

NATURSTEN

UTEMILJÖ

JUNI 2020

BILAGA: DIMENSIONERING AV STENBELÄGGNING OCH ÖVERBYGGNAD I STADSLIKNANDE MILJÖER



**Sveriges Stenindustriförbund**

Industrigatan 6, 291 36 Kristianstad. Telefon 044-20 97 80
info@sten.se www.sten.se

Producerad av Sveriges Stenindustriförbund

Illustrationer Karin Nyman

© Sveriges Stenindustriförbund 2020

Dimensionering av beläggning och överbyggnad i stadsliknande miljöer

Denna bilaga beskriver beläggning och överbyggnad i stadsliknande miljöer med begränsad trafikbelastning upp t.o.m. trafikklass 2 d.v.s. ”belastning av 1000000 överfarter av standardaxlar under konstruktionens livslängd”. Endast obundna bär- och sättlager behandlas.

1. Principen för beläggning med hällar, gatsten och kantsten, ”halvelastisk beläggning”

Grundprincipen för en beläggning av gatsten eller hällar är att de individuella stenarna/plattorna är inspända mellan mothåll av t.ex. kantstenar. Motståndskraften överförs via fogarna.

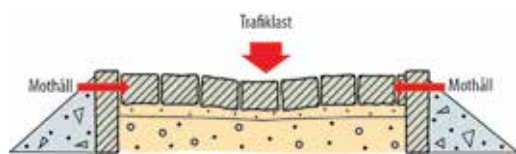


Fig. 1. Halvelastisk beläggning på obundet bärlager

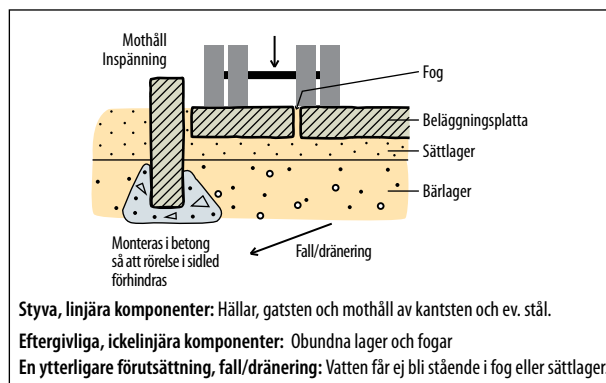


Fig 2 Systemet halvelastisk beläggning är helt beroende av fullständig samverkan mellan de ingående komponenterna.

Beläggningen består av systemet platta-fog-sättlager-mothäll. Var och en av dessa fyra komponenter samt dränering är en del av en kedja som i sin hel-

het 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 mothäll. Ett för tjockt sättlager syns inte vid okulär besiktning men kan medföra att stenen eller får ett instabilt underlag och skadas.

2. Överbyggnadens lager: uppgifter, krav och dimensionering

Beläggningen är helt beroende på att den överbyggnad som bär upp den är korrekt konstruerad och utförd.

Varje del, eller lager, i överbyggnaden har sina givna funktioner och krav på utförande. Avgörande för överbyggnadens funktion, hållbarhet och driftskostnad är att dessa utförandekrav respekteras och efterföljs, vilket kan underlättas av att man förstår deras funktion och enkelt kan beräkna dem.

Alla lager i överbyggnaden är viktiga men bärlagret kräver störst uppmärksamhet, eftersom konsekvenserna blir allvarliga om det utförs felaktigt, t.ex. med överytan på fel nivå, otillräcklig packning, fel fraktion.

Bärlagret tjocklek bestäms till **80mm**. Det kan då kompakteras omsorgsfullt och ges avsedd packningsgrad.

Förstärkningslagret tjocklek bestäms av den **vertikala trafiklasten**, materialet i **terrassen** samt i Norrland och östra Svealand till **klimatzonen**.

I en underbilaga Bilaga A ”Dimensionering Urban Överbyggnad. Sammanställningsblad” till detta dokument visas ett Excelblad, med vara hjälp man kan göra en förenklad beräkning av förstärkningslagret. Den finns hämta hem som aktivt Excel-fil: www.sten.se/stenhandboken välj Utemiljö.

