller natursand, har olika egenskaper i löst respektive komprimerat tillstånd. Sättsanden kan ju komprimeras på ett kontrollerat sätt, medan fogsanden inte kan komprimeras direkt utan kan få en viss, okontrollerad komprimering först efter en viss tid och då troligen ganska liten. Hur ser komprimeringsförloppet ut för olika typer av fogsand?

Fraktionens, och framför allt finandelens inverkan på förloppet? Vilken är skillnaden mellan kantigt krossat material och rundad natursand avseende komprimeringsmöjlighet och tryckupptagande förmåga.

### **Fraktioner och siktkurvor**

- Vilket material och vilken siktkurva skapar bäst låsning?
- Vilket material och siktkurva tar bäst upp laster (har bäst bärighet)?
- Vilket material och siktkurva låter sig komprimeras på bästa sätt?
- Vilket material och siktkurva "rinner ner" och fyller fogen bäst?

Sker eventuell krossning av materialet av vissa fraktioner och material så att fogen sjunker ihop? Om vissa korn är stora nog att kila fast mellan hållarnas kantsidor är det då positivt då de överför lasten bättre och håller de mindre kornen på plats eller är det negativt på så sätt att de motverkar fogens fyllning? Kan man använda en kornstorlek som är större än fogens bredd eftersom korn som är för stora borstas bort?

### **Kantighet hos sandmaterialet**

Skapar grövre fraktioner, som makadam, utan finandel hålrum som minskar fogens låsningsförmåga? Vissa egenskaper är uppenbara; ju mindre finandel desto bättre dränering, och omvänt ju mer finandel desto tätare blir fogen. En entreprenör menar att de använder krossmaterial utan finmaterial, både som sättsand och fogsand eftersom det är lättare att arbeta med när det regnar.

Vilken fogsand står mest emot sugande sopmaskin? Om vi undantar de tillsatta fogmedel som finns på marknaden, så menar i alla fall en kommun att tillsats av finmaterial i fogens övre del gör att allt fogmaterial stannar kvar bättre i fogen vid renhållningsarbeten.

### **Den levande fogen**

Med tiden blir det ursprungliga fogmaterialet nedtryckt i sättsanden, eller så har fogmaterial helt eller delvis sugits bort av sopmaskiner. Nytt material kommer in i fogen, i bästa fall fogsand av lämplig kvalitet, som fyllts på som underhållsåtgärd. Men en stor del av det material som kommer in i fogen har andra egenskaper än det ursprungliga. En stor del kan vara orga-

niskt material i form av smuts från gatan. Dräneringsförmågan ändras troligen. Ett från början dränerade material kan då sättas igen. Fogmaterialet blir en blandning av organiskt och oorganiskt, gummirester, oljespill, mm.

Fogmaterialet skakas samman av trafikens vibrationer. En intressant fråga är hur fogmaterialet stabiliseras och hur sammansättning ändras med tiden och hur detta påverkar fogens förmåga att göra sitt jobb. Man skulle då behöva studera samma fog under ett antal år, vilket knappast låter sig göras, men det går att studera fogar med olika åldrar om de är någorlunda väl dokumenterade, vad gäller ursprungsmaterial.

En styrd skötselinstruktion under garantitiden, som numera är 5 år, ger möjligheter att styra underhållet av fogen och kontrollera påfyllningen av material av rätt slag på rätt sätt. Det råder viss samstämmighet i uppfattningen att efter ett antal år stabiliseras fogen och blir mer permanent. Det beror på vilken typ av sopmaskinen man använder, hur den arbetar och sopmaskinsoperatörens förståelse för fogens funktion.

### **Fogsandens applicering**

Vilken betydelse för fyllning och komprimeringsmöjligheter har appliceringen av fogsanden: Sopas på torrt och vattnas sedan. Vattnas ner från början?

Som nämnts ovan så vill vissa entreprenörer använda ett krossat material utan finmaterial då detta är mest lättarbetat vid regn. Ett stenmjölsmaterial i regn fungerar inte att fylla fogar med. Det blir nästan som gröt. Att då fylla fogen till 75 % av höjden med finmakadam innebär att utrymmet mellan hållarna får ett material som gör att de håller ett visst avstånd. Vid torrt väder kan sedan stenmjöl sopas ner i fogen och komplettera fogmaterialet. Detta ger en stabilare fog än om man väntar på bättre väder för att göra som det står i pappren.

### **Psykologiska aspekter**

Respekten för och kunskaper om siktkurvor i branschen är låg. I vilken utsträckning bryr sig sandleverantören om vilka siktkurvor som föreskrivs? Bryr sig entreprenören om siktkurvor? Vet alla berörda vad siktkurvan betyder? Hur ofta kontrolleras siktkurvorna och i så fall av vem? Många frågor, men projektet visar på att åsikterna går isär.

En orsak till ofullständigt fyllda fogar är renhållningstekniken. Kan man bättre kunna anpassa sopmaskinernas sug- och borstinställning till fogen? Kan sopmaskinens körriktning relativt fogen påverka uppsugning av fogmaterialet? De flesta kommuner som är uppmärksamma på frågan om renhållningsteknik kontra fogens fyllnadsgrad har löst ovanstående problem genom att testa olika former av fogtättningsmedel. En del studier av dessa har skett, med lite varierande resultat. De medel som ger en hård fog har visat sig hindra ogräs bäst, vilket har varit huvudsyftena med studierna, och detta är gjort på nylagda fogtärningar. Däremot vet vi min-



dre om livslängden på materialen i tyngre trafikerade ytor med svängande fordon. Långsiktiga uppföljningar på dessa frågor är ett intressant komplement till svaren på hur fogen skall se ut.

### **Dränering**

Vid montering i sand med sandfog måste självklart bärlagret vara dränerande eller dräneringen ordnas så att vatten inte blir stående i konstruktionen. Blir vatten stående i konstruktionen ovan bärlagret sköljs fogmaterialet bort ur fogen av vattnet som pumpas av vibrationerna från trafiken och fogen blir mer eller mindre tömd och kan inte fylla sin funktion. Vi har konstaterat att detta kan vara ett förbisett problem.

### **Slutligen**

Beläggningar med naturstenshällar har många förtjänster och ett ökat användningsområde, men kräver rätt konstruktion!

Vad detta projekt hittills har visat är att fogen säkerligen har en stor del i en ytas utseende och hållbarhet. Vad som kanske är än mer ett resultat är att det finns så många andra frågor som också måste besvaras för att vi skall kunna få en klar och tydlig bild av fogens roll. Dessa frågor är nu på agendan.

Projektet har blivit en bra genomlysning av problematiken kring projektering och anläggande av naturstensytor på trafikerade ytor. Som vanligt är i forskningsprojekt så slutar det hela med mer frågor än svar, men detta är viktigt för att förstå helheten. Dock utan att förringa de svar som projektet har gett!