Lager	Fraktion	Uppgift	Krav
Mothäll (kantsten)		Hålla ihop hela beläggningen	Spänna in hela ytan. Rätt avstånd. Monterat så att monhållet blir styvt
Fog	2/4	Hålla plattor på plats, ta skjuvkrafter, fördela laster	Rätt fogbredd. Fyllda fogar
Slitlager		Stå emot trafiklagen, skydda konstruktionen	Format, kvalitet, rätt tjocklek för trafiklassen
Sättlager	2/4	Bädd för slitlagret. Obs ej utjämningslager!	Rätt tjocklek; 30 mm (för gatsten med kilad undersida 50 mm)
Bärlager	0/32	Bära trafiklasten. (Tjl 80mm)	Bärighet, packad, lutning = slitytan. Jämnhet max 9 mm avvikelser
Förstärkningslager	0/90	Förstärka terrassen. Klimatkontroll. Ev tjälkontroll beroende på terrassmaterial.	Bärighet, packad, jämn yta, lutning = slitytan.
Terrass		Bära överbyggnaden	Jämn yta

I fig 3 har också angivits de uppgifter de olika lagren har samt vilka krav som ställs till följd av dessa.

För mer information och förklaringar av detta hänvisas till en fylligare LTV rapport 2017:15

ISBN 978-91-576-8946- länk https://pub.epslu.se/15543/1/johansson_et_al_180619.pdf

3. Trafikbelastningens påverkan på beläggning och överbyggnad

3.1 Vertikala krafter

De vertikala krafterna som trafiken förorsakar överförs efter omlagring ända ner till terrassen. De är bl.a. följande

- Vertikal tryckkraft p.g.a. av passerande fordons vikt Fig 4
- Vertikal påverkan av vibrationer från trafik och rörelser i underlaget

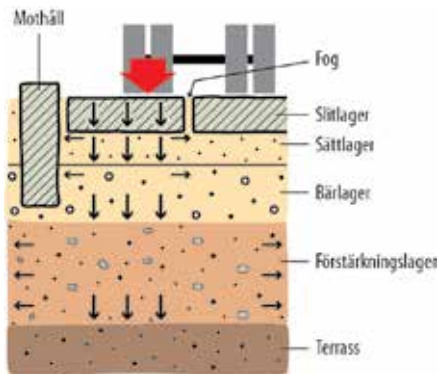


Fig 4 Vertikalkraften går, efter viss omlagring genom hela överbyggnaden ner till terrassen. Under omlagringsdeformationen uppstår vissa horisontella krafter

Vertikalkrafternas påverkan på överbyggnaden

Eftergivliga, icke-linjära material: Obundna lager, fogar. Komprimeras, deformeras och omlagras.

Denna förändring ökar med antalet fordonsöverfarter, men är inte linjär utan är störst i början av konstruktionens ibruktagande, för att sedan plana ut. Fig 5

Styva, linjära material: Hällar och gatsten. Brister om kraften överstiger plattans brottlast.

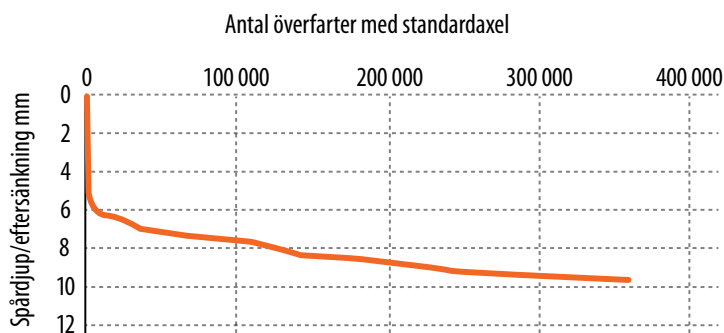


Fig 5. Generaliserad bild av spår djup/eftersänkning förorsakad av att upprepade överfarter ger komprimering och omlagring i sätt-, bär och förstärkningslager.

Detta sker sällan om övriga samverkande komponenter skulle vara oförändrade. Klarar den en överfart så klarar den teoretiskt sett alla överfarter med samma last.

Indirekt påverkan på styva, linjära material: Hällar och gatsten.

Genom att de omgivande/samverkande eftergivliga materialen komprimeras och förlorar sin fasthållande egenskaper eller helt enkelt bara försvinner (t.ex. fogar), ändrar plattorna sin position, både vertikalt och horisontalt, slår ihop och kanten mot överytan fläks upp.

Det är ytterst alltså sällan hällen eller stenen i sig förorsakar problemet utan det förorsakas av samverkande komponenter

Om underlaget och omgivande/samverkande material är tillräckligt stabilt håller plattan. Om plattan brister beror det i nästan alltid på omgivande/samverkande material är undermåligt eller har kollapsat.



Fig 6 Plattan har kommit ur läge genom att komponenten fog har försvunnit.

3.1.1. Trafikklasser - "sammanlagda axellasten från passerande fordon under konstruktionens livslängd"

Dimensionering av överbyggnaden görs framför allt med hänsyn till den förväntade trafiklasten uttryckt som **vertikala kraften**. För att beskriva den har Trafikverket har tagit fram ett system för att kvantitativt, dvs. i siffror, uttrycka trafikbelastningen. Det uttrycks som "antalet överfarter med en fiktiv standardaxel under konstruktionens livslängd" och

som också benämns **trafikklasser**.

Se tabell 1 och fig 7

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

Notera att på offentliga ytor är den maximalt tillåtna axelbelastningen 11,5 ton (115 kN) på drivaxeln och 10 ton (100 kN) på övriga axlar. För att få överskrida dessa axellaster krävs tillstånd.

Trafikklassningssystemet beaktar **endast vertikal belastning** i form av axellasten hos de passerande fordonen under konstruktionens förväntade livslängd.

Det finns för närvarande ingen metod att ange den dynamiska horisontella belastning från svängande och vridande hjul, eller broms- och accelerationskrafter. Detta diskuteras i avsnitt 3.2.

Att uppskatta den faktiska trafikbelastningen av den stora mängd olika fordonstyper som trafikerar våra gator och vägar är generellt sett mycket svårt. För att få en enklare bedömning av trafikens belastning görs idag en uppdelning i trafikklasser där varje klass uttrycker ett intervall av bedömd trafiklast under avsedd teknisk livslängd.

Trafiklasten beskrivs då som ekvivalenta antalet standardaxlar, där standardaxeln är en fiktiv jämförande 100 kN axel enligt Trafikverkets definition (se figur 7 och tabell 1).

Omräkningsfaktorn (B-faktorn) mellan aktuell axel och standardaxeln kan enligt Trafikverket beräknas med 4-potens regeln och ger en uppfattning

	Antal standardaxelöverfarter
Trafikklass	under konstruktionens livslängd
G och GC	0
0*	<50000
1a*	50000 - 250000
1b*	250000 - 500000
2	500 000 - 1000000

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

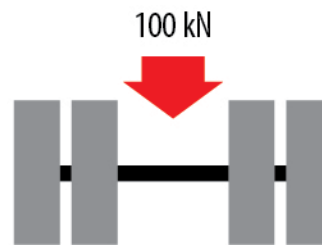


Fig 7. Standardaxelns last 100 kN (10 ton)

om relativ skadeverkan i förhållande till standardaxeln. B-faktorn för en enskild axel beräknas som $B=(P/100)^4$ där P (kN) är axellasten hos varje enskild axel på passerande fordon uttryckt i kN. B-faktorn för hela fordonet är summan av B-faktorn för varje enskild axel hos fordonet. B-faktorn räknas fram som ett förväntat medelvärde av trafikvikten för fordonet.

För att förenkla beräkningsarbetet är det nödvändigt att sortera in fordonen i fordonsgrupper med ungefär samma B-faktor. Alla fordon grupperas enligt lämplig fordonstyp. Varje fordonsgrupps B-faktor fastställs och multipliceras med fordonsgruppens årsdygnstrafik.

Exempel: En medelstor personbil belastar beläggningssytan med tjänstevikten + någon sannolik last 1850 + 100 kg säg totalt 2 ton. Lasten fördelad på två axlar, antag jämn fördelning d.v.s. 1 ton per axel. B-faktorn för denna bil blir då: $(10/100)^4 + (10/100)^4 = 0,0002$. D.v.s. en personbilsöverfart motsvarar 0,0002 standaraxlar.

För lätt varutransportbil/renhållningsfordon 4 ton med jämfördelning på axlarna blir B-faktorn $(20/100)^4 + (20/100)^4 = 0,0032$

Trafikverket har räknat fram B-faktorer för ett antal fordonstyper, exempel på dessa i tabell x2

Det kan då konstateras att jämfört med lastbilar har personbilar en försumbar inverkan.

På G- och G/C-yta får endast fordonstyper med B-faktor $\leq 0,001$ framföras, men för övriga ytor har dessa fordonstyper en marginell, eller snarare försumbar betydelse.

Trafikverket beräknade B-faktorn för några fordonstyper i urban trafik			
Fordonstyp	B-faktor		Typfordon
Personbil medelstor	0,0002	Se beräkning ovan	1
Varutransportfordon/renhållningsfordon (4 ton)	0,0032	Se beräkning ovan	2
Lastbil 2-axlig, tvillingmonterade däck	0,36	Trafikverket [3]	3
Lastbil 3-axlig tvillingmonterade däck	0,56	Trafikverket [3]	4
Buss tvillingmonterade däck	0,68	Trafikverket [3]	4
Standardaxel	1	Trafikverket [3]	

Tabell 2. B-faktor för vanliga fordonstyper i urban trafik [1] TRV 2011



Förenklad trafikklassindelning för stadsliknande ytor				
	Typfordon 1 Personbil Lätt renhållnings- fordon	Typfordon 2 Lätt varutransport	Typfordon 3 Tvåaxlig lastbil med tvillingmonterade däck	Typfordon 4 Stor buss Tvåaxlig lastbil med tvillingmonterade däck
Trafikclass	Fordon per dygn	Fordon per dygn	Fordon per dygn	Fordon per dygn
G	10	0	0	0
G/C	100	10	0	0
0	1000	100	10	0
1a	1000	1000	50	0
1b	1000	1000	100	10
2	1000	1000	100	100

Tabell 3.

Det förekommer givetvis i städer högre trafikclasser än 2, t.ex. genomfartsleder. Om semielastisk beläggning då ska användas bör detta diskuteras med leverantören av beläggningsmaterialet. Denna förenklade beräkningsmodell täcker inte den situationen.

För att räkna fram totala trafikbelastningen under konstruktionens förväntade livslängd därmed de krav som ställs på överbyggnaden och beläggningsen används följande formel

$$N_{\text{ekv}} = ((\text{ÅDT}_1 \times B_1) + (\text{ÅDT}_2 \times B_2) + (\text{ÅDT}_3 \times B_3) + (\text{ÅDT}_4 \times B_4) + (\text{ÅDT}_5 \times B_5)) \times 365 \times n$$

Där:

N_{ekv} = antal ekvivalenta standardaxlar under objektets livslängd

ÅDT_j = årsdygnstrafik av respektive typfordon.

B_j = omräkningsfaktorn för resp. fordonstyp

n = avsedd teknisk livslängd i år

Resultatet blir alltså ett antal standaraxelöverfater som då kan översättas till trafikclasser.

Om det finns uppgifter om andra fordonsslag med kända B-faktorer än de i tabell 2 kan beräkning av N_{ekv} kompletteras med dessa.

(I Europastandarden för naturstenschällar SS-EN 1341 definieras olika *brottlasklasser*, vilka ej skall förväxlas med *trafikclasser* vilket tyvärr sker ofta. Vi rekommenderar där att brottlasklassbeteckningen inte används.)

3.1.2. Förenklad trafikklassindelning för stadsliknande ytor

Indelning i trafikclasser kan vara svår att tillämpa på de låga trafikclasser som förekommer i urban trafik, varför här nedan presenteras en vidareutveckling av Svensk Markbetongs förenklade trafikklassindelning som vi ansluter oss till "LTV Överbyggnader [1]". Denna förenkling är tillämpligt t.o.m. trafikclass 2.

3.1.3 Trafikclassens, dvs. vertikalkraftens, betydelse för dimensionering av naturstenschällar och gatsten. Fiktiv brottlast

Traditionellt har trafikclassen används för att ange en fiktiv brottlast för varje trafikclass. Refererande till avsnitt 1 ovan är detta egentligen inte relevant för själva hällen eller gatstenen, som ju är linjär och teoretiskt oberoende av antalet överfater. Utan den fiktiva brottlasten får gälla för systemet halvelastiskt beläggning med den motiveringen att hällen måste genom sin tjocklek måste kompensera de eftergivliga komponenternas påverkan av trafikclassen.

Följande fiktiva brottlastvärden används vid beräkning av hällens tjocklek:

Trafikclass	Antal standaraxelöverfater under konstruktionens livslängd	Fiktiv brottlast kN
G	0	3,5
G/C	0	6
0*	<50000	9
1a*	50000- 250000	11
1b*	250000 - 500000	14
2	500 000 - 1000000	25

Tabell 4 Fiktiva brottlaster

* Dessa brottlastvärden används i formeln för beräkning av hålltjockleken, som finns i en underbilaga, Bilaga B "Dimensionering Urban Överbyggnad. Naturstensbeläggningar" till detta dokument visas ett Excelblad, med vars hjälp man kan göra en förenklad beräkning av förstärkningslagret. Den finns hämta hem som aktivt Excel-fil: www.sten.se/dokument/



Figur 8. Horisontella krafter från fordonens hjul



Figur 9. Vridande horisontella krafter.

Broms- och accelerationrörelser från svängande fordonshjul

3.2 Horisontella krafter

Trafikklassningssystemet enligt 3.1 ovan tar endast hänsyn till vertikal belastning. Det finns för närvarande ingen mätbar metod att ange de dynamiska horisontella belastning från svängande och vridande hjul, eller broms- och accelerationskrafter. Dessa horisontella krafter är för den halvelastiska beläggningen mycket allvarliga. Avgörande för att stå emot dessa krafter är mothåll (kantstöd), fog, läggningmönster, 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

Trafiken påverkar överbyggnaden genom bl.a. följande krafter

- Horisontell kraft (broms och acceleration) Fig 7
- Vridkraft i horisontalld (vridande fordonshjul) Fig 8

De horisontella krafternas påverkan på beläggningen

Eftergivliga, icke-linjära material: Fog, sättlager
Omlagras och ev. utmattas.

Styva linjära material: Hällar och gatsten
Brister inte av den horisontella kraften i sig.

Indirekt påverkan på styva linjära material: Hällar och gatsten
Genom att de omgivande/samverkande eftergivliga lagren/materialen är otillräckligt komprimerade,

ändrar sin position, egenskaper eller helt enkelt bara försvinner (t.ex. fogar)

Mothåll:

För att motverka de horisontella krafterna är mothållet av avgörande betydelse. Mothåll i form av kantsten, betongstöd, metallstöd etc. måste vara styvt och monteras på ett sätt så att det behåller sin styva funktion. Mothållet kan också bestå av spärrstenar, typ kantsten med översidan i nivå med körytan eller av stålankare.

Mothållkraften överförs via fogar, vilka måste ha angiven bredd, vara omsorgsfullt utförda och kontinuerligt underhållna fogbredden. På granithällar med sågade sidor ska distanser, t.ex. ek eller av plast, användas de ska lämnas kvar i fogen.

Mothållande krafter på grund av hällens/stenen utformning

Vid belastning av biltrafik kan utformning av plattan och läggmönstret förstärka mothållet

- Klippt/kilad gatsten får grova fogytor som har hög friktion i fogarna och mot underlaget. En funktionell gatsten måste ha alla fogsidor klippa eller råkilade.
- Plattorna monteras i förband, fiskbensmönster.
- Där det förekommer biltrafik får inte genomgående fogar användas mer än i en riktning).
- Plattor måste ha en viss tjocklek för att en tillräcklig fogyta ska säkras

4. 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 olämpligt sätt- eller fogmaterial använts. Om detta har för stor finandel, vilket nästan alla faktio- ner av stenmjöl har, blir det för tätt blir vatten stå- ende i fogen vid regn eller snösmältning. Om det då är en yta med biltrafik uppstår en rörelse i beläg- ningen som gör att finpartiklarna dispergeras och ”pumpas” bort, och eftersom stenmjölet har stor finandel, pumpas större del av fogen bort, plattorna vrider sig och slå ihop. Så småningom har även delar av sättagret pumpats bort och plattan börjar vicka i vertikalled. Bild 10



Fig 10. Fog- och sättagret har haft för stor finandel (stenmjöl) som pumpats bort och fogen och delar av sättagret har försvunnit. Distanser saknats

Den halvelastiska konstruktionen fungerar inte med vatten stående i fogarna. Använd makadam 2-4 som både sätt- och fogmaterial.

Tvärgående lutningen på en gata ska vara $\geq 2,5\%$. Den längsgående vattenavrinningen ska ske mot dagvattenbrunnar/brunnar/rännor i lågpunkter. OBS dessa måste projekteras så att de förblir lågpunkter under hela konstruktionens livslängd även med den avsedda trafikbelastningen, varför en yta för trafik- klass ≥ 0 måste sättas med viss överhöjning.

Samtliga lager ska ha samma lutning/fall som beläggningsytan.

Referenser:

- [1] Trafikverket: Bl.a. TRVK Väg, DOK 2013:0530, TRV 2011:072
- [2] Johansson, Simonsen, Lang: Överbyggnad med beläggning av natursten och markbetong, för trafik- klass ≤ 2 . SLU Rapport 2017:15 ISBN 978-91-576-8946-7 Alnarp 2017
- [3] Johansson, Simonsen, Lang Movium Fakta 2/2019